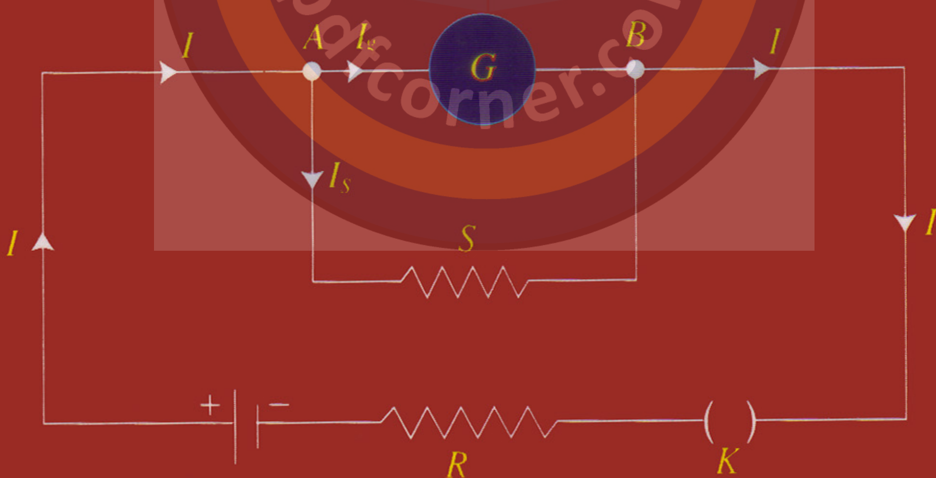
pdfcorner.com

পদার্থবিজ্ঞান

দ্বিতীয় পত্র

একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণি

ড. শাহজাহান তপন
মুহম্মদ আজিজ হাসান
ড. রানা চৌধুরী



হাসান বুক হাউস ● ঢাকা

জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক অনুমোদিত

জাতীয় শিক্ষাক্রম ২০১২ অনুযায়ী প্রণীত এবং জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক
২০১৩-২০১৪ শিক্ষাবর্ষ থেকে একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যপুস্তক হিসেবে অনুমোদিত।
অনুমোদন স্মারক নং : শি:শা:-২৮৫/৯৭ (পার্ট-৩)/৩৮২(১৭০)/৯ তারিখ : ০৩/০৪/২০১৪

পদার্থবিজ্ঞান

দ্বিতীয় পত্র

একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণি

রচনায়

ডক্টর শাহজাহান তপন
বি.এসসি.(অনার্স-প্রথম শ্রেণি); এম.এসসি. (প্রথম শ্রেণি);
এম.এড. (প্রথম শ্রেণিতে প্রথম); পিএইচ.ডি. (এম.এস.ইউ)
প্রফেসর (অবঃ), পদার্থবিজ্ঞান, শিক্ষা ও গবেষণা ইনস্টিটিউট, ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়।

মুহম্মদ আজিজ হাসান
বি.এসসি.(অনার্স), এম.এসসি. (প্রথম শ্রেণি)
প্রফেসর (অবঃ), পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, ইডেন মহিলা বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ঢাকা। প্রাক্তন অধ্যক্ষ, সরকারি সফর আলী কলেজ, আড়াইহাজার, নারায়ণগঞ্জ। প্রাক্তন প্রফেসর, পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, সরকারি রাজেন্দ্র বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ফরিদপুর। প্রাক্তন সহযোগী অধ্যাপক, পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, ইডেন মহিলা বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ঢাকা। প্রাক্তন সহযোগী অধ্যাপক, পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, সরকারি বি.এল. বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, দৌলতপুর, খুলনা। প্রাক্তন সহযোগী অধ্যাপক, নবাবগঞ্জ সরকারি কলেজ, চাপাই নবাবগঞ্জ।

ডক্টর রানা চৌধুরী
বি.এসসি.(অনার্স-প্রথম শ্রেণি);
এম.এসসি. (প্রথম শ্রেণি);
পিএইচ.ডি. (এম.এস.ইউ)
প্রাক্তন সহযোগী ও সহকারী অধ্যাপক, পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, ইডেন মহিলা বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ঢাকা। প্রাক্তন প্রভাষক, পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, সরকারি রাজেন্দ্র বিশ্ববিদ্যালয় কলেজ, ফরিদপুর।

হাসান বুক হাউস ■ ঢাকা

প্রকাশক ঃ

হাসান বুক হাউস-এর পক্ষে

ড. ভক্তিময় সরকার

বি.এসসি. (অনার্স), এম.এসসি. (ফার্স্ট ক্লাস), পিএইচ.ডি.

১৫-১৬, প্যারী দাস রোড, বাংলাবাজার, ঢাকা-১১০০

ফোন ঃ ৭১২ ২০ ৬৩ # ৭১১ ৬১ ৫১

প্রথম প্রকাশ : এপ্রিল, ২০১৪ (এনসিটিবি কর্তৃক অনুমোদিত)

দ্বিতীয় সংস্করণ : এপ্রিল, ২০১৫

মূল্য : ১৩৫·০০ টাকা মাত্র

[জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক নির্ধারিত]

মুদ্রণে :

হাসান প্রিন্টিং প্রেস

২৪/সি, শ্রীশ দাস লেন, ঢাকা-১১০০

pdfcorner.com

দ্বিতীয় সংস্করণের ভূমিকা

শ্রদ্ধেয় শিক্ষকমণ্ডলী এবং স্নেহের শিক্ষার্থীরা সব সময়ই আমাদের পদার্থবিজ্ঞানের বই পছন্দ করেছেন। আল্লাহর রহমতে এবারো তার ব্যতিক্রম হয়নি। শ্রদ্ধেয় শিক্ষকমণ্ডলী ও স্নেহের শিক্ষার্থীদের আগ্রহে পদার্থবিজ্ঞান-দ্বিতীয় পত্র বইয়ের সংশোধিত ও পরিমার্জিত দ্বিতীয় সংস্করণ প্রকাশিত হলো।

আশা করি, পরিমার্জিত দ্বিতীয় সংস্করণ শ্রদ্ধেয় শিক্ষকমণ্ডলী ও স্নেহের শিক্ষার্থীদের প্রত্যাশা পূরণে সক্ষম হবে। বইখানির উন্নতির ব্যাপারে যেকোনো পরামর্শ ও গঠনমূলক সমালোচনা সাদরে গৃহীত হবে।

এপ্রিল, ২০১৫

ধন্যবাদান্তে—

ড. শাহজাহান তপন
মুহম্মদ আজিজ হাসান
ড. রানা চৌধুরী

প্রথম প্রকাশের ভূমিকা

জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ডের নতুন শিক্ষাক্রম ২০১২ অনুযায়ী একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির পদার্থবিজ্ঞান-দ্বিতীয় পত্র গ্রন্থখানি রচিত এবং একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যপুস্তক হিসাবে জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক অনুমোদিত হয়। নতুন শিক্ষাক্রম অনুসারে লিখিত এই গ্রন্থখানি শিক্ষার্থীদের চাহিদা এবং সম্মানিত শিক্ষকবৃন্দের প্রত্যাশা পূরণে সক্ষম হবে বলে আমরা বিশ্বাস করি। দ্বিতীয় পত্রটিতে পদার্থবিজ্ঞানের বিষয়গুলোর আধুনিক ধারণা দেয়া হয়েছে আন্তর্জাতিক মান বজায় রেখে। তবে আমাদের শিক্ষার্থীরা যাতে সহজে বুঝতে পারে সেদিকে লক্ষ্য রেখে গ্রন্থখানি রচিত হয়েছে। গ্রন্থখানি রচনায় অনেক দেশি বিদেশি গ্রন্থের সহায়তা নেয়া হয়েছে। যে সকল গ্রন্থের সাহায্য নেয়া হয়েছে সে সকল গ্রন্থের লেখক ও প্রকাশকদের জানাই আমাদের কৃতজ্ঞতা।

শ্রদ্ধেয় শিক্ষকমণ্ডলী ও স্নেহের শিক্ষার্থীরা সবসময়ই আমাদের পদার্থবিজ্ঞান বই পছন্দ করেছেন সেজন্যে আমরা গর্বিত। এই বইখানি শ্রদ্ধেয় শিক্ষকমণ্ডলী ও স্নেহের শিক্ষার্থীদের চাহিদা পূরণে সক্ষম হলে আমরা মনে করবো আমাদের পরিশ্রম সার্থক হয়েছে। বইখানির উন্নতির ব্যাপারে যেকোনো পরামর্শ ও গঠনমূলক সমালোচনা সাদরে গৃহীত হবে।

এপ্রিল, ২০১৪

ধন্যবাদসহকারে—

ড. শাহজাহান তপন
মুহম্মদ আজিজ হাসান
ড. রানা চৌধুরী

পাঠ্যসূচি

প্রথম অধ্যায় : তাপগতিবিদ্যা (পিরিয়ড ১২)

তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি : তাপীয় সমতা, তাপমাত্রার ধারণা
তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র : ধারণা, ব্যবহার
তাপীয় সিস্টেম
অভ্যন্তরীণ শক্তি
তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং কাজ
তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র : ধারণা
প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া
কার্নো চক্র
তাপীয় ইঞ্জিন : রেফ্রিজারেটর
ইঞ্জিনের দক্ষতা
এন্ট্রপি ও বিশৃঙ্খলা

দ্বিতীয় অধ্যায় : স্থির তড়িৎ (পিরিয়ড ১৩)

কুলম্ব সূত্র ও ক্ষেত্র তত্ত্ব
বিন্দু চার্জের : তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য, তড়িৎ বিভব
সমবিভব তল
তড়িৎ দ্বিমেরুর : ধারণা, তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য, তড়িৎ বিভব
চার্জের : কোয়ান্টায়ন, সংরক্ষণশীলতা
অপরিবাহী ও ডাইইলেক্ট্রিক
ধারকের : ধারণা, ধারকত্ব, শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ, তুল্য ধারকত্ব, শক্তি, ব্যবহার
কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র
তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয়ে গাউসের সূত্রের ব্যবহার
কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা

তৃতীয় অধ্যায় : চল তড়িৎ (পিরিয়ড ১৪)

রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব
জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র
ব্যবহারিক : তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়
কোষের : অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বল, শ্রেণি ও সমান্তরাল সমন্বয় সংযোগ
কির্শফের সূত্র : সূত্রের ধারণা, বর্তনীতে ব্যবহার
শান্টের ব্যবহার
ব্যবহারিক : পটেনশিওমিটার, মিটার ব্রিজ, পোস্টঅফিস বক্স

চতুর্থ অধ্যায় : তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব (পিরিয়ড ১৫)

ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা
বিয়ো স্যাভার্র সূত্র
অ্যাম্পিয়ারের সূত্র
গতিশীল চার্জ
হল প্রভাব
পরিবাহী তার ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বল
কক্ষ পথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন
ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র
পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর চৌম্বকত্ব উপাদান
চৌম্বকত্ব : প্যারা, ডায়া, ফেরো, ফেরি, এন্টিফেরো
চৌম্বক ডোমেইন
তড়িৎ চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক
অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার

পঞ্চম অধ্যায় : তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ (পিরিয়ড ১১)

তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ
চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন
আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশের সূত্র
লেঞ্জের সূত্র
লেঞ্জের সূত্র ও শক্তির নিত্যতার সূত্র
স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ
দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি
বর্গমূলীয় গড়মান, শীর্ষমান এবং প্রবাহ

ষষ্ঠ অধ্যায় : জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান (পিরিয়ড ১৫)

ফার্মাটের নীতি : ধারণা, আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র
লেন্স তৈরির সমীকরণ
ব্যবহারিক : তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয়, লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়
মাইক্রোস্কোপ
টেলিস্কোপ
রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ
প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ

সপ্তম অধ্যায় : ভৌত আলোকবিজ্ঞান (পিরিয়ড ১১)

তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ
তাড়িতচৌম্বকীয় স্পেক্ট্রাম
তরঙ্গমুখ
হাইগেনের নীতি : ধারণা, তরঙ্গমুখ, আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
আলোর ব্যতিচার : ধারণা, ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা
আলোর অপবর্তন
আলোর সমবর্তন

অষ্টম অধ্যায় : আধুনিক পদ্দার্থবিজ্ঞানের সূচনা (পিরিয়ড ১৪)

জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো
মাইকেলসন মোরলে পরীক্ষা
আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব
গ্যালিলিয়ান রূপান্তর
লরেন্টজ রূপান্তর
আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে : সময় সম্প্রসারণ, দৈর্ঘ্য সংকোচন, ভর বৃদ্ধি

ভর শক্তির সম্পর্ক
মৌলিক বল
মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের ব্যবহার
প্লাঙ্কের কালো বস্তুর বিকিরণ
এক্স-রে
ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া
দ্য ব্রগলীর তরঙ্গ
কম্পটনের প্রভাব
হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি

নবম অধ্যায় : পরমাণুর মডেল এবং নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান (পিরিয়ড ১১)

পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ
রাদারফোর্ড আলফা কণা পরীক্ষা
রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল
রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা
বোরের পরমাণু মডেল
নিউক্লিয়াসের গঠন
নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস : তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity), ক্ষয় (Decay), অর্ধজীবন (Half life), গড় জীবন (Average life), ভরত্রুটি (Mass defect), বন্ধন শক্তি (Binding energy), নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া (Nuclear Reaction), চেইন বিক্রিয়া (Chain reaction), নিউক্লিয়ার ফিউশন (Nuclear Fusion), নিউক্লিয়ার ফিশান (Nuclear Fission)

দশম অধ্যায় : সেমিকন্ডাক্টর ও ইলেক্ট্রনিক্স (পিরিয়ড ১৯)

ব্যান্ড তত্ত্ব
ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং সেমিকন্ডাক্টর
ইনট্রিন্সিক ও এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর
ইলেক্ট্রন ও হোলের ধারণা
পি টাইপ এবং এন টাইপ সেমিকন্ডাক্টর
জাংশন ডায়োডের কার্যক্রম
একমুখীকরণ : ধারণা, ব্রিজ রেক্টিফিকেশন
ব্যবহারিক : ডায়োডের সাহায্যে একমুখীকরণ
জাংশন ট্রানজিস্টর (পিএনপি, এনপিএন) : গঠন, কার্যক্রম
ট্রানজিস্টরের ব্যবহার : অ্যামপ্লিফায়ার, সুইচ
নম্বর পদ্ধতি : ডেসিমাল, বাইনারি, অক্টাল, হেক্সাডেসিমাল
বাইনারি অপারেশন : যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ
লজিক গেট : NOT গেট, OR গেট, NOR গেট, X OR গেট, AND গেট, NAND গেট
ব্যবহারিক : গেট বর্তনীর কার্যক্রম (ট্রুথটেবিল) যাচাই

একাদশ অধ্যায় : জ্যোতির্বিজ্ঞান (পিরিয়ড ৫)

মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য
পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের পরিণতি
মহাবিশ্বের মূল বস্তু ও ঘটনা
মূলনীতি : রেডিওটেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা ও এক্সরে, কৃত্রিম উপগ্রহ

মানবণ্টন

পদার্থবিজ্ঞান-দ্বিতীয় পত্র

তত্ত্বীয় = ৭৫

১। ৬টি সৃজনশীল প্রশ্ন থাকবে; ৪টি প্রশ্নের উত্তর দিতে হবে।	১০ × ৪ = ৪০
২। ৩৫টি বহুনির্বাচনি প্রশ্ন থাকবে; সবগুলোর উত্তর দিতে হবে।	৩৫ × ১ = ৩৫
	মোট = ৭৫

ব্যবহারিক = ২৫

১। একটি পরীক্ষা	১২
(তত্ত্ব : ৩ নম্বর; যন্ত্রপাতি ব্যবহার ও উপাত্ত সংগ্রহ : ৫ নম্বর এবং উপাত্তের হিসাব ও বিশ্লেষণ : ৪)	
২। ব্যাখ্যাসহ ফলাফল উপস্থাপনা	৫
৩। মৌখিক অভীক্ষা	৫
৪। নোট বুক	৩
	মোট = ২৫

* প্রতিটি পরীক্ষা দৈবচয়ন (লটারি) এর মাধ্যমে নির্বাচন করতে হবে।

সূচিপত্র

অধ্যায় বিষয়.................................পৃষ্ঠা

প্রথম অধ্যায় : তাপগতিবিদ্যা ....১—৩৪

১.১। তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ২
১·২। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ধারণা.................৫
১·৩। সিস্টেম ৫
১·৪। অভ্যন্তরীণ শক্তি ৬
১·৫। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র : তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক ৬
১·৬। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার : প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজ ৭
১.৭। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ১৫
১·৮। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া ১৬
১.৯। তাপীয় ইঞ্জিন ১৭
১.১০। কার্নো ইঞ্জিন ১৮
১.১১। কার্নোর চক্র ১৯
১.১২। তাপীয় ইঞ্জিনের দক্ষতা ২০
১.১৩। রেফ্রিজারেটর ২১
১·১৪। এনট্রপি ২৪
সার-সংক্ষেপ ২৭
অনুশীলনী ২৯

দ্বিতীয় অধ্যায় : স্থির তড়িৎ ....৩৫—৭৬

২.১। আধান ৩৬
২.২। তড়িৎ ক্ষেত্র ও কুলম্বের সূত্র ৩৮
২.৩। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ৪১
২.৪। তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভব ৪৩
২.৫। সমবিভব তল ৪৭
২.৬। তড়িৎ দ্বিমেরু ৪৯
২.৭। তড়িৎ ধারক ৫৪
২.৮। ধারকের সংযোগ ৫৮
২.৯। ধারকের শক্তি ৬১
২.১০। ধারকের ব্যবহার ৬২
২.১১। অপরিবাহী ও ডাইইলেকট্রিক ৬৩
২.১২। গাউসের সূত্র ৬৪
২.১৩। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র ৬৫
২.১৪। গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন ৬৬
২.১৫। কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা............................৬৭
২.১৬। গাউসের সূত্রের ব্যবহার................................৬৭
সার-সংক্ষেপ ৭২
অনুশীলনী ৭৩

অধ্যায় বিষয় ....পৃষ্ঠা

তৃতীয় অধ্যায় : চল তড়িৎ ....৭৭—১১৫

৩.১। রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ৭৮
৩.২। জুলের তাপীয় ক্রিয়া ৭৯
৩.৩। জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র ৭৯
৩.৪। তাপের যান্ত্রিক সমতা ৮০
৩.৫। তড়িৎ কোষ ৮১
৩·৬। কোষের সমন্বয় ৮৫
৩·৭। কির্শফের সূত্র...৮৯
৩.৮। কির্শফের সূত্রের ব্যবহার ৯০
৩.৯। শান্ট ৯৫
৩.১০। ব্যবহারিক ৯৮
সার-সংক্ষেপ ১০৯
অনুশীলনী ১১১

চতুর্থ অধ্যায় : তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব .... ১১৬—১৫৩

৪·১। চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা : ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা.১১৭
৪·২। চৌম্বক ক্ষেত্র : গতিশীল আধানের উপর বল...১১৭
৪·৩। তড়িৎপ্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান ও দিক...................................... ১২০
৪·৪। বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র.. ১২০
৪.৫। বিয়োঁ-স্যাঁভার সূত্রের প্রয়োগ ১২২
৪·৬। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র ১২৫
৪·৭। হল প্রভাব.. ১২৭
৪·৮। চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহীর ওপর বল . ১৩০
৪·৯। চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো ক্ষুদ্র লুপের ওপর টর্ক . ১৩৪
৪·১০। কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র.. ১৩৬
৪.১১। ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র ১৩৭
৪·১২। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ১৩৮
৪·১৩। পৃথিবীর চৌম্বক উপাদান..............................১৩৯
৪.১৪। চৌম্বক পদার্থের শ্রেণিবিভাগ ১৪২
৪.১৫। চৌম্বক ডোমেইন ১৪৪
৪.১৬। হিস্টোরিসিস লেখচিত্র ১৪৫
৪.১৭। অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক ১৪৬
৪.১৮। অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার ১৪৬
সার-সংক্ষেপ.. ১৪৭
অনুশীলনী.. ১৪৮

pdfcorner.com

অধ্যায় বিষয়.................................পৃষ্ঠা

পঞ্চম অধ্যায় : তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ .... ১৫৪—১৭৭

৫·১ । তাড়িতচৌম্বকীয় বা তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ ১৫৫
৫.২ । চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎশক্তি উৎপাদন.............১৫৫
৫.৩ । আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ১৫৬
৫·৪ । চৌম্বক ফ্লাক্স...১৫৭
৫.৫ । তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত সূত্রাবলি..........১৫৭
৫.৬ । ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্র ১৫৮
৫.৭ । লেঞ্জের সূত্র..১৫৯
৫.৮ । লেঞ্জের সূত্র এবং শক্তির নিত্যতা ১৬০
৫.৯ । স্বকীয় আবেশ ১৬০
৫.১০ । পারস্পরিক আবেশ ১৬২
৫.১১ । দিক পরিবর্তী প্রবাহ ১৬৫
৫.১২ । দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি.....................১৬৬
৫.১৩ । দিক পরিবর্তী প্রবাহ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি ১৬৮
৫.১৪ । দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মানের সাথে শীর্ষমানের সম্পর্ক............১৭০
সার-সংক্ষেপ ১৭২
অনুশীলনী ১৭৩

ষষ্ঠ অধ্যায় : জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান - ১৭৮—২১০

৬.১ । ফার্মাটের নীতি ১৭৯
৬.২ । ফার্মাটের নীতি ও আলোর প্রতিফলন ১৭৯
৬.৩ । ফার্মাটের নীতি ও আলোর প্রতিসরণ ১৮০
৬.৪ । চিহ্নের প্রথা ১৮২
৬.৫ । গোলীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ.....................১৮২
৬.৬ । লেন্স ১৮৪
৬.৭ । লেন্স তৈরির সমীকরণ ১৮৭
৬·৮ । অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ ১৮৯
৬·৯ । সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ বা বিবর্ধক কাচ...১৯০
৬·১০ । যৌগিক বা জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা কম্পাউন্ড মাইক্রোস্কোপ.. ১৯১
৬.১১ । দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা টেলিস্কোপ.........................১৯২
৬.১২ । প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ..১৯৩
৬.১৩ । প্রিজম ১৯৫
৬.১৪ । প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ.............................১৯৫
৬.১৫ । প্রিজমে আলোর বিচ্ছুরণ...............................১৯৮
৬.১৬ । ব্যবহারিক...২০০
সার-সংক্ষেপ ২০৬
অনুশীলনী ২০৬

অধ্যায় বিষয় ....পৃষ্ঠা

সপ্তম অধ্যায় : ভৌত আলোকবিজ্ঞান - ২১১—২৩২

৭·১ । তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ ২১২
৭·২ । তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি বা স্পেক্ট্রাম................২১৩
৭.৩ । তরঙ্গ ও তরঙ্গমুখ ২১৫
৭.৪ । হাইগেন্সের নীতি ২১৬
৭.৫ । হাইগেন্সের নীতি ও আলোর প্রতিফলন.........২১৭
৭.৬ । হাইগেন্সের নীতি ও আলোর প্রতিসরণ.........২১৮
৭.৭ । আলোর ব্যতিচার ২১৯
৭.৮ । ইয়ংয়ের দ্বি-চির পরীক্ষা ২২০
৭.৯ । আলোর অপবর্তন.......................................২২৪
৭.১০ । আলোর সমবর্তন ২২৭
সার-সংক্ষেপ ২২৮
অনুশীলনী..২২৯

অষ্টম অধ্যায় : আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা .... ২৩৩—২৭৫

৮.১ । আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা ২৩৪
৮·২ । জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো ২৩৪
৮·৩ । মাইকেলসন মোরলের পরীক্ষা ২৩৫
৮.৪ । আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ২৩৭
৮·৫ । গ্যালিলীয় রূপান্তর ২৩৮
৮.৬ । লরেন্টজ রূপান্তর ২৪০
৮.৭ । সময়ের আপেক্ষিকতা : কাল দীর্ঘায়ন বা সময় সম্প্রসারণ ২৪৩
৮·৮ । দৈর্ঘ্যের আপেক্ষিকতা : দৈর্ঘ্য সংকোচন ২৪৪
৮.৯ । ভরের আপেক্ষিকতা : ভরবৃদ্ধি ২৪৬
৮·১০ । ভরশক্তি সম্পর্ক ২৪৮
৮·১১ । মৌলিক বল..২৫১
৮.১২ । মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের ব্যবহার..২৫৩
৮.১৩ । কালো বস্তুর বিকিরণ : প্ল্যাঙ্কের ব্যাখ্যা.........২৫৪
৮.১৪ । এক্স-রে ২৫৫
৮.১৫ । ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ২৫৮
৮.১৬ । দ্য ব্রগলি তরঙ্গ ২৬৩
৮.১৭ । কম্পটন ক্রিয়া বা কম্পটনের প্রভাব ২৬৪
৮.১৮ । হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি ২৬৬
সার-সংক্ষেপ..২৬৮
অনুশীলনী..২৬৯

অধ্যায় বিষয়..................................পৃষ্ঠা

নবম অধ্যায় : পরমাণুর মডেল ও নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান ....২৭৬—৩০৩

৯·১। পরমাণুর গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ ২৭৭
৯·২। আলফা কণা পরীক্ষা ২৭৮
৯.৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল : সৌর মডেল ...২৭৯
৯.৪। রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা ২৭৯
৯.৫। বোরের পরমাণু মডেল : কোয়ান্টাম মডেল ২৭৯
৯·৬। শক্তি স্তর..২৮৩
৯.৭। নিউক্লিয়াসের গঠন ২৮৩
৯.৮। নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস ..২৮৭
সার-সংক্ষেপ ২৯৬
অনুশীলনী ২৯৭

দশম অধ্যায় : সেমিকন্ডাক্টর ও ইলেক্ট্রনিক্স ৩০৪—৩৪৯

১০·১। ব্যান্ড তত্ত্ব ৩০৫
১০·২। পরিবাহী, অপরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর এবং ব্যান্ড তত্ত্ব ৩০৭
১০.৩। ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা ৩১০
১০·৪। সেমিকন্ডাক্টরের প্রকারভেদ ৩১০
১০.৫। p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী ৩১০
১০·৬। সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড বা জাংশন ডায়োড ৩১২
১০·৭। p-n জংশনের বৈশিষ্ট্য লেখ ৩১৪
১০·৮। একমুখীকরণ ৩১৫
১০·৯। পূর্ণতরঙ্গ ব্রিজ রেকটিফায়ার.....................৩১৬

অধ্যায় বিষয় ....পৃষ্ঠা

১০·১০। জাংশন ট্রানজিস্টর ৩১৬
১০·১১। ট্রানজিস্টর বর্তনীর মৌলিক বিন্যাস.............৩১৮
১০·১২। ট্রানজিস্টরে তড়িতের প্রবাহ ৩১৯
১০·১৩। অ্যাম্পলিফায়ার বা বিবর্ধক হিসেবে ট্রানজিস্টর ৩২০
১০.১৪। সুইচ হিসাবে ট্রানজিস্টর ৩২১
১০·১৫। নম্বর পদ্ধতি বা সংখ্যা পদ্ধতি...................৩২২
১০.১৬। ডেসিমেল থেকে বাইনারিতে রূপান্তর........৩২৪
১০.১৭। বাইনারি নম্বর থেকে ডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর ৩২৫
১০.১৮। অক্টাল ও হেক্সাডেসিমেল পদ্ধতি ৩২৬
১০.১৯। বাইনারি অপারেশন ৩২৮
১০.২০। বুলিয়ান অপারেশন ৩৩০
১০.২১। লজিক গেট..৩৩০
১০.২২। গেটের সমবায় ৩৩৩
১০.২৩। ব্যবহারিক ৩৩৬
সার-সংক্ষেপ..৩৪১
অনুশীলনী...৩৪৩

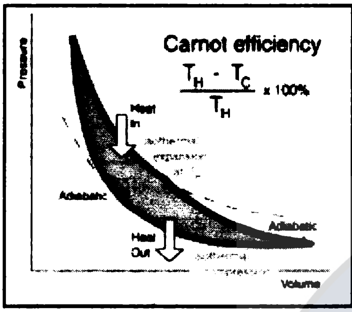
একাদশ অধ্যায় : জ্যোতির্বিজ্ঞান ·৩৫০—৩৬৪

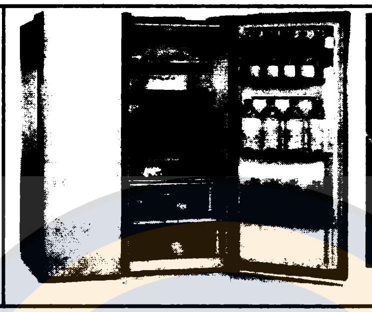
১১.১। মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য..............................৩৫০
১১.২। পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ... ৩৫১
১১.৩। মহাবিশ্বের মূলবস্তু ও ঘটনা.......................৩৫২
১১.৪। মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত যন্ত্রের মূলনীতি..৩৫৯
সার-সংক্ষেপ..৩৬২
অনুশীলনী...৩৬৩

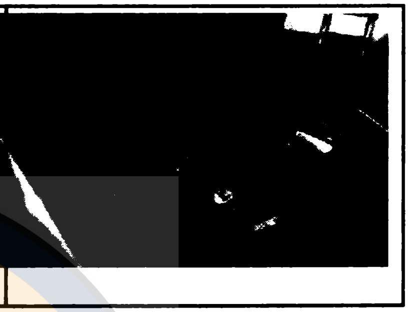
প্রথম অধ্যায়

তাপগতিবিদ্যা

THERMODYNAMICS







পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় তাপের সাথে শক্তি ও কাজের সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে তাপগতিবিদ্যা বলে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রেরই একটি বিশেষ রূপ। অবশ্য শক্তির রূপান্তর ঘটবে কিনা বা ঘটলেও কোন দিকে ঘটবে তা আমরা এই সূত্র থেকে বলতে পারি না। প্রকৃতিতে শক্তির রূপান্তরের দিক নিয়ে যে অভিজ্ঞতা তা থেকেই তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের উদ্ভব। এই অধ্যায়ে আমরা তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি, তাপমাত্রার স্কেল, অভ্যন্তরীণ শক্তি, সিস্টেম, তাপীয় সমতা, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজ, সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, তাপ ইঞ্জিন, কার্নোচক্র, রেফ্রিজারেটর ও এন্ট্রপি নিয়ে আলোচনা করব।

প্রধান শব্দসমূহ :

তাপমাত্রা, থার্মোমিটার, নিম্ন স্থির বিন্দু, ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু, মৌলিক ব্যবধান, পানির ত্রৈধবিন্দু, কেলভিন, সেলসিয়াস স্কেল, অভ্যন্তরীণ শক্তি, সিস্টেম, উন্মুক্ত সিস্টেম, বদ্ধ সিস্টেম, বিচ্ছিন্ন সিস্টেম, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, সমচাপ প্রক্রিয়া, সমোষ্ণ প্রক্রিয়া, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া, প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, তাপ ইঞ্জিন, তাপ ইঞ্জিনের দক্ষতা, কার্নোচক্র, রেফ্রিজারেটর, এন্ট্রপি।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা এবং তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.১
২	তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.২; ১.৫
৩	তাপীয় সিস্টেমের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.৩
৪	অভ্যন্তরীণ শক্তির ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.৪
৫	কোনো সিস্টেমে তাপ, তার অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং সম্পন্ন কাজের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।	১.৫
৬	তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.৭

৭	প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.৮
৮	কার্নো চক্রের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.১০; ১.১১
৯	তাপীয় ইঞ্জিন এবং রেফ্রিজারেটরের কার্যক্রমের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.৯; ১.১৩
১০	ইঞ্জিনের দক্ষতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.১২
১১	এন্ট্রপি ও বিশৃঙ্খলা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১.১৪

১.১। তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি (Principle of Measurement of Temperature)

তাপীয় সমতা

তাপ হচ্ছে শক্তির একটি রূপ যা বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির সাথে সম্পর্কিত। দুটি বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনলে তাপের আদান প্রদান ঘটতে পারে। এই আদান প্রদান ঘটবে কীনা তা নির্ভর করবে বস্তুদ্বয়ের তাপীয় অবস্থার উপর।

লক্ষ্য কর : কাপে গরম চা বা দুধ রেখে দিলে কিছুক্ষণ পর তা ঠাণ্ডা হয়ে যায়। ফ্রিজ থেকে বের করে ঠাণ্ডা বস্তু বা খাবার টেবিলে রাখলে কিছুক্ষণ পর গরম হয়ে যায়। আসলে কী ঠাণ্ডা বা গরম হয়?

একটি উত্তপ্ত বস্তুকে যদি খোলা জায়গায় রাখা হয় তাহলে বস্তুটি পরিবেশে তাপ হারিয়ে শীতল হতে থাকে। আবার শীতল কোনো বস্তুকে খোলা জায়গায় রাখলে পরিবেশ থেকে তাপ গ্রহণ করে গরম হতে থাকে। কিছুক্ষণ তাপের এই আদান প্রদান চলতে থাকে। যখন আর তাপের আদান প্রদান হয় না অর্থাৎ বস্তু তাপ বর্জন করে না বা গ্রহণ করে না, আমরা তখন বলি বস্তুটি পরিবেশের সাথে তাপীয় সমতায় এসেছে। দুটি বস্তু যদি তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাহলে তাদের মধ্যে তাপের আদান প্রদান হয় না। **যে অবস্থায় পরস্পরের সংস্পর্শে থাকা বস্তুগুলোর মধ্যে তাপের আদান প্রদান ঘটে না তাকে তাপীয় সমতা বলে।** কোনো বস্তু বা সিস্টেম যদি পরিবেশের সাথে তাপীয় সমতায় থাকে, তাহলে পরিবেশের সাথে ঐ সিস্টেমের তাপের কোনো আদান প্রদান হবে না। তাপের আদান প্রদান যে বিষয়ের উপর নির্ভর করে তা হচ্ছে বস্তু বা সিস্টেমের তাপীয় অবস্থা, যাকে বলা হয় তাপমাত্রা। তাপমাত্রার পার্থক্য থাকলেই কেবল তাপের আদান প্রদান ঘটবে, তাপের পরিমাণ যাই থাকুক না কেন তাপমাত্রার পরিবর্তন না ঘটলে তাপীয় সমতা বিঘ্নিত হবে না।

তাপমাত্রার ধারণা

তাপমাত্রা বা উষ্ণতা হচ্ছে বস্তুর তাপীয় অবস্থা যা নির্ধারণ করে বস্তুটিকে অন্য বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে রাখলে তাপ দেবে না নেবে। আমরা অনেক সময় হাত দিয়ে কোনো বস্তুর উষ্ণতা বুঝতে চেষ্টা করি। কিন্তু স্পর্শ দ্বারা সব সময় বস্তুর উষ্ণতা বা তাপমাত্রা সম্পর্কে সঠিক ধারণা পাওয়া সম্ভব হয় না।

করে দেখো : ঘরের মধ্যে এক টুকরা কাঠ ও এক টুকরা লোহা কিছুক্ষণ পাশাপাশি রেখে তারপর তাদেরকে স্পর্শ কর। কী দেখলে?

লোহাকে কাঠের চেয়ে অধিকতর শীতল মনে হয়। কিন্তু বাস্তবে এগুলো একই পরিবেশে থাকায় তাপীয় সমতায় আছে এবং একই তাপমাত্রা বা উষ্ণতায় আছে।

পরীক্ষা : তিনটি পাত্রে পানি নাও। একটিতে বরফগলা ঠাণ্ডা পানি, একটিতে ঈষদোষ্ণ গরম পানি আর অন্যটিতে সাধারণ পানি তথা কক্ষ তাপমাত্রার পানি। এখন এক হাত ঠাণ্ডা পানিতে এবং অপর হাত গরম পানিতে কিছুক্ষণ ডুবিয়ে রাখো। এরপর উভয় হাত কক্ষ তাপমাত্রার পানিতে ডুবাও। কী অনুভব করলে?

কক্ষ তাপমাত্রার পানি তোমার ঠাণ্ডা পানিতে রাখা হাতের কাছে অপেক্ষাকৃত উষ্ণ এবং গরম পানিতে রাখা হাতের কাছে অপেক্ষাকৃত শীতল মনে হয়। এ থেকে বোঝা যায় শুধু স্পর্শানুভূতি দ্বারা উষ্ণতা সম্পর্কে সঠিক ধারণা পাওয়া সম্ভব নয়। আবার স্পর্শ দ্বারা কোনো সময় উষ্ণতার পার্থক্য ধরা পড়লেও মান নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। যেমন কারো জ্বর হলে হাত দিয়ে স্পর্শ করে আমরা মোটামুটি বলতে পারি জ্বর এসেছে, কিন্তু জ্বরের পরিমাণ বের করা যায় না। তাই আমাদের যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। উষ্ণতা বা তাপমাত্রা নির্ণয়ের এই যন্ত্রের নাম **থার্মোমিটার**।

তাপমাত্রার পরিমাপ

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বস্তুর তাপমাত্রা সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় এবং বিভিন্ন বস্তুর তাপমাত্রার পার্থক্য নির্ণয় করা যায় তাকে থার্মোমিটার বলে।

থার্মোমিটার তথা উষ্ণতা পরিমাপের যন্ত্র নির্মাণে আমাদের এমন পদার্থের প্রয়োজন হয় উষ্ণতা পরিবর্তনে যার কোনো না কোনো ধর্মের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয়। আমরা জানি, তাপ প্রয়োগে অর্থাৎ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সাধারণত কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন বাড়ে, তড়িৎ পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়, কোনো বস্তু থেকে নির্গত আলোর বর্ণের পরিবর্তন হয়। সুতরাং বস্তু বিশেষের এ জাতীয় বিশেষ বিশেষ ধর্ম লক্ষ্য করে উষ্ণতা নির্ণয় করা যায়।

উষ্ণতার পরিবর্তনে পদার্থের যে বিশেষ বিশেষ ধর্ম নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ্য করে সহজ ও সূক্ষ্মভাবে উষ্ণতা নির্ণয় করা যায় তাকে উষ্ণতামিতি ধর্ম বলে। যে সকল পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম ব্যবহার করে থার্মোমিটার তৈরি করা হয় তাদেরকে উষ্ণতামিতি পদার্থ বলে।

বিভিন্ন পরিসরের উষ্ণতা নির্ণয়ের জন্য সুবিধা অনুযায়ী বিভিন্ন উষ্ণতামিতি পদার্থ ব্যবহার করা হয়। সাধারণত উষ্ণতামিতি পদার্থের বা তার ধর্মের ওপর ভিত্তি করে থার্মোমিটারের নামকরণ করা হয়। যেমন পারদ থার্মোমিটার, রোধ থার্মোমিটার, গ্যাস থার্মোমিটার প্রভৃতি।

থার্মোমিটারের সাহায্যে তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য একে দাগাঙ্কিত করতে হয়। এই দাগাঙ্কনের জন্য দুটি বিশেষ বিন্দু নির্দিষ্ট করা হয় যাদের সহজে পুনরায় উৎপন্ন করা যায়। এদের **স্থির বিন্দু** বলা হয়।

নিম্ন স্থির বিন্দু : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ পানির সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে তাকে নিম্ন স্থির বিন্দু বা বরফ বিন্দু বলে।

ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু : যে **তাপমাত্রায় প্রমাণ** চাপে **বিশুদ্ধ** পানি **জলীয় বাষ্পের** সাথে **সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে বা যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পে** পরিণত হতে শুরু করে **তাকে ঊর্ধ্ব স্থির** বিন্দু বা **স্টিম বিন্দু বলে।**

ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু ও নিম্ন স্থির বিন্দুর মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে **মৌলিক ব্যবধান** বলে। এই ব্যবধানকে সুবিধাজনক কতগুলো সমান ভাগে বিভক্ত করে এক একটি ভাগকে উষ্ণতাজ্ঞাপক সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। একে বলা হয় **তাপমাত্রার স্কেল**।

তাপমাত্রার স্কেল নির্ধারণের সময় পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম কাজে লাগানো হয়। ধরা যাক, বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা যথাক্রমে θ_{ice} এবং θ_{steam} এবং এই দুই তাপমাত্রায় উপরোক্ত কোনো একটি ধর্মের মান যথাক্রমে X_{ice} এবং X_{steam}। এখন অন্য কোনো তাপমাত্রা θ তে ঐ ধর্মের মান যদি X_θ হয় এবং মৌলিক ব্যবধানকে যদি N টি সমান ভাগে ভাগ করা হয়, তাহলে ঐ তাপমাত্রা θ এর মান হবে,

$$\frac{\theta - \theta_{ice}}{\theta_{steam} - \theta_{ice}} = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $$\frac{\theta - \theta_{ice}}{N} = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \quad \ldots \quad (1.1)$$

বিভিন্ন স্কেলে থার্মোমিটার দাগাঙ্কিত করার জন্য (1.1) সমীকরণ ব্যবহার করা হয়। তাপমাত্রার নানা প্রকার স্কেল প্রচলিত আছে। বিভিন্ন স্কেলে এই বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রাকে বিভিন্ন ধরা হয়েছে।

সেলসিয়াস স্কেল : জনপ্রিয় ও বহুল প্রচলিত সেলসিয়াস স্কেলে বরফ বিন্দুকে 0° এবং স্টিম বিন্দুকে 100° ধরে মধ্যবর্তী মৌলিক ব্যবধানকে 100 ভাগে ভাগ করা হয়েছে। এর এক এক ভাগকে **এক ডিগ্রি সেলসিয়াস** (1°C) বলে।

যেহেতু সেলসিয়াস স্কেলে $\theta_{ice} = 0°C$, $\theta_{steam} = 100°C$ এবং $N = \theta_{steam} - \theta_{ice} = 100°C - 0°C = 100°C$, সুতরাং সেলসিয়াস স্কেলের জন্য (1.1) সমীকরণের রূপ হলো,

$$\frac{\theta - 0°C}{100°C} = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $\theta = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times 100°C$ ... (1.2)

সেলসিয়াস স্কেলে থার্মোমিটার দাগাঙ্কনের জন্য (1.2) সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।

তাপমাত্রা বা তাপমাত্রা পরিবর্তনের এসআই (SI) একক হচ্ছে কেলভিন।

কেলভিন : পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ কে এক কেলভিন (1K) বলে।

4.58 mm পারদস্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয় বাষ্প তাপীয় সমতায় থাকে, তাকে **পানির ত্রৈধ বিন্দু বলে**। পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রা নির্ধারণ করা হয়েছে 273.16 K। এর উপর ভিত্তি করে পরম শূন্য তাপমাত্রা হচ্ছে 0K, বরফ বিন্দু 273.15 K এবং স্টিম বিন্দু 373.15 K।

সেলসিয়াসের সাথে কেলভিনের সম্পর্ক হচ্ছে

$$K = C + 273.15 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.3)$$

সাধারণ হিসাব নিকাশের সময় অনেক সময় বরফ বিন্দুকে 273.15 K এর পরিবর্তে 273 K ধরা হয়। তখন (1.3) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$K = C + 273 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.4)$$

সাধারণত তাপমাত্রাকে সেলসিয়াস স্কেলে θ এবং কেলভিন স্কেলে T দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore T = \theta + 273 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.5)$$

গাণিতিক উদাহরণ ১.১। একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফবিন্দু ও স্টিম বিন্দুতে যথাক্রমে 4.5 Ω এবং 9.5 Ω। কোনো তরলে স্থাপন করলে এর রোধ 6.1 Ω হয়। তরলের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\theta = \frac{X_\theta - X_o}{X_{100} - X_o} \times 100° C = \frac{6.1\ \Omega - 4.5\ \Omega}{9.5\ \Omega - 4.5\ \Omega} \times 100° C$$

$$= \frac{1.6\ \Omega}{5.0\ \Omega} \times 100° C = 32° C$$

উ: 32° C

এখানে,
বরফবিন্দুতে রোধ $X_o = 4.5\ \Omega$
স্টিম বিন্দুতে রোধ, $X_{100} = 9.5\ \Omega$
নির্ণেয় তাপমাত্রায় রোধ, $X_\theta = 6.1\ \Omega$
নির্ণেয় তাপমাত্রা, θ = ?

সেলসিয়াস, ফারেনহাইট বা কেলভিন স্কেলের যেকোনো একটিতে প্রাপ্ত তাপমাত্রার মান অন্য স্কেলে কী হবে তা নিচের সম্পর্কের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় :

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.6)$$

এখানে C, F ও K হচ্ছে যথাক্রমে সেলসিয়াস, ফারেনহাইট ও কেলভিন স্কেলে পাঠ।

আবার যে কোনো থার্মোমিটারের জন্য

$$\frac{\text{তাপমাত্রা} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}}{\text{ঊর্ধ্ব স্থিরবিন্দু} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}}$$ অনুপাত সমান

$$\therefore \frac{\text{তাপমাত্রা} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}}{\text{ঊর্ধ্ব স্থিরবিন্দু} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}} = \frac{S - M}{B - M} \quad (1.7)$$

গাণিতিক উদাহরণ ১.২। কোন তাপমাত্রায় সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে একই পাঠ পাওয়া যায়?

আমরা জানি,

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} \quad \text{বা,} \quad \frac{x}{5} = \frac{x-32}{9}$$

বা, $9x = 5x - 160$ বা $4x = -160$

$\therefore x = -40°$ **উ :** $-40°C$ এবং $-40°F$

এখানে
$C = F = x$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৩। একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার সাধারণ বায়ু চাপে গলিত বরফে $4°C$ এবং শুষ্ক বাষ্পে $98°C$ পাঠ দেয়। থার্মোমিটারটি $51°C$ পাঠ দিলে প্রকৃত পাঠ কত?

আমরা জানি, সকল স্কেলের ক্ষেত্রে

$$\frac{\text{তাপমাত্রা} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}}{\text{ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু} - \text{নিম্ন স্থির বিন্দু}} \text{ অনুপাত সমান}$$

$$\therefore \frac{C-0}{100-0} = \frac{S-M}{B-M} \quad \text{বা, } \frac{C}{100} = \frac{51-4}{98-4}$$

$\therefore C = 50°C$ **উ:** $50°C$

এখানে

ত্রুটিপূর্ণ স্কেলে তাপমাত্রা, $S = 51°C$

নিম্ন স্থির বিন্দু, $M = 4°C$

ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু, $B = 98°C$

সেলসিয়াস স্কেলে প্রকৃত তাপমাত্রা, $C = ?$

১.২। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ধারণা

Concept of First Law of Thermodynamics

তাপ খুব সহজেই পাওয়া যায়। যে কোনো জ্বালানি পোড়ালেই তাপ উৎপন্ন হয়। আবার একটি উষ্ণতর বস্তু ঠাণ্ডা হওয়ার সময় তাপ আপনাআপনি বেরিয়ে আসে। অন্য কোনো শক্তি তাপের ন্যায় এত সহজে মেলে না। তাই বৈজ্ঞানিকদের প্রথম প্রচেষ্টাই হলো কত বেশি পরিমাণ তাপকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তার উপায় বের করা।

প্রকৃতিতে প্রতিনিয়ত অসংখ্য ঘটনা ঘটছে। এসব ঘটনা কিন্তু খেয়াল খুশি মতো ঘটতে পারে না। প্রাকৃতিক প্রতিটি ঘটনাই কোনো না কোনো নিয়ম মেনে চলে। বস্তুত প্রকৃতির রাজ্য নিয়মের অধীন, সবকিছুই শৃঙ্খলা মেনে চলে। আর সেই নিয়মগুলো অপরিবর্তনীয়। যেমন পাহাড়ের ওপর থেকে পাথর গড়িয়ে নিচে পড়ে। অতীতেও এমন হয়েছে ভবিষ্যতেও হবে। কেওকারাডাং থেকেও পড়বে, হিমালয় থেকেও পড়বে। শক্তির রূপান্তরকেও কোনো না কোনো নিয়ম মেনে চলতে হয়। এই নিয়মগুলোকে বলা হয় তাপগতিবিদ্যার সূত্রাবলি। আমরা দেখেছি তাপ যান্ত্রিক শক্তি বা কাজে রূপান্তরিত হতে পারে। আজ যে পরিমাণ তাপ খরচ করে একটা কাজ পাওয়া গেল, কাল আবার সেই কাজটি করতে গেলে সেই একই পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হবে। পরিমাণের ব্যতিক্রম হতে পারবে না। বহু রকমের পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে এটা জানা গেছে।

বিজ্ঞানী জুল সর্বপ্রথম কাজ ও তাপের মধ্যে একটি সঠিক সম্পর্ক নির্ণয় করেন এবং এ সম্পর্কটি একটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন। এই সূত্রকে জুলের সূত্র বলে। এই সূত্রকে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রও বলা হয়।

সূত্র : ***যান্ত্রিক শক্তি তথা কাজকে তাপে বা তাপ শক্তিকে কাজে তথা যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হলে যান্ত্রিক শক্তি ও তাপ পরস্পরের সমানুপাতিক হবে।***

এই সূত্রানুসারে, $W \propto H$

$$\text{বা, } W = JH \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.8)$$

এখানে W হলো কাজের পরিমাণ, H হলো তাপের পরিমাণ এবং J হচ্ছে জুলের ধ্রুবক, একে বলা হয় তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বা সমতা। উপরিউক্ত সমীকরণে $H = 1$ একক হলে $W = J$ হয়। **একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায় তাকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বা সমতা বলে।**

১.৩। সিস্টেম (System)

পরীক্ষা-নিরীক্ষার সময় আমরা জড় জগতের খানিকটা নির্দিষ্ট অংশ বিবেচনা করি। জড় জগতের এই নির্দিষ্ট অংশকে সিস্টেম বা ব্যবস্থা বলে। সিস্টেমের বহির্ভূত সব কিছুকেই এর পরিবেশ বলে গণ্য করা হয়।

তাপগতিবিদ্যায় কিছু রাশির সাহায্যে কোনো সিস্টেমের অবস্থা বর্ণনা করা হয়। তাপগতীয় আলোচনার জন্য সাম্যাবস্থায় চাপ p, আয়তন V এবং উষ্ণতা T-এর সাহায্যে সিস্টেমকে বর্ণনা করা যায়। এই রাশিগুলোকে **তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বলে। যে পরিবর্তনের কারণে তাপগতীয় স্থানাঙ্কের মানের পরিবর্তন হয় সেই পরিবর্তনকে তাপগতীয় প্রক্রিয়া বলে।**

প্রত্যেক সিস্টেমের একটা নির্দিষ্ট আয়তন, ভর ও অভ্যন্তরীণ শক্তি থাকে। সিস্টেম বিভিন্ন ধরনের হয়। যেমন-উন্মুক্ত সিস্টেম, বদ্ধ সিস্টেম এবং বিচ্ছিন্ন সিস্টেম।

উন্মুক্ত সিস্টেম (Open system) : যে সিস্টেম পরিবেশের সাথে ভর ও শক্তি উভয়ই বিনিময় করতে পারে তাকে উন্মুক্ত সিস্টেম বলে।

বদ্ধ সিস্টেম (Closed system) : যে সিস্টেম পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে কিন্তু ভর বিনিময় করতে পারে না তাকে বদ্ধ সিস্টেম বলে।

বিচ্ছিন্ন সিস্টেম (Isolated system) : যে সিস্টেম পরিবেশ দ্বারা মোটেই প্রভাবিত হয় না অর্থাৎ পরিবেশের সাথে ভর বা শক্তি কোনো কিছুই বিনিময় করে না তাকে বিচ্ছিন্ন সিস্টেম বলে।

১·৪। অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal Energy)

আগুনের কাছে একটি ধাতব বস্তু ধরলে দেখা যায়, সেটি বেশ গরম হয়ে ওঠেছে। আমাদের কাছে মনে হয় আগুন থেকে 'একটা কিছু' বস্তুতে এসে একে উত্তপ্ত করে তুলেছে। এই একটা কিছুই হচ্ছে তাপ।

প্রকৃতপক্ষে তাপ কোনো পদার্থ নয়, **তাপ হচ্ছে একটা প্রক্রিয়া যা বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ঘটায়।** প্রকৃতিতে শক্তি বিভিন্নরূপে বিরাজ করে; যেমন যান্ত্রিক শক্তি, তাপ শক্তি, রাসায়নিক শক্তি, অভ্যন্তরীণ শক্তি ইত্যাদি। যান্ত্রিক শক্তি, তড়িৎ শক্তি, রাসায়নিক শক্তি প্রভৃতির প্রকৃতি সহজেই বোঝা যায় কিন্তু অভ্যন্তরীণ শক্তি বলতে আমরা কী বুঝি? যখন কোনো বস্তুকে উত্তপ্ত করা হয়, তখন এর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং এই শক্তি হ্রাস পায় যখন একে শীতল করা হয়। প্রত্যেক বস্তুর ভেতরই একটি শক্তি থাকে যার দ্বারা এটি কাজ করতে পারে। এই শক্তি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। এই শক্তিই অভ্যন্তরীণ শক্তি। প্রকৃতপক্ষে পদার্থের অণুগুলোর রৈখিক গতি, পরমাণুর কম্পন ও আবর্তন, নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনের গতির প্রভাবে অভ্যন্তরীণ শক্তির উদ্ভব হয়।

প্রত্যেক বস্তুর মধ্যে একটা সহজাত শক্তি নিহিত থাকে, যা কাজ সম্পাদন করতে পারে, যা অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। বস্তুর অভ্যন্তরস্থ অণু, পরমাণু ও মৌলিক কণাসমূহের রৈখিক গতি, স্পন্দন গতি ও আবর্তন গতি এবং তাদের মধ্যকার পারস্পরিক বলের কারণে উদ্ভূত শক্তিকেই অভ্যন্তরীণ বা অন্তস্থ শক্তি বলে।

কোনো বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির মানের চেয়ে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন অধিক গুরুত্বপূর্ণ। কোনো বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ভর করে তার চাপ (p), আয়তন (V) এবং তাপমাত্রা (T) এর সাথে সাথে আরো কিছু ভৌত ধর্ম যেমন আপেক্ষিক তাপ, প্রসারণ সহগ ইত্যাদির ওপর। দুটি ভিন্ন উষ্ণতার বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখলে উষ্ণতর বস্তুটি শীতল হয় এবং শীতলতর বস্তুটি উত্তপ্ত হয় এবং ক্রমান্বয়ে বস্তু দুটি একই উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। এরকম হলে আমরা বলি বস্তু দুটি তাপীয় সমতায় পৌঁছেছে। দুটি বস্তুর তাপীয় সমতায় পৌঁছার জন্য উষ্ণতর বস্তুটির অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস এবং শীতলতর বস্তুটির অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। একটি বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে তাপ শক্তি স্থানান্তরের ফলে বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হয়। বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হলেই তার তাপমাত্রার পরিবর্তন হয়।

১·৫। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র : তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক
First Law of Thermodynamics : Relation between Heat, Internal Energy and Work

তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র প্রকৃতপক্ষে শক্তির নিত্যতা সূত্রেরই একটি বিবৃতি। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস এই সূত্রকে সাধারণ রূপে বর্ণনা করেন। তাঁর মতে, কোনো সিস্টেমে তাপ শক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে অথবা অন্য কোনো শক্তি তাপে রূপান্তরিত হলে সিস্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ একই থাকে।

সূত্র : যখন কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি সরবরাহ করা হয় তখন সেই তাপশক্তির কিছু অংশ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধিতে সহায়তা করে এবং বাকি অংশ দ্বারা সিস্টেম তার পরিবেশের ওপর বাহ্যিক কাজ সম্পাদন করে।

ΔQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করার ফলে যদি কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔU এবং সিস্টেম কর্তৃক পরিবেশের ওপর বাহ্যিক কৃতকাজের পরিমাণ ΔW হয়, তাহলে

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \qquad (1.9)$$

ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র পরিবর্তনের সময় এই সমীকরণকে লেখা যায়,

$$dQ = dU + dW \quad \ldots \quad \ldots \qquad (1.10)$$

এখানে ΔQ বা dQ ধনাত্মক ধরা হবে যদি সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করা হয়। পক্ষান্তরে তাপশক্তি যদি সিস্টেম থেকে পরিবেশে যায় তাহলে ΔQ বা dQ ঋণাত্মক হবে। সিস্টেম কর্তৃক পরিবেশের ওপর কাজ সম্পাদিত হলে ΔW বা dW ধনাত্মক হবে এবং পরিবেশ সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদন করলে ΔW বা dW ঋণাত্মক হবে। সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পেলে ΔU বা dU ধনাত্মক হবে আর সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পেলে ΔU বা dU ঋণাত্মক হবে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যবহারে চিহ্ন সম্পর্কে সতর্কতা অবলম্বন করা প্রয়োজন। নিচের সারণিতে ΔQ, ΔU ও ΔW এর চিহ্নের প্রথা দেখানো হলো :

	ধনাত্মক (+)	ঋণাত্মক (−)
ΔQ বা dQ	সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করা হলে।	সিস্টেম তাপ হারালে।
ΔU বা dU	সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পেলে।	সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পেলে।
ΔW বা dW	সিস্টেম কর্তৃক কাজ সম্পাদিত হলে।	সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদিত হলে।

(1.10) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে,

$$dU = dQ - dW \quad \ldots \quad \ldots \qquad (1.11)$$

অর্থাৎ কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হচ্ছে সিস্টেমে যে পরিমাণ শক্তি তাপ হিসেবে প্রবাহিত হচ্ছে এবং যে পরিমাণ শক্তি কাজ হিসেবে সিস্টেম থেকে পরিবেশে যাচ্ছে তার পার্থক্যের সমান।

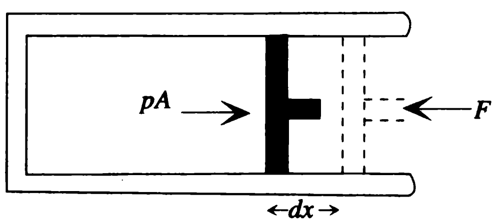
১.৬। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার : প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজ

Uses of First Law of Thermodynamics : Work Done by an Expanding Gas

(ক) সমচাপ প্রক্রিয়া (Isobaric Process)

যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না তাকে সমচাপ প্রক্রিয়া বলে।

ধরা যাক, ঘর্ষণহীন পিস্টন সংযুক্ত কোনো সিলিন্ডারের মধ্যে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে (চিত্র ১.১)। পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A। গ্যাসের চাপ p হলে পিস্টনের ওপর গ্যাসের চাপজনিত মোট বলের পরিমাণ হবে pA। এখন এই বলের সমান একটি বাহ্যিক বল, F পিস্টনের ওপর ক্রিয়াশীল হলে পিস্টনটি সাম্যাবস্থায় থাকবে।



চিত্র : ১.১

এখন ধরা যাক, গ্যাস প্রসারিত হয়ে পিস্টনটিকে বাইরের দিকে খুব ক্ষুদ্র দূরত্ব dx পরিমাণ সরিয়ে নিল। dx খুব ক্ষুদ্র হওয়ায় গ্যাসের চাপ অপরিবর্তনশীল বিবেচনা করা যায়। F বলের বিরুদ্ধে বাহ্যিক কাজের পরিমাণ dW হলে,

$$dW = Fdx \quad = p\,A\,dx$$

$$\therefore\ dW = p\,dV \quad \ldots \qquad (1.12)$$

এখানে $dV = A\,dx$ = গ্যাসের আয়তনের ক্ষুদ্র প্রসারণ।

স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2-তে পরিবর্তিত হলে গ্যাস কর্তৃক মোট কৃত কাজ,

$\Delta W = p\,(V_2 - V_1)$

অর্থাৎ কৃত কাজ = চাপ × আয়তনের পরিবর্তন।

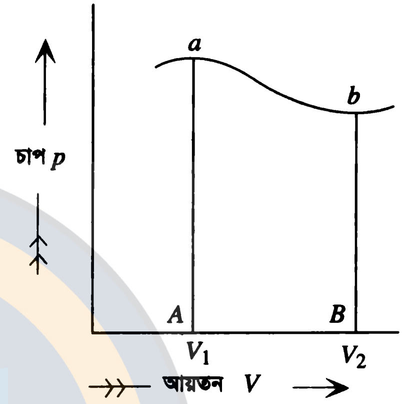
(1.10) সমীকরণে কাজের মান বসিয়ে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে লেখা যায়,

$$dQ = dU + p\,dV \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1.13)$$

নির্দেশক চিত্র (Indicator Diagram)

সাধারণভাবে যে কোনো তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় কৃতকাজের পরিমাণ pV রৈখিক চিত্র-এর সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। **এই রৈখিক চিত্রকে নির্দেশক চিত্র বলে।** X অক্ষে আয়তন V এবং Y অক্ষে চাপ p নিয়ে নির্দেশক চিত্র বা pV রৈখিক চিত্র অঙ্কন করা হয়।

যদি গ্যাসের চাপ এর আয়তনের সাথে পরিবর্তিত হয় তাহলে নির্দেশক চিত্রের রূপ চিত্র ১.২-এর ন্যায় হবে। গ্যাসের এই পরিবর্তনের জন্য কৃতকাজের পরিমাণ নির্দেশক চিত্রের $aABb$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান হবে।



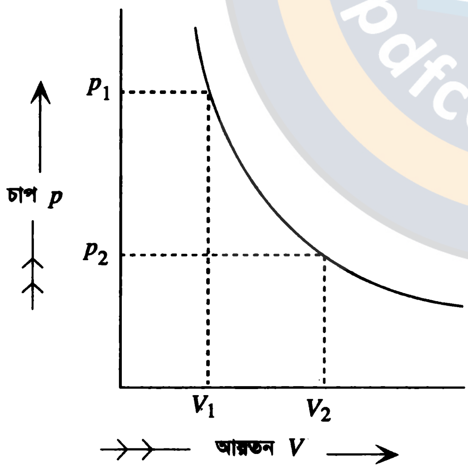
চিত্র : ১.২

(খ) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (Isothermal Process)

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে যাতে করে বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করা যায় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে।

যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে।

ধরা যাক, আমাদের সিস্টেম হচ্ছে একটি গ্যাসভর্তি সিলিন্ডার যার সাথে একটি নড়নক্ষম পিস্টন লাগানো আছে। সিলিন্ডারের দেয়ালের মধ্য দিয়ে সিস্টেমে তাপ প্রবেশ করতে কিংবা সিস্টেম থেকে বেরিয়ে যেতে পারে।



চিত্র : ১.৩

যদি সিস্টেমে খুব ধীরে ধীরে তাপ সরবরাহ করা যায় তাহলে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন হবে যদিও এর তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হবে না। এরূপ পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলা হয়। এর ফলে গ্যাসের যে প্রসারণ হয় তাকে সমোষ্ণ প্রসারণ বলা হয়।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার pV রৈখিক চিত্র ১.৩ চিত্রে দেখানো হয়েছে। এই রৈখিক চিত্রকে **সমোষ্ণরেখ** বলে।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় উষ্ণতা স্থির থাকে বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না অর্থাৎ $dU = 0$।

সুতরাং তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$dQ = 0 + dW$$

$$\therefore\ dW = dQ \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1.14)$$

অর্থাৎ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেম কর্তৃক কৃতকাজ সিস্টেমে সরবরাহকৃত তাপশক্তির সমান। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $p_1V_1 = p_2V_2$ হবে।

(গ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া (Adiabatic Process)

যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেম থেকে তাপ বাইরে যায় না বা বাইরে থেকে কোনো তাপ সিস্টেমে আসে না তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে।

সিস্টেমটিকে পরিবেশ থেকে তাপীয়ভাবে অন্তরিত করে অথবা গ্যাসকে দ্রুত প্রসারিত অথবা সঙ্কুচিত করলে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া পাওয়া যায়। এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের যে পরিবর্তন হয় তাকে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলে। এর ফলে

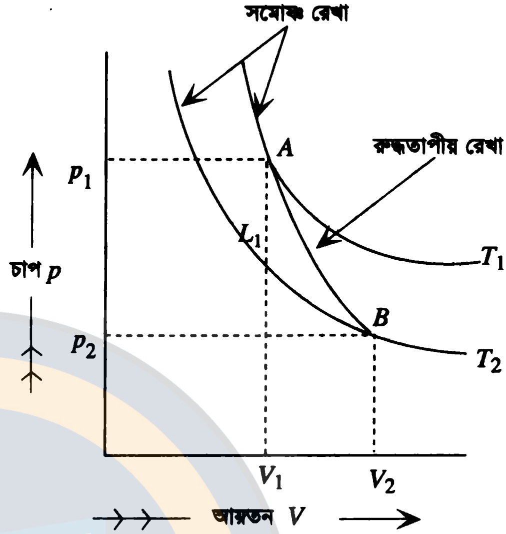
গ্যাসের যে প্রসারণ হয় তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ, আর গ্যাস সঙ্কুচিত হলে তাকে রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচন বলে। যেহেতু রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমে কোনো তাপ প্রবেশ করতে পারে না বা সিস্টেম থেকে কোনো তাপ বেরিয়ে যেতে পারে না সুতরাং $dQ = 0$ । অতএব, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$0 = dU + dW$$

$$\therefore dW = -dU \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.15)$$

রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেম কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি তথা তাপমাত্রা হ্রাস পায় অর্থাৎ সিস্টেম শীতল হয়। পক্ষান্তরে রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনের সময় বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় ফলে সিস্টেমের তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায়।

সুতরাং **রুদ্ধতাপীয় প্রসারণে সিস্টেম শীতল হয় আর রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনে সিস্টেম উষ্ণ হয়।**



চিত্র : ১.৪

১.৪ চিত্রে কোনো আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে T_1 এবং T_2 তাপমাত্রার জন্য দুটি সমোষ্ণ রেখা দেখানো হয়েছে। গ্যাসের আদি তাপমাত্রা T_1 এং আদি আয়তন V_1 ফলে T_1 সমোষ্ণ রেখার ওপর A বিন্দু দ্বারা এর অবস্থা (অর্থাৎ p_1, V_1, T_1) সূচিত হয়েছে। গ্যাসটি রুদ্ধতাপীয়ভাবে প্রসারিত হয়ে V_2 আয়তন প্রাপ্ত হলে এর উষ্ণতা হ্রাস পেয়ে T_2 হয় এবং T_2 সমোষ্ণ রেখার ওপর B বিন্দু দ্বারা এর অবস্থা (অর্থাৎ p_2, V_2, T_2) নির্দেশ করা হয়। A ও B বিন্দুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত নিরেট রেখাটি দ্বারা রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের জন্য গ্যাসটির চাপ ও আয়তনকে সম্পর্কিত করা হয়। এই রেখাকে **রুদ্ধতাপ রেখা** বলে। ১.৪ চিত্রে দেখা যায় যে, **সমোষ্ণ রেখার চেয়ে রুদ্ধতাপীয় রেখা বেশি খাড়া।**

গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ বা মোলার তাপীয় ক্ষমতা

মোলার আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা : কোনো পদার্থের এক মোলের উষ্ণতা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে ঐ পদার্থের মোলার আপেক্ষিক তাপ বা মোলার তাপীয় ক্ষমতা বলে।

কোনো পদার্থের m মোলের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে ঐ পদার্থের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

একক : মোলার আপেক্ষিক তাপের একক : $\text{J (mol)}^{-1}\,\text{K}^{-1}$।

তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য পদার্থের চাপ এবং আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। কঠিন ও তরল পদার্থের জন্য এই পরিবর্তন নগণ্য হওয়ায় তা উপেক্ষা করা যায়। গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন অনেক বেশি হওয়ার জন্য গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দেয়ার সময় চাপ ও আয়তনের শর্ত নির্দিষ্ট করে দেয়া প্রয়োজন। দুটি ক্ষেত্রের প্রতি আমরা বিশেষভাবে আগ্রহী : (i) যখন চাপ স্থির থাকে এবং (ii) যখন আয়তন স্থির থাকে।

স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p : চাপ স্থির রেখে এক মোল গ্যাসের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p বলে।

চাপ স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C_p = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v : আয়তন স্থির রেখে কোনো গ্যাসের এক মোলের তাপমাত্রা এক কেলভিন বাড়াতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v বলে।

আয়তন স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে স্থির আয়তনে ঐ গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C_v = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

একটি আদর্শ গ্যাসের জন্য C_p এবং C_v এর মধ্যে সম্পর্ক
Relation Between C_p & C_v for an Ideal Gas

ধরা যাক, ঘর্ষণহীন পিস্টন লাগানো একটি সিলিন্ডারের মধ্যে এক মোল গ্যাস আছে (চিত্র ১·১)। এই গ্যাসের চাপ p, আয়তন V, তাপমাত্রা T এবং অভ্যন্তরীণ শক্তি U। এখন এই গ্যাসে চাপ স্থির রেখে dQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করায় এর অভ্যন্তরীণ শক্তি, আয়তন এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেল যথাক্রমে dU, dV এবং dT। তাপ প্রয়োগে বাহ্যিক কাজের পরিমাণ dW হলে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$dQ = dU + dW$$

বা, $dQ = dU + pdV$ ... ... (1.16)

কিন্তু আমরা জানি, 1 মোল গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি dU হচ্ছে স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি dT এর গুণফলের সমান, অর্থাৎ

$dU = C_v\, dT$ ... (1.17)

dU এর মান (1.16) সমীকরণে বসালে $dQ = C_v dT + pdV$ ... (1.18)

আবার আমরা জানি, চাপ স্থির রেখে 1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1 K বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপই স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ অর্থাৎ

$$C_p = \frac{dQ}{dT}$$

বা, $dQ = C_p\, dT$ ... ... (1.19)

dQ এর মান (1.18) সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই, $C_p dT = C_v dT + pdV$ (1.20)

আবার, মোলার গ্যাস ধ্রুবক R হলে, 1 মোল গ্যাসের জন্য আমরা জানি,

$$pV = RT$$

একে T এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করে

$$\frac{d}{dT}(pV) = \frac{d}{dT}(RT)$$

বা, $p\frac{dV}{dT} = R$ [$\because$ p স্থির]

বা, $pdV = RdT$ ... (1.21)

pdV এর মান (1.20) সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই,

$$C_p\, dT = C_v\, dT + RdT$$

বা, $C_p = C_v + R$

$\therefore\ C_p - C_v = R$ (1.22)

যেহেতু সর্বজনীন বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক R সর্বদা একটি ধনাত্মক রাশি, সুতরাং $C_p > C_v$।

$\therefore$ C_p সর্বদাই C_v এর চেয়ে বড়।

তাপ গতিবিদ্যায় স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p এবং স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v এর অনুপাত একটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি। এই অনুপাতকে γ দ্বারা সূচিত করা হয় ; অর্থাৎ

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \qquad \ldots \qquad (1.23)$$

গ্যাসের গতিতত্ত্বের সাহায্যে এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে পাওয়া যায় $C_v = \frac{3}{2}R$

$$\therefore\ C_p = C_v + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

$\therefore$ এক পারমাণবিক গ্যাসের জন্য, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = \frac{5}{3} = 1.67$

দ্বিপারমাণবিক গ্যাসের জন্য, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1.40$

বহুপারমাণবিক গ্যাসের জন্য $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{4}{3} = 1.33$

গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত γ নানা কারণে অত্যধিক গুরুত্বপূর্ণ। নিচে এর কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ করা হলো।

১। γ এর মান থেকে গ্যাসের আণবিক বিন্যাস সম্পর্কে জানা যায়, অর্থাৎ গ্যাসটি এক-পারমাণবিক, দ্বি-পারমাণবিক না বহুপারমাণবিক তা জানা যায়। যেমন কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma = 1.4$ হলে বোঝা যাবে গ্যাসটি দ্বিপারমাণবিক।

২। গ্যাসে শব্দের বেগের মান γ এর ওপর নির্ভর করে। যেমন $v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$

৩। রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সময় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক γ এর ওপর নির্ভর করে। যেমন, pV^{γ} = ধ্রুবক।

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সময় আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে pV^{γ} = ধ্রুবক

In case of Adiabatic Change for an Ideal Gas pV^{γ} = Constant

ধরা যাক, ঘর্ষণহীন পিস্টন লাগানো একটি সিলিন্ডারের মধ্যে এক মোল গ্যাস আছে (চিত্র ১.১)। এই গ্যাসের চাপ p, আয়তন V, তাপমাত্রা T এবং অভ্যন্তরীণ শক্তি U। এখন এই গ্যাসে dQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করায় এর চাপ, আয়তন, তাপমাত্রা এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হলো যথাক্রমে dp, dV, dT এবং dU। তাপ প্রয়োগে বাহ্যিক কাজের পরিমাণ dW হলে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$dQ = dU + dW$$

বা, $dQ = dU + pdV$

কিন্তু আমরা জানি, 1 মোল গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি dU হচ্ছে স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি dT এর গুণফলের সমান, অর্থাৎ $dU = C_v\, dT$

$$\therefore\ dQ = C_v\, dT + pdV$$

এখন রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায়, $dQ = 0$

$$\therefore C_v \, dT + pdV = 0 \qquad (1.24)$$

আবার, 1 মোল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা জানি,

$$pV = RT$$

এই সমীকরণকে T এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করে আমরা পাই,

$$\frac{d}{dT}(pV) = \frac{d}{dT}(RT)$$

বা, $p\frac{dV}{dT} + V\frac{dp}{dT} = R$

বা, $pdV + Vdp = RdT$

$$\therefore dT = \frac{pdV + Vdp}{R}$$

dT এর এই মান (1.24) সমীকরণে বসিয়ে

$$C_v\left(\frac{p\,dV + V\,dp}{R}\right) + p\,dV = 0$$

বা, $C_v\,p\,dV + C_v\,V\,dp + R\,p\,dV = 0$

বা, $C_v\,p\,dV + C_v\,V\,dp + (C_p - C_v)\,p\,dV = 0 \quad [\because R = C_p - C_v]$

বা, $C_v\,p\,dV + C_v\,V\,dp + C_p\,p\,dV - C_v\,p\,dV = 0$

বা, $C_v\,V\,dp + C_p\,p\,dV = 0$

বা, $V\,dp + \frac{C_p}{C_v}\,p\,dV = 0$

বা, $V\,dp + \gamma\,p\,dV = 0 \quad \left[\because \gamma = \frac{C_p}{C_v}\right]$

উভয়পক্ষকে pV দ্বারা ভাগ করে,

বা, $\frac{dp}{p} + \gamma\frac{dV}{V} = 0$

একে যোগজীকরণ করে

$\ln p + \gamma \ln V =$ ধ্রুবক

বা, $\ln p + \ln V^{\gamma} =$ ধ্রুবক

বা, $\ln(pV^{\gamma}) =$ ধ্রুবক

$\therefore pV^{\gamma} =$ ধ্রুবক (1.25)

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সময় আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা ও আয়তনের সম্পর্ক $TV^{\gamma} =$ ধ্রুবক নির্ণয় কর।

আদর্শ গ্যাসের চাপ p, আয়তন V এবং তাপমাত্রা T হলে আমরা জানি,

$$pV = RT$$

$$\text{বা, } p = \frac{RT}{V}$$

আবার রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সময় আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $pV^{\gamma} =$ ধ্রুবক

উপরিউক্ত সমীকরণে p এর মান বসিয়ে পাই,

$$\frac{RT}{V} V^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$$

$$\text{বা, } RTV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$$

$$\text{বা, } TV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.26)$$

[∵ R হচ্ছে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক।]

এই সমীকরণ রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

রুদ্ধতাপীয় রেখা সমোষ্ণ রেখার চেয়ে অধিকতর খাড়া
Adiabat is more Steeper than Isotherm

একটি রেখা কত খাড়া সেটি বোঝা যায় রেখাটির ঢাল তথা অনুভূমিক অক্ষের সাথে উৎপন্ন কোণ দ্বারা। যে রেখা যত বেশি খাড়া তার ঢাল তত বেশি। pV লেখচিত্রের কোনো বিন্দুতে ঢাল পরিমাপ করা হয় ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক V অক্ষের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে তার ট্যানজেন্ট অর্থাৎ $\frac{dp}{dV}$ দ্বারা।

সমোষ্ণ রেখার ঢাল : সমোষ্ণ রেখার পরিবর্তনের সময় আমরা জানি, $pV =$ ধ্রুবক।

একে V এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করে আমরা পাই,

$$\frac{d}{dV}(pV) = 0$$

$$\text{বা, } p\frac{dV}{dV} + V\frac{dp}{dV} = 0$$

$$\text{বা, } p + V\frac{dp}{dV} = 0$$

$$\therefore \frac{dp}{dV} = -\frac{p}{V}$$

রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল : রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $pV^{\gamma} =$ ধ্রুবক।

একে V এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করে,

$$\frac{d}{dV}(pV^{\gamma}) = 0$$

$$\text{বা, } p\frac{d}{dV}(V^{\gamma}) + V^{\gamma}\frac{dp}{dV} = 0$$

$$\text{বা, } \gamma pV^{\gamma-1} + V^{\gamma}\frac{dp}{dV} = 0$$

বা, $\frac{dp}{dV} = -\frac{\gamma p V^{\gamma-1}}{V^{\gamma}}$

বা, $\frac{dp}{dV} = -\gamma\frac{p}{V}$

$\therefore \frac{dp}{dV} = \gamma\left(-\frac{p}{V}\right)$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে, রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল = $\gamma \times$ সমোষ্ণ রেখার ঢাল

যেহেতু γ এর মান সর্বদা 1 এর চেয়ে বড়, সুতরাং আমরা বলতে পারি যে, একই বিন্দুতে রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল সমোষ্ণ রেখার ঢাল অপেক্ষা γ গুণ বেশি। সুতরাং রুদ্ধতাপীয় রেখা সমোষ্ণ রেখার চেয়ে γ গুণ খাড়া।

গাণিতিক উদাহরণ ১.৪। পিস্টন সংযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 600 Pa-এ স্থির রেখে সিস্টেমে 125 J তাপশক্তি খুব ধীরে ধীরে সরবরাহ করা হলো। সিস্টেমটির আয়তন সমচাপ প্রক্রিয়ায় 2.50 m³ থেকে প্রসারিত হয়ে 3.75 m³ হলো।

(ক) সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাস প্রসারণের ফলে কৃতকাজ এবং (খ) সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

এখানে,
সমচাপ, $p = 600$ Pa
সরবরাহকৃত তাপশক্তি, $\Delta Q = 125$ J
আদি আয়তন, $V_1 = 2.50$ m^3
চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 3.75$ m^3
(ক) গ্যাস দ্বারা কৃতকাজ, $\Delta W = ?$
(খ) অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন, $\Delta U = ?$

আমরা জানি,

(ক) $\Delta W = p(V_2 - V_1)$
$= (600 \text{ Pa})(3.75 \text{ m}^3 - 2.50 \text{ m}^3)$
$\therefore \Delta W = 750$ J

আবার,

(খ) $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$
$= 125 \text{ J} - 750 \text{ J}$
$= -625$ J [ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা বোঝা যায় যে, সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়।]

উ: 750 J; – 625 J

গাণিতিক উদাহরণ ১.৫। পিস্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 400 Pa স্থির রেখে ধীরে ধীরে 800 J তাপশক্তি সরবরাহ করায় 1200 J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

এখানে,
চাপ, $p = 400$ Pa
তাপশক্তি, $\Delta Q = 800$ J
কৃতকাজ, $\Delta W = 1200$ J
আয়তনের পরিবর্তন, $\Delta V = ?$
অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন, $\Delta U = ?$

আমরা জানি,

$\Delta W = p\Delta V$

$\therefore \Delta V = \frac{\Delta W}{p}$

$= \frac{1200 \text{ J}}{400 \text{ Pa}} = 3 \text{ m}^3$

আবার

$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

$\therefore \Delta U = \Delta Q - \Delta W = 800 \text{ J} - 1200 \text{ J}$
$= -400$ J [ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা বোঝা যায় যে, সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়।]

উ: 3 m^3; – 400 J

গাণিতিক উদাহরণ ১.৬। কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের জন্য স্থির আয়তনে ও স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে, $\gamma = 1.33$ এবং $R = 8.31$ J mol^{-1} K^{-1} ।

আমরা জানি,

$$C_p - C_v = R$$

এবং $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$ $\therefore C_p = \gamma C_v$

$$\therefore \gamma C_v - C_v = R \quad \therefore C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$= \frac{8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}{1.33 - 1}$$

$$= 25.18 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\therefore C_p = C_v + R$$

$$= 25.18 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} + 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 33.49 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

উ: 25.18 J mol^{-1} K^{-1}; 33.49 J mol^{-1} K^{-1}

এখানে,
মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.31$ J mol^{-1} K^{-1}
$\gamma = 1.33$
স্থির চাপে মোলার আ: তাপ, $C_p = ?$
স্থির আয়তনে মোলার আ: তাপ, $C_v = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৭। প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপের কোনো গ্যাসকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় 2.5 গুণ আয়তনে প্রসারিত করা হলে চূড়ান্ত চাপ কত হবে নির্ণয় কর। ($\gamma = 1.4$)

আমরা জানি,

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$$

$$p_2 = \frac{V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}} \cdot p_1 = \left(\frac{V}{2.5\,V}\right)^{1.4} \times 1.013 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}$$

$$= 2.809 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$$

উ: 2.809×10^4 N m^{-2}

এখানে,
আদি চাপ, $p_1 = 1.013 \times 10^5$ Nm^{-2}
আদি আয়তন, $V_1 = V$
শেষ আয়তন, $V_2 = 2.5\,V$
শেষ চাপ, $p_2 = ?$
$\gamma = 1.4$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৮। 27°C তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস হঠাৎ প্রসারিত হয়ে দ্বিগুণ আয়তন লাভ করে। চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত? [$\gamma = 1.40$]

আমরা জানি, রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে,

$TV^{\gamma-1}$ = ধ্রুবক।

$$\therefore T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \therefore T_2 = T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$= 300 \text{ K} \times \left(\frac{V}{2V}\right)^{1.40-1}$$

$$= (300 \text{ K}) \left(\frac{1}{2}\right)^{0.4} = 227.36 \text{ K}$$

$$= (227.36 - 273)\ ^\circ\text{C} = -45.64\ ^\circ\text{C}$$

উ: – 4 5.64°C

এখানে,
আদি তাপমাত্রা, $T_1 = 27^\circ\text{C} = (27 + 273)$ K
$= 300$ K
আদি আয়তন, $V_1 = V$
চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 2V$
$\gamma = 1.40$
চূড়ান্ত তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

১.৭। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র (Second Law of Thermodynamics)

নানা রকম শক্তির মধ্যে তাপশক্তির একটা বিশেষত্ব এই যে, অন্য সব রকম শক্তি বেশ সহজেই এবং অনেক সময় স্বতঃস্ফূর্তভাবেই তাপে পরিণত হয়। যেমন পাহাড় থেকে পানি যখন প্রচণ্ড বেগে নিচে নামে তখন এর গতিশক্তি আপনা থেকেই তাপে রূপান্তরিত হয় কিন্তু তাপ সহজে অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে চায় না। **তাপশক্তিকে অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরের জন্য যন্ত্রের প্রয়োজন। এই যন্ত্রই তাপ ইঞ্জিন।** কার্নো তাপ ইঞ্জিনের ওপর ব্যাপক গবেষণা চালিয়ে

সিদ্ধান্তে আসেন—ইঞ্জিন ছাড়া তাপের রূপান্তর সম্ভব নয় এবং তাপকে সম্পূর্ণভাবে কাজে রূপান্তরিত করাও অসম্ভব। প্লাঙ্ক, ক্লসিয়াস, কেলভিন প্রমুখ বিজ্ঞানী নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে কার্নোর পরীক্ষালব্ধ অভিজ্ঞতাকে বিভিন্নভাবে সূত্রাকারে প্রকাশ করেছেন যা তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র নামে পরিচিত।

কার্নোর বিবৃতি : ***কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণরূপে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরে সক্ষম এমন যন্ত্র নির্মাণ সম্ভব নয়।***

প্ল্যাঙ্কের বিবৃতি : ***এমন কোনো ইঞ্জিন তৈরি করা সম্ভব নয়, যেটা কোনো বস্তু থেকে তাপ গ্রহণ করে অবিরামভাবে কাজে পরিণত করবে অথচ পরিবেশের কোনো পরিবর্তন হবে না।***

ক্লসিয়াসের বিবৃতি : ***বাইরের শক্তির সাহায্য ছাড়া কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন উষ্ণতার বস্তু হতে উচ্চতর উষ্ণতার বস্তুতে তাপের স্থানান্তর করা সম্ভব নয়।***

কেলভিনের বিবৃতি : ***কোনো বস্তুকে এর পরিপার্শ্বের শীতলতম অংশ হতে অধিকতর শীতল করে শক্তির অবিরাম সরবরাহ পাওয়া সম্ভব নয়।***

দ্বিতীয় সূত্রের গুণগত ধারণা : তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জেনেছি যে, বিভিন্ন রকমের শক্তির মধ্যে রূপান্তর সম্ভব এবং কোনো শক্তির বিলোপ ঘটলে সমপরিমাণে অপর শক্তির আবির্ভাব ঘটবেই— অর্থাৎ শক্তির বিনাশ নেই। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র প্রকৃতপক্ষে শক্তির নিত্যতা সূত্রেরই একটা বিশেষ রূপ। কিন্তু কোন্ বস্তু থেকে শক্তির রূপান্তর কোন্ দিকে হবে বা আদৌ শক্তির রূপান্তর হবে কিনা এই সূত্র থেকে তা আমরা জানতে পারি না। যেমন এক কিলোগ্রাম ভরের এক টুকরো বরফ বাইরে রেখে দিলে পরিবেশ থেকে 3.36×10^5 J তাপশক্তি বরফে এসে বরফকে পানিতে পরিণত করবে। এখানে বরফ যে পরিমাণ তাপশক্তি পাবে পরিবেশ ঠিক সেই পরিমাণ তাপশক্তি হারাবে। কিন্তু এক কিলোগ্রাম পানি যদি আমরা বাইরে রেখে দেই তাহলে ঐ পানি আপনাআপনি 3.36×10^5 J তাপশক্তি পরিবেশকে প্রদান করে বরফে পরিণত হবে না, যদিও তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র এমন পরিবর্তনকে বাধা দেয় না, কারণ শক্তির নিত্যতা সূত্র এক্ষেত্রে ব্যাহত হচ্ছে না।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জানি একটা বস্তু বা সিস্টেম যতটা তাপ হারাবে অপর সিস্টেম ঠিক সেই পরিমাণ তাপ গ্রহণ করবে। কিন্তু সেই তাপ কোন্ সিস্টেম পাবে বা হারাবে তা প্রথম সূত্র থেকে জানা যায় না। তাপের প্রবাহের দিক জানতে হলে সিস্টেম দুটির তাপমাত্রা জানা একান্ত প্রয়োজন। তাপ সর্বদা উচ্চতর তাপমাত্রার বস্তু থেকে নিম্নতর তাপমাত্রার বস্তুর দিকে স্বাভাবিকভাবেই প্রবাহিত হবে। এর বিপরীত কখনো স্বতঃস্ফূর্তভাবে হবে না। ঠাণ্ডা কোনো সিস্টেম থেকে তাপ আপনাআপনি বেরিয়ে গিয়ে অপর একটি উষ্ণ সিস্টেমে প্রবেশ করবে না। উষ্ণ সিস্টেমের চেয়ে শীতল সিস্টেমের তাপশক্তির পরিমাণ বেশি থাকলেও এমনটি হবে না। এটাই প্রকৃতির নিয়ম। কোনো নিম্নতর তাপমাত্রার সিস্টেম থেকে তাপ বের করে আনতে হলে তার জন্য আমাদের যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়।

দুটি সিস্টেমের মধ্যে তাপমাত্রার পার্থক্য থাকলেই কেবলমাত্র উষ্ণতর সিস্টেম থেকে শীতল সিস্টেমে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তাপশক্তি প্রবাহিত হবে। এই তাপশক্তির স্বতঃস্ফূর্ত প্রবাহ ততক্ষণই চলবে যতক্ষণ এদের মধ্যে তাপমাত্রার পার্থক্য বজায় থাকবে।

সিস্টেম দুটির তাপমাত্রা এক হয়ে গেলে তাপের আদান প্রদানও বন্ধ হয়ে যাবে। দুটি সিস্টেমের মধ্যে তাপের আদান প্রদান বন্ধ হয়ে গেলে আমরা বলি সিস্টেম দুটি তাপীয় সমতা বা সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়েছে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনগুলো সব একমুখী এবং সাম্যাবস্থায় না আসা পর্যন্ত তা অব্যাহত থাকে। প্রকৃতিতে শক্তির রূপান্তরের দিক নিয়ে যে অভিজ্ঞতা তা থেকেই তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের উদ্ভব। কোন শক্তি কোন দিকে বা কতখানি রূপান্তরিত হবে বা কী অবস্থায় সেটি হচ্ছে তাই দ্বিতীয় সূত্রের প্রতিপাদ্য বিষয়।

১·৮। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া (Reversible and Irreversible Process)

কোনো সিস্টেম যখন এক অবস্থা থেকে অন্য অবস্থায় পরিবর্তিত হয় তখন অবস্থার এই পরিবর্তন দু'ভাবে সংঘটিত হতে পারে। যথা: **১. প্রত্যাবর্তী বা উভোমুখী প্রক্রিয়া** (reversible process) ও **২. অপ্রত্যাবর্তী বা একমুখী প্রক্রিয়া** (irreversible process)।

প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া : যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় সেই প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

ধরা যাক, কোনো এক প্রক্রিয়ায় কোনো কার্যনির্বাহক বস্তু বিশেষ এক পরিবেশে এক অবস্থা থেকে পরিবর্তিত হয়ে অন্য অবস্থায় যাওয়ার সময় বস্তুটি দ্বারা কিছু তাপ শোষিত ও কিছু বাহ্যিক কাজ সম্পাদিত হলো। এখন এই প্রক্রিয়াকে সম্মুখবর্তী প্রক্রিয়া হিসেবে গণ্য করলে বস্তুটি যদি একই পরিবেশে বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ায় আদি অবস্থায় ফিরে যাওয়ার সময় একই পরিমাণ তাপ বর্জন করে এবং বস্তুটির ওপর একই পরিমাণ বাহ্যিক কাজ করা হয়, তাহলে সমগ্র প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া হিসেবে গণ্য করা যাবে।

উদাহরণ : ১. বরফ তাপ শোষণ করে পানিতে পরিণত হয়। আবার সেই পানি থেকে সমপরিমাণ তাপ অপসারণ করলে তা পুনরায় বরফে পরিণত হবে। এটি প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার একটি উদাহরণ।

২. স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে খুব ধীরে ধীরে কোনো স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য প্রসারণ বা সংকোচন প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার আর একটি উদাহরণ। যেহেতু সম্প্রসারণের সময় স্প্রিং-এর ওপর যে কাজ সম্পাদিত হয় সংকোচনের সময় স্প্রিংও সেই পরিমাণ কাজ সম্পাদন করে।

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া : যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না অর্থাৎ সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় না তাকে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

প্রকৃতিতে যে সমস্ত পরিবর্তন বা রূপান্তর আপনাআপনি ঘটে সেগুলোকে বলা হয় স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তন। স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনগুলোতে দেখা যায় যে, এগুলো সর্বদাই একটা নির্দিষ্ট দিকে পরিচালিত হয়। যেমন, তাপ উচ্চতর তাপমাত্রা থেকে নিম্নতর তাপমাত্রার দিকে সঞ্চালিত হয়। একটি জড়বস্তু সুযোগ পেলেই উঁচু থেকে নিচুতে পড়তে থাকে, অর্থাৎ বিভব শক্তি হ্রাস পায়। প্রকৃতিতে এসব ঘটনা কখনো স্বাভাবিকভাবে বিপরীত দিকে প্রত্যাবর্তন করে আদি অবস্থায় যায় না। নিম্ন তাপমাত্রা থেকে তাপ স্বেচ্ছায় উচ্চ তাপমাত্রায় যায় না। **প্রকৃতিতে সকল স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনই একমুখী এবং অপ্রত্যাবর্তী।**

উদাহরণ : দুটি বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণের জন্য যে তাপ সৃষ্টি হয় তা একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া। কারণ ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কাজ হয় তাই তাপে পরিণত হয় এবং ঐ তাপকে কোনোভাবেই কাজে রূপান্তরিত করা যায় না।

প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার পার্থক্য

১। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া অতি ধীর প্রক্রিয়া। পক্ষান্তরে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া একটি দ্রুত প্রক্রিয়া।

২। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কার্য নির্বাহী বস্তু প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসে। কিন্তু অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় কার্যনির্বাহী বস্তু প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসতে পারে না।

৩। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত ও একমুখী প্রক্রিয়া কিন্তু প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত নয়।

৪। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে। পক্ষান্তরে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে না।

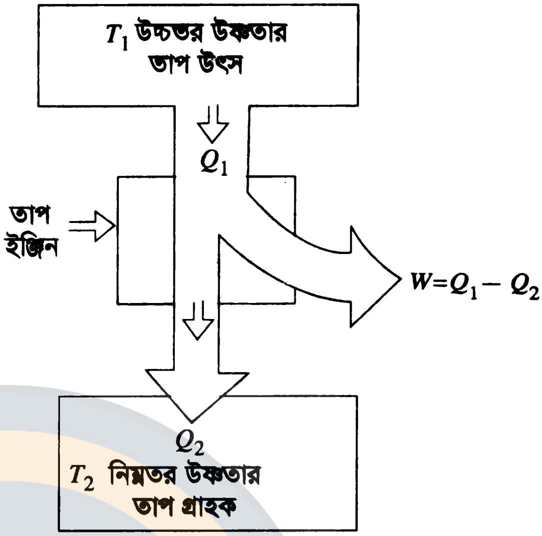
১.৯। তাপীয় ইঞ্জিন (Heat Engine)

তাপশক্তিকে কাজে পরিণত করার জন্য প্রয়োজন একটা যান্ত্রিক ব্যবস্থার। এই যান্ত্রিক ব্যবস্থাই তাপীয় বা তাপ ইঞ্জিন।

যে যন্ত্র তাপ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে তাকে তাপ ইঞ্জিন বলে।

মূলনীতি : ইঞ্জিন কোনো উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে তার খানিকটা কাজে রূপান্তরিত করবে। তাপের যেটুকু কাজে রূপান্তরিত করতে পারবে না সেটুকু পরিবেশে বিলিয়ে দেবে এবং পুনরায় উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করবে। যে উৎস থেকে ইঞ্জিন তাপ গ্রহণ করে তার তাপমাত্রা যে পরিবেশ বা সিস্টেম তাপ গ্রহণ করবে তার উষ্ণতার চেয়ে বেশি হতে হবে। অর্থাৎ ইঞ্জিনটি উচ্চতর তাপমাত্রার কোনো উৎস (source) থেকে তাপ গ্রহণ করে সেই তাপের খানিকটা কাজে

পরিণত করে বাকিটা নিম্নতর তাপমাত্রার তাপগ্রাহক (sink) বা শীতল বস্তুতে ছেড়ে দিয়ে আদি অবস্থায় ফিরে আসে। ইঞ্জিন থেকে অবিরাম কাজ পাওয়ার জন্য এভাবে চক্র পরিবর্তন করা প্রয়োজন। ধরা যাক, কোনো কার্যনির্বাহী বস্তু (যেমন, পিস্টন লাগানো সিলিন্ডারে রাখা গ্যাস) T_1 উচ্চতর তাপমাত্রার তাপ উৎস (চিত্র ১.৫) থেকে Q_1 পরিমাণ তাপ শোষণ করে। এখন এই ইঞ্জিন থেকে কাজ পেতে হলে অর্থাৎ এই ইঞ্জিন দ্বারা তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের জন্য উৎস থেকে শোষিত তাপের একটা অংশ নিম্নতর তাপমাত্রার তাপগ্রাহকে বর্জন করে শীতল হতে হবে যাতে পুনরায় উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করতে পারে। T_2 নিম্নতর তাপমাত্রার তাপগ্রাহকে বর্জিত তাপের পরিমাণ Q_2 হলে, ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপ শক্তির পরিমাণ $W = Q_1 - Q_2$



চিত্র : ১.৫

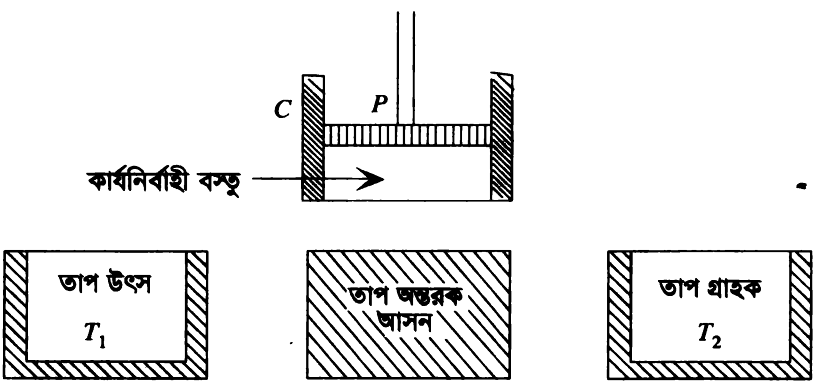
১.১০। কার্নো ইঞ্জিন (Carnot's Engine)

তাপ ইঞ্জিনের সাহায্যে তাপকে কাজে রূপান্তরিত করা হয়। বাস্তবে ব্যবহৃত ইঞ্জিন সমুদয় তাপকে কাজে রূপান্তরিত করতে পারে না। সাধারণভাবে দেখা যায় ইঞ্জিন খুব বেশি হলে সরবরাহকৃত তাপশক্তির শতকরা 25 ভাগ মাত্র কাজে রূপান্তরিত করতে পারে। ফরাসি প্রকৌশলী সাদী কার্নো সকল দোষত্রুটি মুক্ত একটি আদর্শ ইঞ্জিনের পরিকল্পনা করেন যা কার্নো ইঞ্জিন নামে পরিচিত।

তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করার জন্য সাদী কার্নো সকল দোষত্রুটি মুক্ত যে আদর্শ যন্ত্রের পরিকল্পনা করেন তাকে কার্নো ইঞ্জিন বলে।

কার্নো ইঞ্জিন একটি আদর্শ ইঞ্জিনের ধারণামাত্র, বাস্তবে এর রূপান্তর সম্ভব হয়নি। ১.৬ চিত্রে একটি কার্নো ইঞ্জিনের বিভিন্ন অংশ দেখানো হয়েছে।

১. সিলিন্ডার : একটি সিলিন্ডার C যার দেয়াল সম্পূর্ণ তাপ অন্তরক পদার্থ এবং তলদেশ সম্পূর্ণ তাপ পরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈরি। এর ভেতরে সম্পূর্ণ তাপ অন্তরক পদার্থে তৈরি একটি পিস্টন P ঘর্ষণহীনভাবে চলাচল করতে পারে। সিলিন্ডারের মধ্যে কার্যনির্বাহক বস্তু হিসেবে আদর্শ গ্যাস নেয়া হয়।



চিত্র : ১.৬

২. তাপ উৎস : উচ্চ তাপ ধারণক্ষমতা বিশিষ্ট একটি উত্তপ্ত বস্তু যা T_1 তাপমাত্রায় আছে এবং তাপের উৎস হিসেবে কাজ করে। এর তাপমাত্রা সর্বদা স্থির থাকে, তাপের আদান প্রদানে কখনো পরিবর্তন হয় না।

৩. তাপ গ্রাহক : উচ্চ তাপ ধারণক্ষমতা বিশিষ্ট T_2 তাপমাত্রার শীতল বস্তু যা তাপগ্রাহক হিসেবে কাজ করে। এর তাপমাত্রাও সর্বদা স্থির থাকে, তাপের আদান প্রদানে কোনো পরিবর্তন হয় না।

৪. তাপ অন্তরক আসন : সম্পূর্ণ তাপ অন্তরক পদার্থের তৈরি একটি আসন যার উপর সিলিন্ডারটি বসানো থাকে।

১.১১। কার্নোর চক্র (Carnot's Cycle)

যে বিশেষ প্রক্রিয়ায় কাজ করে একটি আদর্শ তাপ ইঞ্জিন তথা কার্নো ইঞ্জিন অবিরাম শক্তি সরবরাহ করে আদি অবস্থায় ফিরে আসতে পারে তাকে কার্নো চক্র বলে। কার্নো চক্রে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কার্যনির্বাহী বস্তু উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে একটি নির্দিষ্ট চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা হতে আরম্ভ করে একটি সমোষ্ণ প্রসারণ ও একটি রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ এবং একটি সমোষ্ণ সঙ্কোচন ও একটি রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনের মাধ্যমে তাপের কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ তাপ গ্রাহকে বর্জন করে আদি অবস্থায় ফিরে আসে।

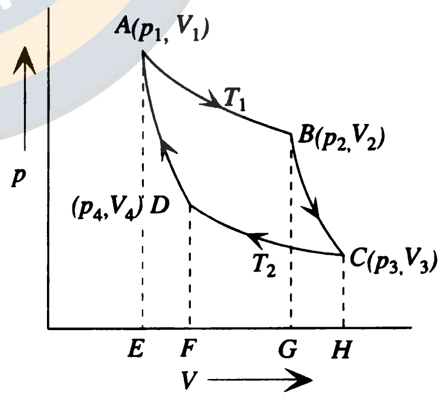
কার্নো চক্রে কার্যনির্বাহী বস্তু অর্থাৎ আদর্শ গ্যাসকে নিম্নবর্ণিত চারটি পর্যায়ের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করানো হয়।

প্রথম পর্যায় : প্রথমে সিলিন্ডার C-কে তাপ উৎসের ওপর বসানো হয়। খুব অল্প সময়ের মধ্যে সিলিন্ডারে আবদ্ধ গ্যাসের তাপমাত্রা উৎসের তাপমাত্রার সমান হয়। ধরা যাক, এই অবস্থায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_1 ও V_1 যা নির্দেশক চিত্রের A বিন্দু নির্দেশ করে (চিত্র ১·৭)। এখন আদর্শ গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হতে দিলে প্রক্রিয়া শেষে এর চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_2 ও V_2 হবে যা ১·৭ চিত্রে B বিন্দু দ্বারা নির্দেশ করা হয়েছে। ১·৭ চিত্রে AB রেখা দ্বারা গ্যাসের সমোষ্ণ প্রসারণ দেখানো হয়েছে এবং এই প্রসারণের জন্য কৃতকাজ,

$W_1 = ABGE$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।

দ্বিতীয় পর্যায় : এবার সিলিন্ডারটিকে তাপ অন্তরক আসনের ওপর বসানো হয় এবং আবদ্ধ গ্যাসকে রুদ্ধতাপীয়ভাবে প্রসারিত হতে দেয়া হয়। প্রক্রিয়া শেষে গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_3 ও V_3 হয় যা ১.৭ চিত্রের C বিন্দু নির্দেশ করছে। রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পায়। ১.৭ চিত্রে BC রেখা দ্বারা গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ দেখানো হয়েছে এবং এই প্রসারণের জন্য কৃতকাজ,

$W_2 = BCHG$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।



চিত্র : ১.৭

তৃতীয় পর্যায় : এখন সিলিন্ডারটিকে তাপগ্রাহকের ওপর বসিয়ে আবার গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি করলে পিস্টন দ্বারা গ্যাসের ওপর কাজ সম্পাদিত হবে। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু আবদ্ধ গ্যাস বৃদ্ধিপ্রাপ্ত অভ্যন্তরীণ শক্তি তাপরূপে তাপগ্রাহকে বর্জন করে তাপমাত্রা তাপ গ্রাহকের সমান অর্থাৎ T_2 হয়। এই অবস্থায় আবদ্ধ গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_4 ও V_4 হয় যা ১·৭ চিত্রের D বিন্দু নির্দেশ করে। ১·৭ চিত্রে CD রেখা সমোষ্ণ সঙ্কোচন নির্দেশ করে এবং এই সঙ্কোচনের ফলে কৃতকাজ,

$W_3 = CDFH$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।

চতুর্থ পর্যায় : শেষ পর্যায়ে সিলিন্ডারটিকে পুনরায় তাপ অন্তরক আসনের ওপর বসানো হয় এবং রুদ্ধতাপীয়ভাবে আবদ্ধ গ্যাসের ওপর চাপ বাড়ানো হয়। ফলে এর আয়তন হ্রাস পায়। আবদ্ধ গ্যাসের ওপর কাজ সম্পাদিত হওয়ায় এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে পুনরায় উৎসের তাপমাত্রা T_1 এর সমান হয়। এই অবস্থায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন পুনরায় যথাক্রমে p_1 ও V_1 হয় যা ১·৭ চিত্রের A বিন্দু নির্দেশ করে অর্থাৎ আবদ্ধ গ্যাস আদি অবস্থায় ফিরে আসে। ১·৭ চিত্রে DA রেখা দ্বারা আবদ্ধ গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচন দেখানো হয়েছে এবং এর ফলে কৃত কাজ,

$W_4 = DAEF$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।

পূর্ণচক্রে কৃত কাজ :

কার্নোচক্রে W_1 ও W_2 আবদ্ধ গ্যাস দ্বারা কৃতকাজ বলে ধনাত্মক হবে এবং W_3 ও W_4 আবদ্ধ গ্যাসের ওপর কৃত কাজ বলে ঋণাত্মক হবে। ফলে আবদ্ধ গ্যাস দ্বারা মোট কৃতকাজ,

$$W = W_1 + W_2 - W_3 - W_4$$

$= ABCD$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।

সুতরাং একটি কার্নো চক্রে কার্যনির্বাহী বস্তু কর্তৃক সম্পাদিত মোট কাজ নির্দেশক চিত্রে দুটি সমোষ্ণ রেখা ও দুটি রুদ্ধতাপীয় রেখা কর্তৃক আবদ্ধ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

১.১২। তাপীয় ইঞ্জিনের দক্ষতা (Efficiency of Heat Engine)

একটি ইঞ্জিন তাতে প্রদত্ত বা শোষিত তাপশক্তির কত অংশ কাজে রূপান্তরিত করতে পারে, ইঞ্জিনের দক্ষতা বা কর্মদক্ষতা বা তাপীয় দক্ষতা দ্বারা তাই বোঝায়।

কোনো তাপ ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপ শক্তির পরিমাণ এবং ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তির পরিমাণের অনুপাতকে ইঞ্জিনের দক্ষতা বলে।

সুতরাং ইঞ্জিনের দক্ষতা, $\eta = \dfrac{\text{ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তি}}{\text{ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তি}}$

কোনো ইঞ্জিন যদি T_1 তাপমাত্রায় তাপ উৎস থেকে Q_1 তাপ শোষণ করে T_2 তাপমাত্রায় Q_2 তাপ বর্জন করে, তাহলে ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তির পরিমাণ

$$W = Q_1 - Q_2$$

$$\therefore \eta = \frac{W}{Q_1} \qquad (1.27)$$

বা, $$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

বা, $$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (1.28)$$

তাপীয় ইঞ্জিনের বেলায় ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত বা বর্জিত তাপ Q, ইঞ্জিনের সংস্পর্শে থাকা তাপ উৎস বা তাপাধারের তাপমাত্রা T এর সমানুপাতিক অর্থাৎ, $\frac{Q}{T}$ = ধ্রুব সংখ্যা। কাজেই তাপীয় ইঞ্জিনের একটি পূর্ণচক্রের জন্য আমরা পাই,

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \qquad (1.29)$$

বা, $$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

সুতরাং (1.28) সমীকরণ থেকে কার্নো ইঞ্জিনের দক্ষতা পাওয়া যাবে,

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

বা, $$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (1.30)$$

দক্ষতাকে সাধারণত শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \qquad (1.31)$$

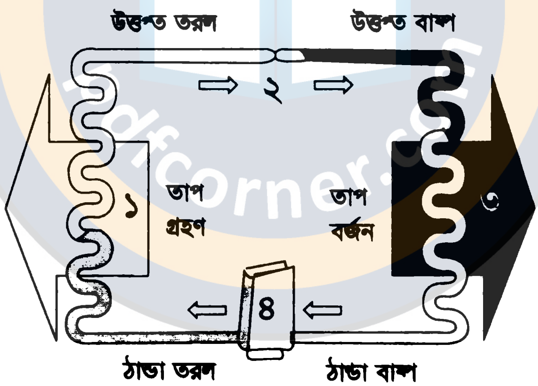
তাপীয় ইঞ্জিনের কর্ম দক্ষতার সমীকরণ (1.31) হতে দেখা যায় যে, ইঞ্জিনের কর্ম দক্ষতা কেবলমাত্র তাপ উৎস এবং তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর ওপর নির্ভর করে—কার্যনির্বাহী বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না। এই সমীকরণ থেকে আরো দেখা যায় যে, **যে কোনো দুটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিনের দক্ষতা সমান হবে।**

(1.31) সমীকরণে যেহেতু $T_1 > (T_1 - T_2)$, কাজেই ইঞ্জিনের দক্ষতা কখনোই 100% হতে পারে না। তাপ উৎস এবং তাপগ্রাহকের মধ্যবর্তী তাপমাত্রার পার্থক্য যত বেশি হবে ইঞ্জিনের দক্ষতাও তত বৃদ্ধি পাবে।

১.১৩। রেফ্রিজারেটর (Refrigerator)

রেফ্রিজারেটর ইদানিং আমাদের দৈনন্দিন জীবনের একটি অপরিহার্য উপাদান। বিশেষ করে শহুরে জীবনে রেফ্রিজারেটর ছাড়া এক দিনও চলে না। সংক্ষেপে একে বলা হয় ফ্রিজ। ফ্রিজে খাদ্যবস্তু বা অন্যান্য পচনশীল দ্রব্য যেমন মাছ, মাংস, কাঁচা ও রান্না করা তরিতরকারি এবং জীবন রক্ষাকারী ওষুধপত্র ইতাদি নিম্ন তামাত্রায় দীর্ঘ দিন সংরক্ষণ করা যায়। এ তাপমাত্রায় ব্যাকটেরিয়া খাদ্যবস্তু বা অন্যান্য সামগ্রী পচিয়ে ফেলতে পারে না। ফলে অনেক দিন টাটকা ও ভালো থাকে।

রেফ্রিজারেটরের মধ্য থেকে বিশেষ উপায়ে তাপ শক্তিকে বের করে দেয়ার ব্যবস্থা করা হয়। ফলে এর মধ্যে কক্ষ তাপমাত্রা থেকে অনেক নিম্ন (0°C থেকে কম) তাপমাত্রা সৃষ্টি হয়। আমরা জানি প্রকৃতির নিয়ম অনুসারে তাপ সবসময় উচ্চতর উষ্ণতার বস্তু থেকে শীতলতর বস্তুতে সঞ্চালিত হয়। উল্টোটি সাধারণত ঘটে না, অর্থাৎ শীতল বস্তু থেকে তাপ উষ্ণ বস্তুতে যায় না। উল্টোটি ঘটাতে হলে অর্থাৎ কোনো শীতল বস্তু থেকে তাপ উষ্ণ বস্তুতে সঞ্চালিত করতে হলে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়। এ ব্যবস্থাকে বলে তাপ পাম্প (Heat pump)।



চিত্র ১.৮ : তাপ পাম্পের মূলনীতি

(১) বাষ্পীভবন কুণ্ডলী (২) সম্প্রসারক ভালব (৩) ঘনীভবন কুণ্ডলী (৪) সংকোচন পাম্প বা কম্প্রেসার

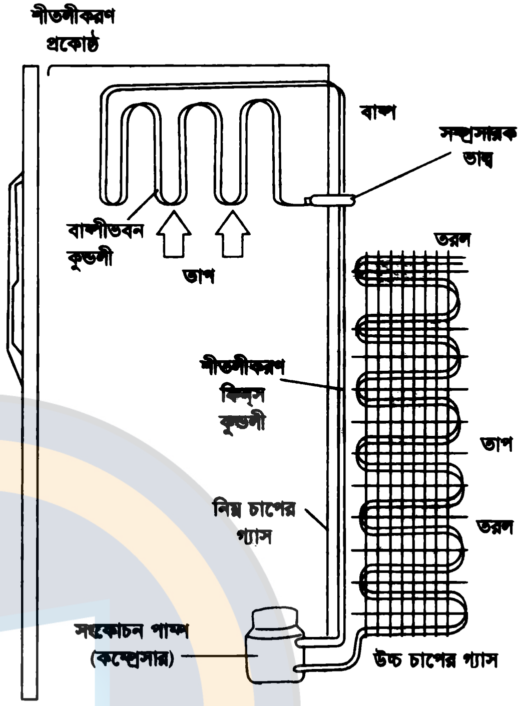
মূলনীতি : ১.৮ চিত্রে তাপ পাম্পের মূলনীতি দেখানো হলো। একটি বাষ্পীভবন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে ঠাণ্ডা তরল প্রবাহিত করা হয়। এই তরল পারিপার্শ্বিক থেকে তাপ গ্রহণ করে উত্তপ্ত হয়। অতঃপর তরলকে একটি সম্প্রসারক ভালবের মধ্য দিয়ে উচ্চ চাপে প্রবাহিত করে সম্প্রসারিত হতে দিলে তা বাষ্পে পরিণত হয়। এই বাষ্প ঘনীভবন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় পরিবেশে তাপ বর্জন করে ঠাণ্ডা হয়। এরপর এই ঠাণ্ডা বাষ্পকে কম্প্রেসারের মধ্যে প্রবল চাপে সংকুচিত করে তরলে রূপান্তরিত করে পুনরায় বাষ্পীভবন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়।

কম্প্রেসার চালনায় এবং বাষ্পীভবন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তরল পদার্থ প্রবাহিত করার জন্য যান্ত্রিক শক্তি কাজে লাগানো হয়। রেফ্রিজারেটরেও এভাবে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করে তাপ শক্তি বের করে দেয়ার ব্যবস্থা করা হয়। নিচে রেফ্রিজারেটরের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা করা হলো।

গঠন: রেফ্রিজারেটরের প্রধান অংশ একটি আয়তাকার শীতলীকরণ প্রকোষ্ঠ (চিত্র ১.৯)। যার চারদিকে তাপ সুপরিবাহী ধাতব নলের কুণ্ডলী পেঁচানো থাকে। কুণ্ডলীটির এক প্রান্ত রেফ্রিজারেটরের নিচে রক্ষিত একটি কম্প্রেসারের অন্তর্গামী প্রান্তের সাথে এবং অন্য প্রান্ত একটি সম্প্রসারক ভালবের মাধ্যমে দ্বিতীয় একটি নল কুণ্ডলীর সাথে যুক্ত থাকে।

দ্বিতীয় নল কুণ্ডলীটিকে **ঘনীভবন কুণ্ডলী বলে**। এটি রেফ্রিজারেটরের পেছনে একটি ফিনসের উপর বসানো থাকে এবং কুণ্ডলীর নলের শেষ প্রান্ত একটি সংকোচন পাম্প বা কম্প্রেসারের বহির্গামী প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত থাকে।

উভয় কুণ্ডলীর নলের মধ্য দিয়ে বিশেষ ধরনের শীতায়ক (refrigerent) পদার্থ চালনা করা হয়। শীতায়ক পদার্থটির বৈশিষ্ট্য হলো উচ্চ চাপে নলের মধ্য দিয়ে চালিত হলে পরিবেশ থেকে তাপ শোষণ করে এবং দ্রুত বাষ্পে পরিণত হতে পারে। কম্প্রেসারটি একটি বৈদ্যুতিক পাম্প দ্বারা চালানো হয়।



চিত্র ১.৯ : রেফ্রিজারেটরের গঠন ও কার্যপ্রণালী

কার্যপ্রণালি : কম্প্রেসারটি চালু করলে বাষ্পীভবন কুণ্ডলীর মধ্যে চাপ কমে যাওয়ায় শীতায়ক তরল দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। এজন্য সুপ্ত তাপ প্রয়োজন হয়। শীতলীকরণ প্রকোষ্ঠ বা রেফ্রিজারেটরের মধ্যে রক্ষিত বস্তু থেকে এই সুপ্ততাপ শোষণ করে তরল শীতায়ক বাষ্প বা গ্যাসে পরিণত হয়। ফলে প্রকোষ্ঠের ভেতরে নিম্ন তাপমাত্রা সৃষ্টি হয়।

গ্যাসীয় শীতায়ক পদার্থ কম্প্রেসার বা সংকোচন পাম্পের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। পাম্প উচ্চ চাপে শীতায়ক গ্যাসকে সংকুচিত করে ঘনীভবন কুণ্ডলীতে চালনা করে। বাইরে উন্মুক্ত এই কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে (ফ্রিজের পেছনে পাখার উপর এ ধরনের কুণ্ডলী দেখা যায়) উচ্চ চাপের সংকুচিত গ্যাস প্রবাহিত হয়। বাইরের বায়ুমণ্ডলে তাপ বর্জন করে এবং তরল হয়। এই তরল পুনরায় বাষ্পীভবন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। এভাবে যতোক্ষণ কম্প্রেসারটি চালু থাকে ঘনীভবন এবং বাষ্পায়ন চক্রটিও ক্রমাগত চলতে থাকে। ফলে ফ্রিজের মধ্যে নিম্ন তাপমাত্রা বজায় থাকে। শীতলীকরণ প্রকোষ্ঠ প্রয়োজনের বেশি ঠাণ্ডা হয়ে গেলে কম্প্রেসারটিতে বিদ্যুৎ সরবরাহ বন্ধ করে দিতে হয়। এজন্য রেফ্রিজারেটরের মধ্যে একটি স্বয়ংক্রিয় সুইচ থাকে। যাকে বলা হয় থার্মোস্ট্যাট। তাপমাত্রা কমে গেলে সুইচটি আপনাআপনি চালু হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ১.৯। একটি কার্নো ইঞ্জিন 230°C এবং 27°C তাপমাত্রায় কাজ করছে। এর কর্মদক্ষতা কত?

আমরা জানি,

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$= \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{503 \text{ K}}\right) = 0.40 = 40\%$$

উ: 40%

এখানে,

উচ্চ তাপমাত্রা, $T_1 = 230^\circ\text{C} = (230 + 273) \text{ K} = 503 \text{ K}$

নিম্ন তাপমাত্রা, $T_2 = 27^\circ\text{C} = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

দক্ষতা, $\eta = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ১.১০। একটি কার্নো ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা 40%; এর তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 7°C । এর উৎসের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

বা, $\frac{4}{10} = \frac{T_1 - 280\text{ K}}{T_1}$

বা, $4T_1 = 10T_1 - 2800\text{ K}$

বা, $6T_1 = 2800\text{ K}$

$\therefore\ T_1 = \frac{2800\text{ K}}{6} = 466.7\text{ K} = 193.7°\text{C}$

এখানে,

ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা, $\eta = 40\% = \frac{40}{100} = \frac{4}{10}$

তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা,

$T_2 = 7°\text{C} = (7 + 273)\text{ K} = 280\text{ K}$

উৎসের তাপমাত্রা, $T_1 = ?$

উ: 466.7 K = 193.7°C

গাণিতিক উদাহরণ ১.১১। 27°C এবং 160°C তাপমাত্রাদ্বয়ের মধ্যে কার্যরত একটি কার্নো ইঞ্জিনে 8.4×10^4 J তাপশক্তি সরবরাহ করা হলো। ইঞ্জিনটির কর্মদক্ষতা নির্ণয় কর। ইঞ্জিনটি কতটুকু তাপশক্তিকে কাজে রূপান্তরিত করতে পারবে?

আমরা জানি,

$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

$= \frac{433\text{ K} - 300\text{ K}}{433\text{ K}} = \frac{133}{433}$

$= 0.307 = 30.7\% \quad \therefore\ \eta = 30.7\%$

এখানে,

উচ্চ তাপমাত্রা, $T_1 = 160°\text{C} = (160 + 273)\text{ K} = 433\text{ K}$

নিম্ন তাপমাত্রা, $T_2 = 27°\text{C} = (27 + 273)\text{ K} = 300\text{ K}$

প্রদত্ত তাপ, $Q_1 = 8.4 \times 10^4$ J

ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা, $\eta = ?$

রূপান্তরিত কাজ, $W = ?$

আবার, $\eta = \frac{W}{Q_1}$ বা, $W = \eta\, Q_1 = 0.307 \times 8.4 \times 10^4\text{ J} = 25788\text{ J}$

উ: 30.7%; 25788 J

গাণিতিক উদাহরণ ১.১২। একটি কার্নো ইঞ্জিন যখন 37°C তাপমাত্রার তাপ গ্রাহকে থাকে তখন এর কর্মদক্ষতা 60% থেকে 80% করতে হলে উৎসের তাপমাত্রা কত বাড়াতে হবে?

প্রথম ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে উৎস তাপমাত্রা যথাক্রমে T_1 এবং T_1' হলে,

$\Delta T = T_1' - T_1$

কিন্তু, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

বা, $0.6 = \frac{T_1 - 310\text{ K}}{T_1}$

$\therefore\ T_1 = 775\text{ K}$

এখানে,

তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা, $T_2 = 37°\text{C} = (37 + 273)\text{ K}$
$= 310\text{ K}$

প্রথম ক্ষেত্রে দক্ষতা, $\eta = 60\% = \frac{60}{100} = 0.6$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দক্ষতা, $\eta' = 80\% = \frac{80}{100} = 0.8$

উৎস তাপমাত্রার পরিবর্তন, $\Delta T = ?$

আবার, $\eta' = \frac{T_1' - T_2}{T_1'} \qquad 0.8 = \frac{T_1' - 310\text{ K}}{T_1'}$

$\therefore\ T_1' = 1550\text{ K} \qquad \therefore\ \Delta T = T_1' - T_1 = 1550\text{ K} - 775\text{ K} = 775\text{ K}$

সুতরাং 775 K বাড়াতে হবে।

উ: 775 K বাড়াতে হবে।

১.১৪ । এনট্রপি (Entropy)

আমরা এখন একটি নতুন ধারণার অবতারণা করব যা এনট্রপি নামে পরিচিত এবং যা বিজ্ঞানের আলোচনায় মৌলিক গুরুত্ববহ একটি রাশি। কোনো সিস্টেমে শক্তি থাকলেই যে তাকে প্রয়োজনীয় কাজে লাগানো যাবে এমন কোনো নিশ্চয়তা নেই। এটা নির্ভর করে সিস্টেমের তাৎক্ষণিক অবস্থার ওপরে। নিচের উদাহরণ দ্বারা বিষয়টি আরো স্পষ্ট করা যাক। ধরা যাক, দুটি পানিপূর্ণ পাত্র নিয়ে একটা সিস্টেম। একটি পাত্রে 90°C উষ্ণতার 5 kg পানি এবং অন্য পাত্রে 10°C উষ্ণতার 5 kg পানি আছে। এখন 90°C উষ্ণতার পাত্রটিকে তাপ উৎস এবং 10°C উষ্ণতার পাত্রটিকে তাপগ্রাহক ধরে আমরা একটা ইঞ্জিন চালু করতে পারি। পাত্র দুটি একই তাপমাত্রায় না পৌঁছা পর্যন্ত এই সিস্টেম হতে বেশ কিছু পরিমাণ কাজ পেতে পারি। কিন্তু এখন যদি আমরা পাত্র দুটির পানি মিশিয়ে দেই তাহলে আমরা 50°C উষ্ণতার 10 kg পানি পাব, কিন্তু এই পানি থেকে ইঞ্জিন কোনো কাজ পেতে আর সক্ষম হবে না, কারণ পাত্র দুটির পানির উষ্ণতার পার্থক্য না থাকায় তাপের প্রবাহ বন্ধ হয়ে যাবে। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র অনুসারে পাত্র দুটির পানির মোট শক্তির পরিমাণ মেশানোর পূর্বে ও পরে একই থাকলেও মেশানোর পরে সিস্টেমটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছে যাওয়ায় এটি আর তাপ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করতে পারবে না। কোনো সিস্টেমের শক্তির রূপান্তরের অক্ষমতাকে এনট্রপি বলে।

আমরা জানি, কোনো গ্যাসকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সঙ্কুচিত করলে গ্যাসের ওপর কৃতকাজ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে। আবার রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় কোনো গ্যাসকে প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসকে কিছু কাজ করতে হয়। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপমাত্রা কমে যায়। সুতরাং দেখা যায় যে, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপমাত্রা উভয়েরই পরিবর্তন হয়। কিন্তু সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় যেমন তাপমাত্রা স্থির থাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তেমনি কোনো একটি রাশি স্থির থাকে। ক্লসিয়াস এই রাশিটির নাম দেন এনট্রপি। এনট্রপি একটি ভৌত রাশি, একে S দ্বারা সূচিত করা হয়।

কোনো সিস্টেমের শক্তি রূপান্তরের অক্ষমতা বা অসম্ভাব্যতাকে বা রূপান্তরের জন্য শক্তির অপ্রাপ্ততাকে এনট্রপি বলে।

কোনো বস্তুর এনট্রপির পরম মান আজও জানা সম্ভব হয়নি। তবে কোনো বস্তু যদি তাপ গ্রহণ অথবা বর্জন করে, তাহলে বস্তুর এনট্রপির পরিবর্তন হয়। **কোনো সিস্টেমের তাপমাত্রার সাপেক্ষে গৃহীত বা বর্জিত তাপ পরিবর্তনের হার দ্বারা এনট্রপির পরিবর্তন পরিমাপ করা হয়।**

যদি কোনো সিস্টেমের T তাপমাত্রায় dQ পরিমাণ তাপ গ্রহণ বা বর্জন করার ফলে এনট্রপির পরিবর্তন dS হয়, তাহলে,

$$dS = \frac{dQ}{T} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1.32)$$

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় যেহেতু কার্যনির্বাহী বস্তুর সাথে বাইরের তাপের কোনো আদান প্রদান হয় না, কাজেই $dQ = 0$,

সুতরাং সমীকরণ (1.32) থেকে দেখা যায় যে, এনট্রপির পরিবর্তন, $dS = \frac{dQ}{T} = 0$ (1.33)

অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় এনট্রপির কোনো পরিবর্তন হয় না।

সুতরাং কোনো বস্তুর এনট্রপি বলতে আমরা এমন একটা ভৌত রাশিকে বুঝি যা বস্তুর রুদ্ধতাপীয় প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সর্বদা স্থির থাকে।

(1.32) সমীকরণ থেকে আমরা পাই, এনট্রপি বা এনট্রপি পরিবর্তনের একক জুল/কেলভিন বা JK^{-1}।

প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন

(ক) প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন : কার্নোচক্র একটি প্রত্যাবর্তী চক্র।

১.১০ চিত্রে $ABCD$ একটি কার্নোচক্র। কার্নোচক্র থেকে দেখা যায় যে, AB একটি সমোষ্ণ সম্প্রসারণ রেখা এবং CD একটি সমোষ্ণ সঙ্কোচন রেখা। আবার BC একটি রুদ্ধতাপীয় সম্প্রসারণ রেখা ও DA একটি রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচন

রেখা। রুদ্ধতাপীয় রেখা বলে BC ও DA বরাবর তাপের কোনো পরিবর্তন হয় না।

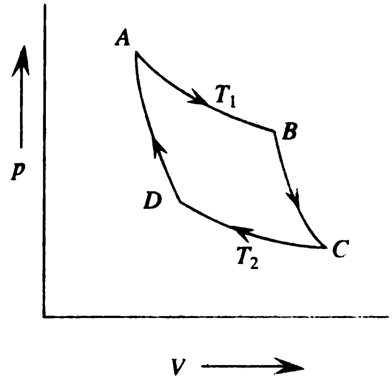
AB সমোষ্ণ রেখা বরাবর এনট্রপির পরিবর্তন $= \dfrac{Q_1}{T_1}$

CD সমোষ্ণ রেখা বরাবর এনট্রপির পরিবর্তন $= \dfrac{Q_2}{T_2}$

$\therefore$ কার্য নির্বাহী বস্তুর মোট এনট্রপির পরিবর্তন $= \dfrac{Q_1}{T_1} - \dfrac{Q_2}{T_2}$ ... (1.34)

কিন্তু কার্নো চক্রে, $\dfrac{Q_1}{T_1} = \dfrac{Q_2}{T_2}$

$\therefore$ মোট এনট্রপির পরিবর্তন $dS = \dfrac{Q_1}{T_1} - \dfrac{Q_2}{T_2} = 0$ ... (1.35)



চিত্র ঃ ১.১০

অর্থাৎ প্রত্যাবর্তী চক্রে এনট্রপি স্থির থাকে।

(খ) অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন

আবার অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি স্থির থাকে না। ধরা যাক, দুটি বস্তু পরিবেশ থেকে সম্পূর্ণ বিচ্ছিন্ন অবস্থায় পরস্পরের সংস্পর্শে আছে। বস্তু দুটির তাপমাত্রা যথাক্রমে T_1 ও T_2। যদি $T_1 > T_2$ হয় তাহলে উত্তপ্ত বস্তু থেকে শীতল বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হবে। ধরা যাক, খুব অল্প সময়ের মধ্যে dQ পরিমাণ তাপ উত্তপ্ত বস্তু হতে শীতল বস্তুতে সঞ্চালিত হলো। অর্থাৎ উত্তপ্ত বস্তু dQ পরিমাণ তাপ হারাল এবং শীতল বস্তু dQ পরিমাণ তাপ লাভ করল।

সুতরাং $-\dfrac{dQ}{T_1}$ = উত্তপ্ত বস্তুর এনট্রপি হ্রাস এবং $\dfrac{dQ}{T_2}$ = শীতল বস্তুর এনট্রপি বৃদ্ধি

অতএব সিস্টেমে মোট এনট্রপির পরিবর্তন,

$$dS = -\frac{dQ}{T_1} + \frac{dQ}{T_2} \qquad (1.36)$$

সমীকরণ (1.36) থেকে দেখা যায়, যেহেতু $T_1 > T_2$

$\therefore dS > 0$ অর্থাৎ এনট্রপির পরিবর্তন সর্বদা ধনাত্মক।

সুতরাং তাপ সঞ্চালনের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, তাপ প্রবাহের দিক এমন হবে যেন এনট্রপি বৃদ্ধি পায়।

প্রকৃতিতে সবকিছুই সাম্যাবস্থা পেতে চেষ্টা করে। একটি সিস্টেম যতই সাম্যাবস্থার দিকে এগিয়ে যায় ততই তার কাছ থেকে কাজ পাওয়ার সম্ভাবনা কমে যায়, সাম্যাবস্থায় পৌঁছলে সিস্টেম থেকে আর কোনো কাজই পাওয়া যাবে না। সিস্টেমের এই শক্তির রূপান্তরের অক্ষমতা বা অসম্ভাব্যতাই হচ্ছে এনট্রপি। এক বা একাধিক সিস্টেম যত সাম্যাবস্থার দিকে এগিয়ে যায় তাদের এনট্রপিও তত বাড়তে থাকে। সাম্যাবস্থায় এনট্রপি সবচেয়ে বেশি হয়। অর্থাৎ যখন কোনো সিস্টেম থেকে আর কাজ পাওয়া যায় না তখন তার এনট্রপি হয় সর্বাধিক। আমরা আগেই দেখেছি যে সকল স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তন সর্বদা সাম্যাবস্থার দিকে পরিচালিত হয়। সুতরাং সকল স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনেই এনট্রপি বৃদ্ধি পায়। যেহেতু প্রকৃতিতে সবকিছুই সাম্যাবস্থা পেতে চায়, তাই বলা যায় যে, জগতে এনট্রপি ক্রমাগত বাড়ছে। জগতের এনট্রপি যখন সর্বোচ্চে পৌঁছাবে তখন সব কিছুর তাপমাত্রা এক হয়ে যাবে। ফলে তাপশক্তিকে আর যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা যাবে না। **এই অবস্থাকে জগতের তথাকথিত তাপীয় মৃত্যু (heat death of the universe) নামে অভিহিত করা হয়েছে।**

এনট্রপি ও বিশৃঙ্খলা

এনট্রপি ও বিশৃঙ্খলা ওতপ্রোতভাবে সম্পর্কিত। কোনো সিস্টেমের এনট্রপি বাড়ার সাথে সাথে সেখান থেকে কাজ পাওয়ার সম্ভাবনা কমে যায় তেমনি সিস্টেমের বিশৃঙ্খলাও বৃদ্ধি পায়। উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি পরিষ্কার করা যেতে পারে। একটা গ্লাসে খানিকটা লবণ রেখে তাতে যদি পানি মেশানো হয় তবে লবণ পানিতে গুলে যেতে থাকবে এবং

লবণের অণু বা তার আয়নগুলো পানির মধ্যে চারদিকে এলোমেলো ছড়িয়ে পড়তে থাকবে। কঠিন অবস্থায় লবণের মধ্যে আয়নগুলো সুশৃঙ্খলভাবে একটা বিশেষ সজ্জায় বিন্যস্ত থাকে। যদিও লবণ ভারী তবুও গুলে গিয়ে সেটা নিচে পৃথক না থেকে যতোটা সম্ভব বিশৃঙ্খলভাবে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। লবণ যখন দ্রবণের সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে তখন আমরা বলে থাকি দ্রবণটি সাম্যাবস্থায় এসেছে। সাম্যাবস্থায় আসলে সিস্টেমের অণুগুলো চরম বিশৃঙ্খল অবস্থা প্রাপ্ত হয়। এনট্রপিকে তাই বলা হয় সিস্টেমের বিশৃঙ্খলতার মাপকাঠি।

কোনো সিস্টেমের উপর বাইরে থেকে শক্তি প্রয়োগ করে যদি শৃঙ্খলা আনার চেষ্টা করা হয় তাহলে সিস্টেমের এনট্রপি কমে যাবে। বস্তু যখন কেলাসিত অবস্থায় থাকে তখন অণুগুলো সুসংবদ্ধ সুশৃঙ্খল সমাবেশে থাকে, সেই কারণে কঠিন অবস্থায় বস্তুর এনট্রপি খুব কম। একে সৈন্যদের প্যারেড করা বা শিক্ষার্থীদের ক্লাসে বসে লেকচার শোনার সাথে তুলনা করা চলে। সুশৃঙ্খল প্যারেডের সময় বা ক্লাসে লেকচার শোনার সময় এনট্রপি হবে কম। প্যারেড শেষে সৈন্যরা যেমন ছড়িয়ে পড়ে বা ঘণ্টা পড়লে শিক্ষক ক্লাস থেকে চলে গেলে শিক্ষার্থীরা যেমন বিশৃঙ্খল হয়ে পড়ে তখন এনট্রপি বেড়ে যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ১.১৩। $0^\circ C$ তাপমাত্রার 3 kg বরফকে $0^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করলে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় কর। বরফগলনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ 3.36×10^5 Jkg^{-1} ।

আমরা জানি,

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{ml_f}{T} = \frac{10.08 \times 10^5 \text{ J}}{273 \text{ K}}$$

$= 3692.3$ JK^{-1}

উ: 3692.3 JK^{-1}

এখানে, বরফের ভর, $m = 3$ kg

বরফগলনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ, $l_f = 3.36 \times 10^5$ Jkg^{-1}

গৃহীত তাপ, $dQ = ml_f = 3 \text{ kg} \times 3.36 \times 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$

$= 10.08 \times 10^5$ J

তাপমাত্রা, $T = (0 + 273)$ K $= 273$ K

এনট্রপির পরিবর্তন, $dS = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ১.১৪। $0^\circ C$ তাপমাত্রার 5 kg বরফকে $100^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে? বরফ গলনের আ: সুপ্ততাপ = 336000 Jkg^{-1}, পানির আপেক্ষিক তাপ = 4200 Jkg^{-1}K^{-1}।

$0^\circ C$ তাপমাত্রার বরফকে $0^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন ΔS_1 হলে আমরা জানি,

$$\Delta S_1 = \frac{dQ}{T} = \frac{1.68 \times 10^6 \text{J}}{273 \text{ K}}$$

$= 6153.85$ JK^{-1}

প্রথম ক্ষেত্রে,

এখানে, বরফের ভর, $m = 5$ kg

বরফ গলনের আ: সুপ্ততাপ, $l_f = 336000$ Jkg^{-1}

গৃহীত তাপ, $dQ = ml_f = 5 \text{ kg} \times 336000 \text{ Jkg}^{-1} = 1.68 \times 10^6$ J

তাপমাত্রা, $T = (0 + 273)$K $= 273$ K

এনট্রপির পরিবর্তন, $\Delta S_1 = ?$

$0^\circ C$ তাপমাত্রার পানিকে $100^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন ΔS_2 হলে,

$$\Delta S_2 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$$

কিন্তু, এখানে গৃহীত তাপ $dQ = msdT$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

পানির ভর, $m = 5$kg

আপেক্ষিক তাপ, $s = 4200$ Jkg^{-1}K^{-1}

আদি তাপমাত্রা, $T_1 = 0^\circ C = (0 + 273)$ K $= 273$K

শেষ তাপমাত্রা, $T_2 = 100^\circ C = (100 + 273)$K $= 373$K

$$\therefore \Delta S_2 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{msdT}{T} = ms \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$= ms\left[lnT\right]_{T_1}^{T_2} = ms\left[ln\,T_2 - ln\,T_1\right]$$

$$= 5\text{ kg} \times 4200\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1} \times [ln\,373 - ln\,273]$$

$$= 6554.24\text{ JK}^{-1}$$

∴ মোট এনট্রপির পরিবর্তন, $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 6153.85\text{ JK}^{-1} + 6554.24\text{ JK}^{-1}$

$= 12708.09\text{ JK}^{-1}$

উ: 12708.09 JK^{-1}

সার-সংক্ষেপ

তাপমাত্রা : তাপমাত্রা হচ্ছে কোনো বস্তুর তাপীয় অবস্থা যা অন্য কোনো বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে আনলে ঐ বস্তু তাপ গ্রহণ করবে বা তাপ বর্জন করবে তা নির্ধারণ করে।

থার্মোমিটার : যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বস্তুর তাপমাত্রা সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় এবং বিভিন্ন বস্তুর তাপমাত্রার পার্থক্য নির্ণয় করা যায় তাকে থার্মোমিটার বলে।

নিম্ন স্থির বিন্দু : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ পানির সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে তাকে নিম্ন স্থির বিন্দু বলে।

ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পের সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে বা যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পে পরিণত হতে শুরু করে তাকে ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু বলে।

মৌলিক ব্যবধান : ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু ও নিম্ন স্থির বিন্দুর মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে মৌলিক ব্যবধান বলে।

পানির ত্রৈধবিন্দু : 4.58 mm পারদস্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয় বাষ্প একটি তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে পানির ত্রৈধবিন্দু বলে। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রা ধরা হয়েছে 273.16 K। এর ওপর ভিত্তি করে পরমশূন্য তাপমাত্রা হচ্ছে 0 K, বরফ বিন্দু 273.15 K এবং স্টিম বিন্দু 373.15 K।

কেলভিন : তাপমাত্রা বা তাপমাত্রা পরিবর্তন পরিমাপের এস. আই একক। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ কে এক কেলভিন বা 1K বলা হয়।

সেলসিয়াস স্কেল : যে স্কেলে বরফ বিন্দুকে 0° এবং স্টিম বিন্দুকে 100° ধরে মধ্যবর্তী মৌলিক ব্যবধানকে 100 ভাগে ভাগ করা হয় সেই স্কেলকে সেলসিয়াস স্কেল বলে। এর এক এক ভাগকে এক ডিগ্রি সেলসিয়াস (1°C) বলে।

অভ্যন্তরীণ শক্তি : প্রত্যেক বস্তুর মধ্যে একটা সহজাত শক্তি নিহিত থাকে, যা কাজ সম্পাদন করতে পারে যা অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। বস্তুর অভ্যন্তরস্থ অণু, পরমাণু ও মৌলিক কণাসমূহের রৈখিক গতি, স্পন্দন গতি ও আবর্তন গতি এবং তাদের মধ্যকার পারস্পরিক বলের কারণে উদ্ভূত এই শক্তিকেই অভ্যন্তরীণ বা অন্তস্থ শক্তি বলে।

সিস্টেম : পরীক্ষা নিরীক্ষার সময় আমরা জড় জগতের যে নির্দিষ্ট অংশ নিয়ে বিবেচনা করি তাকে সিস্টেম বলে।

উন্মুক্ত সিস্টেম : যে সিস্টেম পরিবেশের সাথে ভর ও শক্তি উভয়ই বিনিময় করতে পারে তাকে উন্মুক্ত সিস্টেম বলে।

বদ্ধ সিস্টেম : যে সিস্টেম পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে ভর বিনিময় করতে পারে না তাকে বদ্ধ সিস্টেম বলে।

বিচ্ছিন্ন সিস্টেম : যে সিস্টেম পরিবেশ দ্বারা মোটেই প্রভাবিত হয় না অর্থাৎ পরিবেশের সাথে ভর বা শক্তি কোনো কিছুই বিনিময় করে না তাকে বিচ্ছিন্ন সিস্টেম বলে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র : যখনই কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি সরবরাহ করা হয় তখন সেই তাপশক্তির কিছু অংশ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধিতে ব্যবহৃত হয় এবং বাকি অংশ দ্বারা সিস্টেম তার পরিবেশের ওপর বাহ্যিক কাজ সম্পাদন করে।

ΔQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করার ফলে যদি কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔU এবং সিস্টেম কর্তৃক পরিবেশের ওপর বাহ্যিক কৃতকাজের পরিমাণ ΔW হয়, তাহলে,

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

সমচাপ প্রক্রিয়া : যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না তাকে সমচাপ প্রক্রিয়া বলে।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়া : যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $dQ = dW$।

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া : যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেম থেকে তাপ বাইরে যায় না বা বাইরে থেকে তাপ সিস্টেমে আসে না তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় $dW = -dU$।

প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া : যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় সেই প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া : যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না অর্থাৎ সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় না তাকে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র :

কার্নোর বিবৃতি : কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণরূপে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরে সক্ষম এমন যন্ত্র নির্মাণ সম্ভব নয়।

প্ল্যাঙ্কের বিবৃতি : এমন কোনো ইঞ্জিন তৈরি করা সম্ভব নয়, যেটা কোনো বস্তু থেকে তাপ গ্রহণ করে অবিরামভাবে কাজে পরিণত করবে অথচ পরিবেশের কোনো পরিবর্তন হবে না।

ক্লসিয়াসের বিবৃতি : বাইরের শক্তির সাহায্য ছাড়া কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন উষ্ণতার বস্তু হতে উচ্চতর উষ্ণতার বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।

কেলভিনের বিবৃতি : কোনো বস্তুকে এর পরিপার্শ্বের শীতলতম অংশ হতে অধিকতর শীতল করে শক্তির অবিরাম সরবরাহ পাওয়া সম্ভব নয়।

তাপ ইঞ্জিন : যে যন্ত্র তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে তাকে তাপ ইঞ্জিন বলে।

তাপ ইঞ্জিনের দক্ষতা, η : কোনো তাপ ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তির পরিমাণ এবং ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তির পরিমাণের অনুপাতকে ইঞ্জিনের দক্ষতা বলে।

$$\text{ইঞ্জিনের দক্ষতা, } \eta = \frac{\text{ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তি}}{\text{ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তি}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\text{কার্নো ইঞ্জিনের দক্ষতা, } \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

কার্নোচক্র : যে বিশেষ প্রক্রিয়ায় কাজ করে একটি আদর্শ তাপ ইঞ্জিন তথা কার্নো ইঞ্জিন অবিরাম শক্তি সরবরাহ করে আদি অবস্থায় ফিরে আসতে পারে তাকে কার্নো চক্র বলে। কার্নো চক্রে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কার্যনির্বাহী বস্তু উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে একটি নির্দিষ্ট চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা হতে আরম্ভ করে একটি সমোষ্ণ প্রসারণ ও একটি রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ এবং একটি সমোষ্ণ সঙ্কোচন ও একটি রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনের মাধ্যমে তাপের কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ তাপ গ্রাহককে বর্জন করে আদি অবস্থায় ফিরে আসে।

এনট্রপি : কোনো সিস্টেমের শক্তির রূপান্তরের অক্ষমতা বা অসম্ভাব্যতাকে বা রূপান্তরের জন্য শক্তির অপ্রাপ্ততাকে এনট্রপি বলে। পৃথিবীর এনট্রপি ক্রমাগত বাড়ছে।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে তাকে বলা হয়—

(ক) ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু ○ (খ) নিম্ন স্থির বিন্দু ○

(গ) স্টিম বিন্দু ○ (ঘ) ত্রৈধ বিন্দু ○

২। যে স্কেলে বরফ বিন্দুকে 0° এবং স্টিম বিন্দুকে 100° ধরে মধ্যবর্তী মৌলিক ব্যবধানকে 100 ভাগে ভাগ করা হয় তাকে বলা হয়—

(ক) ফারেনহাইট স্কেল ○ (খ) কেলভিন স্কেল ○

(গ) সেলসিয়াস স্কেল ○ (ঘ) আন্তর্জাতিক স্কেল ○

৩। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রা ধরা হয়—

(ক) 273K ○ (খ) 273.16 K ○

(গ) 273.15K ○ (ঘ) 0°C ○

৪। ΔQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করার ফলে যদি কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔU এবং সিস্টেম কর্তৃক পরিবেশের ওপর বাহ্যিক কৃতকাজের পরিমাণ ΔW হয় তাহলে—

(ক) $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$ ○ (খ) $\Delta Q = \Delta U - \Delta W$ ○

(গ) $\Delta Q = \Delta W - \Delta U$ ○ (ঘ) $\Delta W = \Delta Q + \Delta U$ ○

৫। গৃহীত তাপ Q_1 এবং বর্জিত তাপ Q_2 হলে তাপীয় ইঞ্জিনের দক্ষতা—

(ক) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ○ (খ) $\eta = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$ ○

(গ) $\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$ ○ (ঘ) $\eta = 1 + \frac{Q_1}{Q_2}$ ○

৬। সেলসিয়াস স্কেলে মৌলিক ব্যবধানকে সমান কতভাগে বিভক্ত করা হয়?

(ক) 180 ভাগ ○ (খ) 100 ভাগ ○

(গ) 32 ভাগ ○ (ঘ) 273 ভাগ ○

৭। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে পরমশূন্য তাপমাত্রা কত?

(ক) 0°C ○ (খ) 0 K ○

(গ) 273°C ○ (ঘ) 273K ○

৮। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে বরফ বিন্দুর তাপমাত্রা কত?

(ক) 273.16 K ○ (খ) 273 K ○

(গ) 273.15 K ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

৯। এক কেলভিন পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার কত ভগ্নাংশ?

(ক) $\frac{1}{273}$ ○ (খ) $\frac{1}{273.15}$ ○

(গ) $\frac{1}{273.16}$ ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

১০। দুটি বস্তুর ঘর্ষণের ফলে তাপ উৎপন্ন হয়, এটি কোন ধরনের প্রক্রিয়া?

(ক) প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া ○ (খ) অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া ○

(গ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া ○ (ঘ) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া ○

১১। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় যে ভৌত রাশিটি স্থির থাকে তাকে কী বলে?

(ক) এনট্রপি ○ (খ) অন্তস্থশক্তি ○

(গ) চাপ ○ (ঘ) আয়তন ○

১২। তাপ ইঞ্জিন একটি যন্ত্র যা' রূপান্তর করে—

(ক) যান্ত্রিক শক্তিকে তাপ শক্তিতে ○ (খ) তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে ○

(গ) রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে ○ (ঘ) তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে ○

১৩। অপ্রত্যাবর্তী রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় যে ভৌত রাশি স্থির থাকে তাকে কী বলে?

(ক) এনট্রপি ○ (খ) তাপমাত্রা ○

(গ) চাপ ○ (ঘ) আয়তন ○

১৪। একটি তাপ ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা হচ্ছে—

(ক) $\eta = \frac{W}{Q_1}$ ○ (খ) $\eta = \frac{Q_1}{W}$ ○

(গ) $\eta = W \times Q_1$ ○ (ঘ) $\eta = W \times Q_2$ ○

১৫। একটি ইঞ্জিন 4500 J তাপ গ্রহণ করে এবং 2500 J তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিন কর্তৃক কৃত কাজের পরিমাণ কত?

(ক) 1000 J ○ (খ) 1800 J ○

(গ) 2400 J ○ (ঘ) 3600 J ○

১৬। 0°C তাপমাত্রার 1kg বরফকে 0°C তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করা হলো। এনট্রপির পরিবর্তন কত?

(ক) $1.2 \times 10^3\ JK^{-1}$ ○ (খ) $1.2 \times 10^4\ JK^{-1}$ ○

(গ) $0.0122 \times 10^3\ JK^{-1}$ ○ (ঘ) $0.123 \times 10^3\ JK^{-1}$ ○

১৭। দুটি সিস্টেমের মধ্যে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তাপ প্রবাহিত হবে যদি সিস্টেম দুটির মধ্যে—

(ক) চাপের পার্থক্য থাকে ○ (খ) আয়তনের পার্থক্য থাকে ○

(গ) তাপমাত্রার পার্থক্য থাকে ○ (ঘ) অন্তস্থশক্তি পার্থক্য না থাকে ○

১৮। বিবৃতিগুলো লক্ষ কর :

(i) যে সিস্টেম পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে ভর বিনিময় করতে পারে না তাকে বিচ্ছিন্ন সিস্টেম বলে।

(ii) কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণরূপে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরে সক্ষম এমন যন্ত্র নির্মাণ সম্ভব নয়।

(iii) কোনো সিস্টেমের শক্তি রূপান্তরের অক্ষমতাকে এনট্রপি বলে।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৯। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের সাধারণ রূপ হচ্ছে—

(i) $dQ = dU + dW$

(ii) $dQ = dU + pdV$

(iii) $dW = dQ - pdV$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

২০। 4.58 mm পারদস্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয়বাষ্প তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে পানির ত্রৈধবিন্দু বলে। ত্রৈধবিন্দু সংক্রান্ত নিম্নোক্ত ১নং ও ২নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

(১) পানির ত্রৈধবিন্দুর উপর ভিত্তি করে বরফ বিন্দুর তাপমাত্রা কত?

(ক) 273 K ○ (খ) 273.16 K ○

(গ) 273.15 K ○ (ঘ) 373 K ○

(২) পানির ত্রৈধবিন্দুর উপর ভিত্তি করে স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা কত?

(ক) 373 K ○ (খ) 373.15 K ○

(গ) 273.15 K ○ (ঘ) 273 K ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১.(খ) ২.(গ) ৩.(খ) ৪. (ক) ৫.(ক) ৬. (খ) ৭. (খ) ৮. (গ) ৯. (গ) ১০. (খ) ১১. (খ) ১২. (খ) ১৩. (ক) ১৪. (ক) ১৫. (খ) ১৬ (ক) ১৭. (গ) ১৮. (খ) ১৯. (ক) ২০ (গ) (খ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। বরফ তাপ শোষণ করে পানিতে পরিণত হয়। আবার সেই পানি থেকে সমপরিমাণ তাপ সরিয়ে নিলে তা পুনরায় বরফে পরিণত হয়। তাপগতিবিদ্যায় এই প্রক্রিয়াটি হলো প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার একটি উদাহরণ।

নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

ক. প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কী?

খ. প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার পার্থক্য নিরূপণ কর।

গ. একটি প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিন 167°C ও 57°C তাপমাত্রায় কার্যকর হলে এর দক্ষতা কত?

ঘ. প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার শর্ত আলোচনা করে ঘর্ষণ বল দ্বারা কৃতকাজ কোন ধরনের প্রক্রিয়া—বিশ্লেষণ কর। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার দুটি করে উদাহরণ দাও।

২। নানা রকম শক্তির মধ্যে তাপশক্তির একটা বিশেষত্ব এই যে, অন্য সব রকম শক্তিই সহজেই এবং অনেক সময় স্বতঃস্ফূর্তভাবেই তাপে পরিণত হয়, কিন্তু তাপ অতিসহজে অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে চায় না। তাপ শক্তিকে অন্য শক্তিতে রূপান্তরের জন্য যন্ত্রের প্রয়োজন। এই যন্ত্রের নাম তাপ ইঞ্জিন। এদের মধ্যে আদর্শ ইঞ্জিন হলো কার্নোর ইঞ্জিন।

নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

ক. কার্নোর ইঞ্জিন কাকে বলে?

খ. প্রমাণ কর যে, কার্নো ইঞ্জিনের দক্ষতা $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$

গ. একটি কার্নো ইঞ্জিনের উৎসের উষ্ণতা 400 K। এই উষ্ণতায় উৎস থেকে 840 J তাপ গ্রহণ করে এবং গ্রাহকে 630 J তাপ বর্জন করেছে। গ্রাহকের তাপমাত্রা কত? ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা কত?

ঘ. "কার্নো ইঞ্জিন একটি আদর্শ ইঞ্জিনের ধারণামাত্র—বাস্তবে এর রূপান্তর সম্ভব হয়নি"— যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। থার্মোমিটার কাকে বলে?
২। উষ্ণতামিতি পদার্থ কাকে বলে?
৩। পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম কাকে বলে?
৪। নিম্ন স্থির বিন্দু ও উর্ধ্ব স্থির বিন্দু বলতে কী বুঝ?
৫। মৌলিক ব্যবধান কাকে বলে?
৬। তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যাখ্যা কর।
৭। তাপমাত্রা পরিমাপের সেলসিয়াস স্কেল কাকে বলে?
৮। পানির ত্রৈধবিন্দু কাকে বলে?
৯। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রা কত ধরা হয়?
১০। কেলভিন কাকে বলে?
১১। তাপের যান্ত্রিক সমতা কাকে বলে?
১২। তাপগতীয় সিস্টেম কাকে বলে?
১৩। সংজ্ঞা দাও : বদ্ধ সিস্টেম, উন্মুক্ত সিস্টেম ও বিচ্ছিন্ন সিস্টেম।
১৪। তাপগতীয় সাম্যাবস্থা কাকে বলে?
১৫। তাপগতীয় প্রক্রিয়া কাকে বলে?
১৬। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি বিবৃত কর।
১৭। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।
১৮। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র কী? এটি কীরূপে অভ্যন্তরীণ শক্তির সাথে সম্পর্কিত?
১৯। ΔQ কখন ধনাত্মক ও কখন ঋণাত্মক ধরা হয়?
২০। ΔU ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হবে কখন?
২১। সমচাপ প্রক্রিয়ায় প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর।
২২। সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলতে কী বুঝ?
২৩। সমোষ্ণ প্রসারণ বলতে কী বুঝ?
২৪। দেখাও যে, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেম কর্তৃক কৃত কাজ সিস্টেমে সরবরাহকৃত তাপশক্তির সমান।
২৫। রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলতে কী বুঝ?
২৬। রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ বলতে কী বুঝ?
২৭। রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায় কেন?
২৮। রুদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় সিস্টেমের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় কেন?
২৯। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র বিবৃত কর।
৩০। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর।

৩১। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কাকে বলে?
৩২। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কাকে বলে?
৩৩। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার উদাহরণ দাও।
৩৪। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ কর।
৩৫। তাপ ইঞ্জিন কাকে বলে?
৩৬। একটি কার্নো ইঞ্জিনের গঠন ও কার্যপ্রণালি ব্যাখ্যা কর।
৩৭। কার্নোচক্র কাকে বলে?
৩৮। চিত্রসহকারে কার্নো চক্র ব্যাখ্যা কর।
৩৯। দেখাও যে, কার্নোর চক্রে কার্যনির্বাহী বস্তু কর্তৃক সম্পাদিত নিট কাজ দুটি সমোষ্ণ ও দুটি রুদ্ধতাপীয় রেখা কর্তৃক আবদ্ধ তলের ক্ষেত্রফলের সমান।
৪০। ইঞ্জিনের দক্ষতা কী?
৪১। একটি তাপ ইঞ্জিনের দক্ষতার রাশিমালা প্রতিপাদন কর।
৪২। তাপ ইঞ্জিন কী? প্রমাণ কর যে, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
৪৩। কার্নোর ইঞ্জিনের দক্ষতার রাশিমালা নির্ণয় কর।
৪৪। দেখাও যে, যে কোনো দুটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা সমান।
৪৫। একটি রেফ্রিজারেটরের গঠন ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
৪৬। এনট্রপির তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।
৪৭। এনট্রপির পরিবর্তন বলতে কী বোঝায়?
৪৮। স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনে এনট্রপি কী হয়?
৪৯। দেখাও যে, এনট্রপির পরিবর্তন সর্বদা ধনাত্মক।
৫০। দেখাও যে, রুদ্ধতাপীয় প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি স্থির থাকে।
৫১। দেখাও যে, অপ্রত্যাবর্তী কোনো ব্যবস্থার এনট্রপি সর্বদা বৃদ্ধি পায়।
৫২। দেখাও যে, প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি স্থির থাকে; কিন্তু অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি বৃদ্ধি পায়।
৫৩। তাপগতীয় সাম্যাবস্থায় এনট্রপি কেমন হবে?
৫৪। কখন জগতের সবকিছুর উষ্ণতা এক হয়ে যাবে?
৫৫। জগতের তাপীয় মৃত্যু কী?

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফ ও স্টিম বিন্দুতে যথাক্রমে 2.00 Ω এবং 2.73 Ω পাওয়া গেল। যে তাপমাত্রায় রোধ 4.83 Ω পাওয়া যায় তার মান নির্ণয় কর। [উ: 387.67°C]
২। একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুতে যথাক্রমে 46 Ω এবং 51.6 Ω। কোনো তরলের স্ফুটনাঙ্কে এর রোধ 48.5 Ω হলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক কত? [উ: 44.64°C]
৩। একটি রোধ থার্মোমিটারের রোধ 0°C তাপমাত্রায় 8 Ω এবং 100°C তাপমাত্রায় 20 Ω। থার্মোমিটারটিকে একটি চুল্লিতে স্থাপন করলে রোধ 32 Ω হয়। চুল্লির তাপমাত্রা নির্ণয় কর। [উ: 200°C]
৪। একটি রোধ থার্মোমিটারের রোধ 0°C ও 100°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 10 Ω ও 20 Ω। থার্মোমিটারটি একটি চুল্লিতে স্থাপন করায় রোধ 35 Ω হয়। চুল্লির তাপমাত্রা বের কর। [উ: 250°C]
৫। একটি রোধ থার্মোমিটারের রোধ 0°C ও 90°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 10 Ω এবং 25 Ω। থার্মোমিটারটি একটি চুল্লিতে স্থাপন করলে রোধ 38 Ω হয়। চুল্লির তাপমাত্রা নির্ণয় কর। [উ: 186.67°C]

৬। কোনো একটি রোধ থার্মোমিটারের রোধ 0°C এবং 100°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 12 Ω এবং 24 Ω। থার্মোমিটারটিকে একটি গরম তেলের বাথে স্থাপন করলে রোধ 36 Ω হয়। তেলের তাপমাত্রা নির্ণয় কর। [উ: 200°C]

৭। একটি প্লাটিনাম রোধ থার্মোমিটারে তারের রোধ বরফ বিন্দু, বাষ্প বিন্দু ও সালফারের স্ফুটনাঙ্কে যথাক্রমে 2.00 Ω, 2.78 Ω ও 5.28 Ω পাওয়া গেল। সালফারের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ: 420.5°C]

৮। একটি প্লাটিনাম রোধ থার্মোমিটারের রোধ 0°C এবং 100°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 2.585 Ω ও 3.51 Ω। থার্মোমিটারটিকে একটি চুল্লিতে স্থাপন করলে রোধ 9.098 Ω হয়। চুল্লিটির তাপমাত্রা কত? [উ: 704.11°C]

৯। একটি সিলিন্ডারের মধ্যে রাখা কিছু পরিমাণ গ্যাস পরিবেশ থেকে 800 J তাপশক্তি শোষণ করায় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি 500 J বৃদ্ধি পেল। গ্যাস কর্তৃক পরিবেশের ওপর কৃতকাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উ: 300 J]

১০। এক খণ্ড তামার তারের ভর 2 kg। একে 0°C থেকে 1000°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করার ফলে এটি 7.56×10^5 J তাপ শোষণ করল। আয়তনের পরিবর্তন উপেক্ষণীয় হলে তামার অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি বের কর। [উ: 7.56×10^5 J]

১১। পিস্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 500 Pa-এ স্থির রেখে সিস্টেমে 750 J তাপশক্তি খুব ধীরে ধীরে সরবরাহ করায় 1250 J কাজ সম্পাদিত হলে গ্যাসের আয়তন এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। [উ: 2.5 m^3 ; –500 J]

১২। একটি কার্নো ইঞ্জিন পানির হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে কার্যরত আছে। এর দক্ষতা কত? [উ: 26.81%]

১৩। একটি কার্নো ইঞ্জিন 327°C এবং 27°C উষ্ণতায় কাজ করছে। এর কর্মদক্ষতা কত? [উ: 50%]

১৪। একটি তাপ ইঞ্জিনের দক্ষতা 80%। গ্রাহকের তাপমাত্রা 127°C হলে উৎসের তাপমাত্রা কত? [উ: 1727°C]

১৫। একটি কার্নো ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা 40%। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা 27°C। এর উৎসের তাপমাত্রা নির্ণয় কর। [উ: 227°C]

১৬। একটি কার্নো ইঞ্জিনের দক্ষতা 60%। যদি তাপ উৎসের তাপমাত্রা 400 K হয় তবে তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা কত? [উ: 160 K]

১৭। একটি কার্নো ইঞ্জিনে যখন 27°C উষ্ণতায় তাপ গ্রাহকে থাকে তখন এর কর্মদক্ষতা 50%। একে 60% দক্ষ করতে হলে এর উৎস তাপমাত্রায় কী পরিবর্তন আনতে হবে? [উ: 150 K বাড়াতে হবে]

১৮। একটি কার্নো ইঞ্জিনের তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 7°C এবং এর দক্ষতা 50%। ইঞ্জিনের দক্ষতা 70% করতে হলে উৎসের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি করতে হবে? [উ: 373.33 K বৃদ্ধি করতে হবে।]

১৯। একটি কার্নো ইঞ্জিনের উৎসের উষ্ণতা 400 K, এই উষ্ণতায় উৎস থেকে এটি 840 J তাপ গ্রহণ এবং গ্রাহকে 630 J তাপ বর্জন করছে। গ্রাহকের তাপমাত্রা কত? ইঞ্জিনটির কর্মদক্ষতা কত? [উ: T_2 =300 K, η= 25%]

২০। একটি ইঞ্জিন 3400 J তাপ গ্রহণ করে এবং 2400 J তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটি দ্বারা সম্পাদিত কাজের পরিমাণ ও ইঞ্জিনের দক্ষতা নির্ণয় কর। [উ: 1000 J; 29.41%]

২১। 100°C তাপমাত্রার 5 kg পানিকে 100°C তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় কর। পানির বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ 2.26×10^6 J kg^{-1}। [উ: 30294.91 JK^{-1}]

২২। 0°C তাপমাত্রার 0.50 kg বরফকে 0°C তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় কর। বরফগলনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ 3.36×10^5 J kg^{-1}। [উ: 615.38 JK^{-1}]

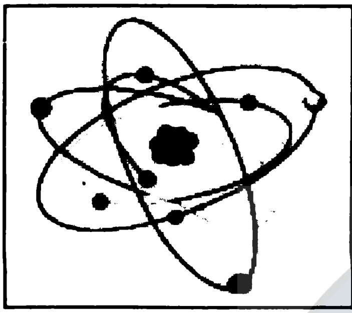
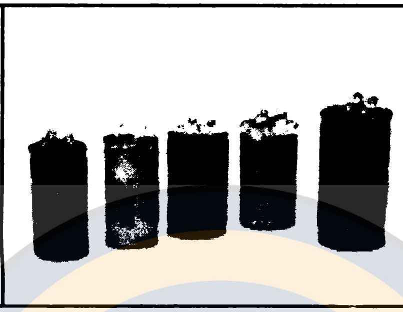
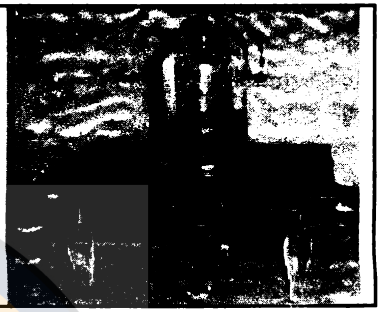
২৩। 100° তাপমাত্রার 0.5 kg পানি 100°C তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত হলো। এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় কর। [উ: 3029.49 JK^{-1}]

২৪। 0°C তাপমাত্রার 5 kg পানিকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তীর্ণ করতে এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় কর। পানির আপেক্ষিক তাপ 4200 $Jkg^{-1}K^{-1}$। [উ: 6554.2 JK^{-1}]

দ্বিতীয় অধ্যায়

স্থির তড়িৎ

STATICAL ELECTRICITY

দুটি বস্তু ঘর্ষণ করা হলে এগুলো একটি নতুন ধর্ম লাভ করে। এগুলো তড়িৎগ্রস্ত বা আহিত হয়। এ অধ্যায়ে আমরা কোনো বস্তুতে স্থির আধানের প্রকৃতি, প্রভাব ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো। এর সাথে দুটি আহিত বস্তুর মধ্যকার তড়িৎ বল সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্র এবং তড়িতচুম্বকত্বের একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র গাউসের সূত্র ও তাদের ব্যবহার আলোচিত হবে এ অধ্যায়ে। পাশাপাশি কোনো আধান বা তড়িৎ দ্বিমেরু কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য ও এর বিভিন্ন রাশি, ধারক এবং ধারকের সংযোগ নিয়েও আমরা আলোচনা করবো এই অধ্যায়ে।

প্রধান শব্দসমূহ :
আধান, কুলম্ব, কুলম্বের সূত্র, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ প্রাবল্য, তড়িৎ বিভব, তড়িৎ দ্বিমেরু, ধারক, ধারকত্ব, ফ্যারাড, ধারকের সংযোগ, তুল্য ধারকত্ব, ডাইইলেকট্রিক, তড়িৎ ফ্লাক্স, গাউসের সূত্র।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	কুলম্বের সূত্রকে ক্ষেত্র তত্ত্বের আলোকে ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.২
২	একটি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।	২.৩, ২.৪
৩	সমবিভব তল ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.৫
৪	তড়িৎ দ্বিমেরু ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.৬
৫	একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান নির্ণয় করতে পারবে।	২.৬
৬	একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় করতে পারবে।	২.৬
৭	চার্জের কোয়ান্টায়ন এবং সংরক্ষণশীলতার ধর্ম ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.১
৮	অপরিবাহী ও ডাইইলেক্ট্রিক ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.১১
৯	ধারক ও ধারকত্ব ব্যাখা করতে পারবে।	২.৭
১০	ধারকের শ্রেণি এবং সমান্তরাল সংযোগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.৮
১১	ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবে।	২.৮
১২	ধারকের শক্তি পরিমাপ করতে পারবে।	২.৯

১৩	দৈনন্দিন জীবনে ধারকের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.১০
১৪	কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন করতে পারবে।	২.১৩
১৫	গাউসের সূত্র ব্যবহার করে বিভিন্ন ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে পারবে।	২.১৬
১৬	কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	২.১৫

২.১। আধান (Charge)

খ্রিস্টের জন্মের ছয়শ বছর পূর্বে গ্রিক দার্শনিক থেলিস্ সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে, সোলেমানী পাথর বা অ্যাম্বারকে (পাইন গাছের শক্ত আঠা) রেশমি কাপড় দিয়ে ঘষলে এগুলো ছোট ছোট কাগজের টুকরোকে আকর্ষণ করতে পারে। অ্যাম্বার (amber)-এর গ্রিক নাম ইলেকট্রন (electron) থেকে ইলেকট্রিসিটি (electricity) বা **তড়িৎ** বা **বিদ্যুৎ** শব্দের উদ্ভব হয়েছে।

নিজে কর : টেবিলের উপর কতগুলো ছোট ছোট কাগজের টুকরা রাখো। এবার একটি প্লাস্টিকের চিরুনির সাহায্যে কয়েকবার চুল আঁচড়ে চিরুনিটিকে কাগজের টুকরাগুলোর নিকটে ধরো।

চিরুনিটি কাগজের টুকরোগুলোকে আকর্ষণ করে। চিরুনিটিকে যদি মাথার চুলের সাথে ঘষা না হয় তাহলে কিন্তু কাগজের টুকরোগুলো আকৃষ্ট হবে না। কতগুলো বস্তুকে অন্য কিছু বস্তু দ্বারা ঘষা হলে সেই বস্তু অন্য হালকা বস্তুকে আকর্ষণ করার ক্ষমতা লাভ করে।

ঘর্ষণের ফলে প্রত্যেক বস্তুই অন্য বস্তুকে আকর্ষণের কম-বেশি ক্ষমতা অর্জন করে। এ ঘটনাকে তড়িতাহিতকরণ বলে।

ঘর্ষণের ফলে যে সব বস্তু অন্য বস্তুকে আকর্ষণের ক্ষমতা অর্জন করে তাদেরকে তড়িতাহিত বস্তু বলে।

ঘর্ষণের ফলে এক বস্তু থেকে অপর বস্তুতে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয়। ইলেকট্রনের একটি মৌলিক ও বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্ম হচ্ছে **আধান** বা **চার্জ** (charge)। ঘর্ষণে তাই বস্তু আধানগ্রস্ত বা আহিত হয়।

স্থির বা গতিশীল আধানের প্রকৃতি ও প্রভাব বা ক্রিয়াকে তড়িৎ বলে।

তড়িৎ দু' রকমের হতে পারে। যথা— স্থির তড়িৎ ও চল তড়িৎ।

স্থির তড়িৎ : স্থির আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে স্থির তড়িৎ বলে।

চল তড়িৎ : গতিশীল আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে চল তড়িৎ বলে।

আমরা জানি, প্রত্যেক পদার্থ অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। এদেরকে পরমাণু বলে। প্রত্যেক পদার্থের পরমাণু আবার নিউক্লিয়াসের চারদিকে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত। নিউক্লিয়াসে দু রকমের কণা থাকে- **প্রোটন** ও **নিউট্রন**। **পদার্থ সৃষ্টিকারী এ সব মৌলিক কণাসমূহের** (ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রনের) **মৌলিক ও বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্মকেই আধান বা চার্জ বলে।** প্রোটন ধনাত্মক আধানযুক্ত ও নিউট্রনে কোনো আধান নেই। নিউক্লিয়াসের চারদিকে অবিরত ঘূর্ণায়মান কণা ইলেকট্রন ঋণাত্মক আধানসম্পন্ন। একটি প্রোটনের আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের সমান। স্বাভাবিক অবস্থায় পরমাণুতে সমান সংখ্যক ইলেকট্রন ও প্রোটন থাকে। ফলে একটি গোটা পরমাণুতে কোনো তড়িৎ ধর্ম প্রকাশ পায় না। বিভিন্ন পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা বিভিন্ন। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন আছে, কোনো নিউট্রন নেই। হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন থাকে এবং বাইরে থাকে দুটি ইলেকট্রন। নিউক্লিয়াস খুব ভারী বলে পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন হতে পারে না। পক্ষান্তরে ইলেকট্রনগুলো অপেক্ষাকৃত হাল্কা বলে এরা সহজে চলাফেরা করতে পারে এবং পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যেতে পারে।

কোনো পরমাণুতে যতক্ষণ পর্যন্ত ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা সমান থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত তা নিস্তড়িত বা তড়িৎ নিরপেক্ষ। কিন্তু পরমাণুতে এদের সংখ্যা সমান না হলে পরমাণু তড়িৎগ্রস্ত হয় অর্থাৎ বস্তুটি তড়িতাহিত হয়। বাহ্যিক বল প্রয়োগ, তাপ প্রয়োগ, রাসায়নিক প্রক্রিয়া ইত্যাদি পদ্ধতি দ্বারা কোনো পরমাণু থেকে মুক্ত ইলেকট্রনকে বের করে আনা যায়। প্রোটন খুব ভারী হওয়ায় এবং নিউক্লীয় বলের প্রভাবে নিউক্লিয়াসে আবদ্ধ থাকায় একে সহজে বিচ্ছিন্ন করা যায় না। কোনো পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যা কমে গেলে প্রোটনের আধিক্য দেখা যায়। এ অবস্থাকে বলা হয় **ধনাত্মক**

তড়িতাহিত হওয়া। আবার এ বিচ্ছিন্ন ইলেকট্রন অপর কোনো পরমাণুর সাথে যুক্ত হলে সেই পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যা বেড়ে যায়, ফলে **ঋণাত্মক তড়িতাহিত** হয়। পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যা স্বাভাবিকের চেয়ে কম বা বেশি হলে তাকে **তড়িতাহিত** হওয়া বলে।

স্বাভাবিক অবস্থায় পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটন সমান সংখ্যক থাকে। তবে প্রত্যেক পরমাণুরই প্রয়োজনের অতিরিক্ত ইলেকট্রনের প্রতি আসক্তি থাকে। ইলেকট্রনের প্রতি এ আসক্তি বিভিন্ন বস্তুতে বিভিন্ন রকম। তাই দুটি বস্তুকে যখন পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হয় তখন যে বস্তুর ইলেকট্রন আসক্তি বেশি সে বস্তু অপর বস্তুটি থেকে মুক্ত ইলেকট্রন সংগ্রহ করে ঋণাত্মক আধানে আহিত হয়। একটি কাচদণ্ডকে রেশমে ঘষলে এরকম ঘটনা ঘটে। রেশমের ইলেকট্রন আসক্তি কাচের চেয়ে বেশি বলে এদের যখন পরস্পরের সাথে ঘষা হয়, তখন কাচ থেকে ইলেকট্রন রেশমে চলে যায়, ফলে রেশম ঋণাত্মক আধানে এবং কাচদণ্ড ধনাত্মক আধানে আহিত হয়।

আবার ফ্লানেলের সাথে ইবোনাইট দণ্ড ঘষলে, ইবোনাইট দণ্ড ঋণাত্মক আধানে এবং ফ্লানেল ধনাত্মক আধানে আহিত হয়। কারণ, ইবোনাইটের ইলেকট্রন আসক্তি ফ্লানেলের চেয়ে বেশি বলে, পরস্পরের সাথে ঘর্ষণের ফলে ফ্লানেল থেকে ইলেকট্রন ইবোনাইট দণ্ডে চলে আসে।

কাচ বা ইবোনাইট দণ্ডে যে ভিন্ন প্রকৃতির তড়িতের উদ্ভব হচ্ছে তা কাচ বা ইবোনাইটের কোনো বিশেষ ধর্মের জন্য নয়। কাচকে যে কোনো বস্তু দিয়ে ঘষলেই যে ধনাত্মক আধানের সঞ্চার হবে তাও ঠিক নয়, আবার ইবোনাইটকে যে কোনো বস্তু দিয়ে ঘষলেই ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হয় না। যেমন কাচকে রেশম দিয়ে ঘষলে কাচে ধনাত্মক আধানের আর পশম দিয়ে ঘষলে কাচে ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব ঘটে। ঘর্ষণের ফলে কোন্ ধরনের আধানের সঞ্চার হবে তা নির্ভর করে যে বস্তুদ্বয়ের মধ্যে ঘর্ষণ হচ্ছে তাদের প্রকৃতির ওপর। দুটি বস্তু পরস্পরের সাথে ঘষলে একটিতে ধনাত্মক এবং অপরটিতে ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হয়। নিচে একটি তালিকা (সারণি-২.১) দেয়া হলো। এ তালিকার যে কোনো দুটি বস্তু পরস্পরের সাথে ঘষলে একটিতে ধনাত্মক আধান ও অপরটিতে ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হয়। তালিকায় যে বস্তুর অবস্থান ওপরে সেটি ধনাত্মক তড়িতাহিত ও যে বস্তুর অবস্থান নিচে সেটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত হয়।

সারণি : ২.১

১. ফার (fur)	১০. মানুষের দেহ (human body)
২. পশম, ফ্লানেল (wool, flannel)	১১. অ্যাম্বার (amber)
৩. গালা (shellac or sealing wax)	১২. ইন্ডিয়া রবার (India rubber)
৪. কাচ (glass)	১৩. রজন (resin)
৫. অভ্র (mica)	১৪. ধাতু (Ag, Cu, Ni ইত্যাদি)
৬. বিড়ালের চামড়া (cat skin)	১৫. গন্ধক (sulphur)
৭. রেশম (silk)	১৬. ইবোনাইট (ebonite)
৮. তুলা (cotton)	১৭. ধাতু (Pt, Au)
৯. কাঠ (wood)	১৮. সেলুলয়েড (celluloid)

আধানের কোয়ান্টায়ন

অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে জানা গেছে যে, প্রকৃতিতে কোনো বস্তুর সর্বমোট আধান একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম মানের পূর্ণ সংখ্যক গুণিতক। ইলেকট্রনের আধান হচ্ছে এ নির্দিষ্ট ন্যূনতম মান। ইলেকট্রনের আধান e হলে কোনো বস্তুর মোট আধান, $\boxed{q = ne}$, এখানে n হচ্ছে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক পূর্ণসংখ্যা। সুতরাং দেখা যায় যে, কোনো বস্তুতে যে কোনো মানের আধান থাকতে পারে না। কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধান $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C এর পূর্ণসংখ্যক গুণিতক হবেই। কোনো বস্তুতে আধানের মান নিরবচ্ছিন্ন হতে পারে না, আধান বিচ্ছিন্ন মানের অর্থাৎ ইলেকট্রনের আধানের গুণিতক হবেই, একে আধানের **কোয়ান্টায়ন** বলে।

সুতরাং দেখা যায় যে, এমন কোনো কণা বা বস্তু পাওয়া সম্ভব, যার আধান 15e বা –7e, কিন্তু 4.65e আধানের কোনো বস্তু পাওয়া সম্ভব নয়।

আধানের নিত্যতা বা সংরক্ষণশীলতা

জগতে মোট আধানের পরিমাণ সর্বদা একই থাকে। অর্থাৎ আধান সৃষ্টি করা যায় না বা ধ্বংসও হয় না। কোনো ভৌত প্রক্রিয়ায় আধান এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে স্থানান্তরিত হতে পারে কিন্তু কোনো নতুন আধান যেমন সৃষ্টি হয় না তেমনি কোনো আধান ধ্বংসও হয় না। কাচদণ্ড ও রেশমি কাপড়ের ঘর্ষণ পরীক্ষায় দেখা গেছে যে, কাচদণ্ড থেকে যে পরিমাণ ঋণাত্মক আধান রেশমি কাপড়ে চলে যায় কাচদণ্ডের ঋণাত্মক আধান সেই পরিমাণ হ্রাস পায় অর্থাৎ কাচদণ্ডে সেই পরিমাণ ধনাত্মক আধানের উদ্ভব হয়। কাচদণ্ড থেকে রেশমি কাপড়ে যে পরিমাণ ঋণাত্মক আধান স্থানান্তরিত হয় রেশমি কাপড়েও ঠিক সেই পরিমাণ ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব হয়। অর্থাৎ ঘর্ষণের ফলে কোনো নতুন আধানের সৃষ্টি হয় না বরং এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে আধানের স্থানান্তর ঘটে।

বিন্দু আধান : আধান আহিত বস্তুর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। একটি আহিত বস্তু যখন খুব ছোট হয় অর্থাৎ বস্তুটি যদি খুব ছোট বিন্দুর ন্যায় হয় সেই বস্তুর আধানকে বিন্দু আধান বলে। তড়িৎগ্রস্ত বস্তুগুলোর মধ্যকার দূরত্বের তুলনায় তাদের আকার যদি খুব ছোট হয় তখন তাদেরকে বিন্দু আধান বিবেচনা করা যায়। কোনো বস্তুর আধানকে বিন্দু আধান বিবেচনা করলে আধান সংক্রান্ত হিসাব নিকাশ সহজে করা যায়।

২.২। তড়িৎ ক্ষেত্র ও কুলম্বের সূত্র (Electric Field and Columb's Law)

তড়িৎ ক্ষেত্র

একটি আহিত বস্তুর চারপাশে তার একটি তড়িৎ প্রভাব পড়ে। অন্য আহিত বস্তু আনলে আধানদ্বয় পারস্পরিক বল লাভ করে। আহিত বস্তুর আশেপাশে যে অঞ্চল জুড়ে এই প্রভাব বিদ্যমান থাকে সেই অঞ্চলই এই আহিত বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্র।

একটি আহিত বস্তুর চারদিকে যে অঞ্চলব্যাপী তার প্রভাব বজায় থাকে অর্থাৎ অন্য কোনো আহিত বস্তু আনা হলে সেটি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল লাভ করে সেই অঞ্চলকে ঐ আহিত বস্তুর তড়িৎ বলক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্র বলে।

তাত্ত্বিকভাবে একটি আহিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত।

তড়িৎ বল

একটি আহিত স্থির বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে অন্য একটি আহিত বস্তু আনলে সেটি একটি বল লাভ করে। এই বলকে বলা হয় তড়িৎ বল। ধরা যাক, ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি একটি ধনাত্মক আধান। এখন যদি তার তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে আরেকটি ধনাত্মক আধান আনা হয়, তাহলে সেটি একটি বিকর্ষণ বল লাভ করবে, আর আনীত আধানটি যদি ঋণাত্মক হয় তাহলে সেটি আকর্ষণ বল লাভ করবে। বিপরীতক্রমে ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি যদি ঋণাত্মক হয়, তাহলে তার তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে একটি ধনাত্মক আধান আকর্ষণ বল এবং একটি ঋণাত্মক আধান বিকর্ষণ বল লাভ করে। দুই ধরনের আধানের এই বল সম্পর্কে নিম্নোক্ত নিয়মটি খাটে, ***"সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে।"***

দুটি আধানের মধ্যবর্তী এ আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান নির্ভর করে,

১. আধান দুটির পরিমাণের উপর।

২. আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর।

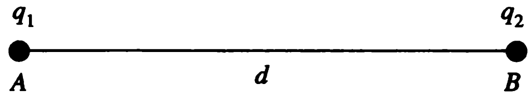
৩. আধান দুটি যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপর।

কুলম্বের সূত্র

দুটি বিন্দু আধানের মধ্যবর্তী আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল সম্পর্কে বিজ্ঞানী কুলম্ব একটি সূত্র বিবৃত করেন। একে কুলম্বের সূত্র বলে।

সূত্র : ***নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক, এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক এবং এই বল আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।***

ধরা যাক, A ও B বিন্দুতে অবস্থিত দুটি আধানের পরিমাণ যথাক্রমে q_1 ও q_2 এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব d [চিত্র ২.১]।



চিত্র : ২.১

এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলকে স্থির তড়িৎ বল বা কুলম্ব বল বলে এবং এ বলের মান F হলে, কুলম্বের সূত্রানুসারে,

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$\text{বা, } F = C\frac{q_1 q_2}{d^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.1)$$

এখানে C একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান রাশিগুলোর একক এবং বিন্দু আধানদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। এ ধ্রুবককে অনেক সময় কুলম্ব ধ্রুবক বলা হয়।

আধানের একক : কুলম্ব

এককের আন্তর্জাতিক পদ্ধতি অর্থাৎ System International *(SI)* অনুযায়ী তড়িৎ প্রবাহের একক অ্যাম্পিয়ার (A)-কে মৌলিক একক হিসেবে নির্ধারণ করা হয়েছে। আধানের এস. আই একক হচ্ছে কুলম্ব (C)। অ্যাম্পিয়ার থেকে কুলম্বের সংজ্ঞা দেয়া হয়।

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে এক অ্যাম্পিয়ার (1A) প্রবাহ এক সেকেন্ড (1s) চললে এর যে কোনো প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে যে পরিমাণ আধান প্রবাহিত হয় তাকে এক কুলম্ব (1C) বলে।

$\therefore 1\text{C} = 1\text{A} \times 1\text{s}$

সুতরাং 40 কুলম্ব আধান বলতে আমরা বুঝি কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 40 সেকেন্ড চললে এর যে কোনো প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে যে পরিমাণ আধান প্রবাহিত হয় তা।

শূন্যস্থানে কুলম্বের সূত্র

এস. আই এককে বলকে নিউটন (N), দূরত্বকে মিটার (m) এবং আধানকে কুলম্ব (C)-এ পরিমাপ করলে কুলম্বের সূত্র (2.1) এর সমানুপাতিক ধ্রুবক C এর মান শূন্যস্থান (vacuum) এর জন্য পাওয়া যায়,

$C = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}$।

এস. আই পদ্ধতিতে এই সমানুপাতিক ধ্রুবককে লেখা হয়,

$$C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

এই ধ্রুবককে দেখতে আপাতদৃষ্টিতে জটিল মনে হলেও একে এরূপে প্রকাশ করা হয় কারণ তাহলে তড়িৎ চুম্বক বিজ্ঞানের অন্যান্য গুরুত্বপূর্ণ সূত্র ও সমীকরণগুলোর রূপ সরল হয়।

$$\therefore C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

এখানে ϵ_0 হচ্ছে একটি ধ্রুব সংখ্যা যাকে শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা (permittivity of free space) বলে। এর পরিমাপকৃত মান হলো,

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

সুতরাং শূন্যস্থানের জন্য কুলম্বের সূত্রের (সমীকরণ 2.1) রূপ হলো,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad (2.2)$$

যে কোনো মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র

আগেই আলোচনা করা হয়েছে দুটি আধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল শুধু আধানের পরিমাণ ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপরই নয়, আধানদ্বয় যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপরও নির্ভর করে। **মাধ্যমের যে তড়িৎ ধর্মের ওপর এ বল নির্ভর করে তা হচ্ছে মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা** ϵ । সুতরাং দুটি আধান শূন্যস্থানের পরিবর্তে ϵ ভেদনযোগ্যতা বিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে অবস্থিত হলে (2.2) সমীকরণে ϵ_0 এর পরিবর্তে ϵ হবে। ফলে কুলম্বের সূত্রের রূপ হবে,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{d^2} \tag{2.3}$$

আধানদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে তাকে সাধারণত পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম (dielectric medium) বলা হয়।

শূন্যস্থানের চেয়ে কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে নির্দিষ্ট দূরত্বে নির্দিষ্ট দুটি আধানের মধ্যবর্তী আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান কম হয়। দেখা গেছে যে, **দুটি আধানের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে শূন্যস্থানে যে বল ক্রিয়া করে আর ঐ দুই আধানের মধ্যে একই দূরত্বে কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে যে বল ক্রিয়া করে তাদের অনুপাত ঐ মাধ্যমের জন্য ধ্রুব সংখ্যা হয়। এ ধ্রুব সংখ্যাকে ঐ মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক** (dielectric constant) **বলা হয়।**

একে K দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ধরা যাক, $F =$ শূন্যস্থানে দুটি আধানের মধ্যকার বল।

$F_m =$ যে কোনো মাধ্যমে একই দূরত্বে ঐ দুই আধানের মধ্যকার বল।

$K =$ ঐ মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক।

$$\therefore K = \frac{F}{F_m} \tag{2.4}$$

তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক একই জাতীয় দুটি রাশির অনুপাত বলে এর কোনো একক নেই। কাচের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক 7 বলতে বোঝায়, যে কোনো দুটি আধানের মধ্যে শূন্যস্থানে যে কোনো দূরত্বে যে বল ক্রিয়া করে তা ঐ দুই আধানের মধ্যে ঐ একই দূরত্বে কাচ মাধ্যমে যে বল ক্রিয়া করে তার 7 গুণ। (2.2) এবং (2.3) সমীকরণ থেকে F এবং F_m (2.4) সমীকরণে বসালে আমরা পাই,

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \tag{2.5}$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায়, কোনো মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা ও শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতার অনুপাতই হচ্ছে তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক। (2.5) সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $\epsilon = \epsilon_o K$

এখন (2.3) বা (2.4) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

সুতরাং যে কোনো মাধ্যমে কুলম্বের সূত্রের সাধারণ রূপ হলো,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K}\frac{q_1 q_2}{d^2} \tag{2.6}$$

K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে দুটি আধানের মধ্যবর্তী বল (2.6) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়। বায়ুর তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক $K = 1.0005$। এই মান 1 এর খুব কাছাকাছি হওয়ায় বায়ু মাধ্যমে কুলম্ব বল তথা তড়িৎ বল নির্ণয়ের

জন্য আমরা (2.6) এর পরিবর্তে (2.2) অর্থাৎ শূন্যস্থানের জন্য যে সমীকরণ তা ব্যবহার করে থাকি। কয়েকটি পদার্থের K এর মান ২.২ সারণিতে দেয়া হয়েছে।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১। বায়ুতে এক কুলম্বের দুটি আধান পরস্পর থেকে 1km ব্যবধানে অবস্থিত হলে এদের মধ্যকার বল কত হবে?

আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \ \text{Nm}^2\text{C}^{-2} \times \frac{1\ \text{C} \times 1\ \text{C}}{(10^3\ \text{m})^2}$$

$$= 9 \times 10^3\ \text{N}$$

উ: 9×10^3 N

এখানে,
প্রথম আধান, $q_1 = 1$ C
দ্বিতীয় আধান, $q_2 = 1$ C
মধ্যবর্তী দূরত্ব, $d = 1\text{km} = 10^3$ m
বল, $F = ?$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$$

গাণিতিক উদাহরণ ২.২। সমভাবে আহিত দুটো শোলাবল বায়ুতে 2.0 mm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4.5×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক শোলাবলে আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{d^2}$$

বা, $$4.5 \times 10^{-5}\ \text{N} = \frac{9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2} \times q^2}{(2 \times 10^{-3}\ \text{m})^2}$$

$$\therefore q = \sqrt{\frac{4.5 \times 10^{-5}\ \text{N} \times (2 \times 10^{-3}\ \text{m})^2}{9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}}}$$

$$= 1.41 \times 10^{-10}\ \text{C}$$

উ: 1.41×10^{-10} C

এখানে ধরি,
প্রত্যেক শোলাবলে আধান, $q = ?$
দূরত্ব, $d = 2.0\ \text{mm} = 2 \times 10^{-3}$ m

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$$

বল, $F = 4.5 \times 10^{-5}$ N

২.৩। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of Electric Field)

আমরা ইতোমধ্যে জেনেছি একটি আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চল জুড়ে তার তড়িৎ প্রভাব বিদ্যমান থাকে তাকে তড়িৎ ক্ষেত্র বলে। স্বাভাবিকভাবেই তড়িৎ ক্ষেত্রের সকল বিন্দুতে এর প্রভাব সমান থাকে না। বিভিন্ন বিন্দুতে এর প্রভাব বিভিন্ন হয়। বিন্দুটি আহিত বস্তুর যত নিকটে হবে তার প্রভাবও তত বেশি হবে। এই প্রভাব বোঝার জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি পরীক্ষণীয় আধান আনতে হয়। সেই পরীক্ষণীয় আধানের ওপর প্রযুক্ত বল দ্বারা এই তড়িৎ প্রভাব পরিমাপ করা হয়। এই পরীক্ষণীয় আধানটি হচ্ছে একক ধনাত্মক আধান অর্থাৎ এক কুলম্ব মানের একটি ধনাত্মক আধান।

তড়িৎক্ষেত্রের এই প্রভাব বা সবলতাকে একটি রাশি দ্বারা বর্ণনা করা হয়। এই রাশিটিকে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীব্রতা বা সবলতা (Electric Field intensity or Electric Field Strength) বলে। একে E দিয়ে প্রকাশ করা হয়। আজকাল অবশ্য শুধু **তড়িৎক্ষেত্র** বললেই তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীব্রতা বা সবলতাকেই বোঝানো হয় এবং তড়িৎক্ষেত্রকেই $\vec{E}$ দ্বারা নির্দেশ করা হয়। বলা হয় কোনো তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর চারপাশে প্রত্যেক বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ আছে। তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এর মান বলতে তড়িৎ প্রাবল্যের মানকে বোঝানো হয়। তড়িৎক্ষেত্রের দিক বলতেই তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক বোঝায়।

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি যে বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য বলে।

মান : তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ আধান যদি F বল অনুভব করে তাহলে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে,

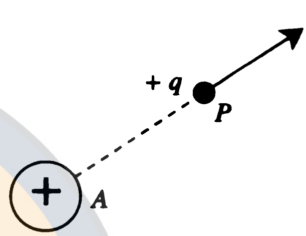
$$E = \frac{F}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.7)$$

দিক : যেহেতু তড়িৎ প্রাবল্য হলো একক ধনাত্মক আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল, সুতরাং প্রাবল্যের দিক আছে এবং এটি একটি ভেক্টর রাশি। একক ধনাত্মক আধান যে দিকে বল অনুভব করে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হয় সে দিকে।

সুতরাং (2.7) সমীকরণকে ভেক্টররূপে লেখা যায়,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.8)$$

২.২ চিত্রে A ধনাত্মক আধানে আহিত বস্তু হওয়ায় P বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ ধনাত্মক আধানটি PB বরাবর বিকর্ষণ বল অনুভব করবে। সুতরাং P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে PB বরাবর। কিন্তু A বস্তুটি যদি ঋণাত্মক আধানে আহিত হয়, তাহলে P বিন্দুতে স্থাপিত ধনাত্মক আধানটি PA বরাবর আকর্ষণ বল অনুভব করবে, ফলে প্রাবল্যের দিক হবে PA বরাবর।



চিত্র : ২.২

একক : (2.8) সমীকরণ থেকে দেখা যায়, বলের একককে আধানের একক দিয়ে ভাগ করলে তড়িৎ প্রাবল্যের একক পাওয়া যায়। এই একক হচ্ছে নিউটন/ কুলম্ব (NC^{-1})।

কোনো বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য 50 NC^{-1} বলতে বোঝায় ঐ বিন্দুতে স্থাপিত 1C কুলম্ব আধান 50 N বল অনুভব করে।

বলের সাথে প্রাবল্যের সম্পর্ক

(2.8) সমীকরণ থেকে দেখা যায়, তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল,

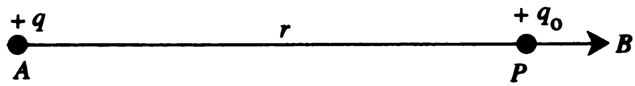
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\text{বা, } F = qE \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.9)$$

অর্থাৎ তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য এবং স্থাপিত আধানের গুণফলের সমান। **ধনাত্মক আধান প্রাবল্যের অভিমুখে বল লাভ করে আর ঋণাত্মক আধান প্রাবল্যের বিপরীত দিকে বল লাভ করে।**

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের রাশিমালা

ধরা যাক, K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে A বিন্দুতে একটি ধনাত্মক আধান $+q$ অবস্থিত। এই আধান থেকে r দূরত্বে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ২.৩

ধরি, P বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র আধান $+q_o$ স্থাপন করা হলো [চিত্র ২.৩]। এখন q_o আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K} \frac{qq_o}{r^2} \quad (2.10)$$

কিন্তু তড়িৎ প্রাবল্য হচ্ছে একটি একক ধনাত্মক আধানের ওপর বল।

সুতরাং P বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = \frac{F}{q_o} \tag{2.11}$$

(2.10) সমীকরণ থেকে F এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K} \frac{qq_o}{r^2 q_o}$$

বা, $$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K} \frac{q}{r^2} \tag{2.12}$$

$+q$ আধানটি শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে স্থাপিত হলে তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক K এর মান 1 ধরা হয়। সে ক্ষেত্রে, তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q}{r^2} \tag{2.13}$$

দিক : E একটি ভেক্টর রাশি। এর দিক হবে A ও P বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা বরাবর। q ধনাত্মক হলে বহির্মুখী অর্থাৎ PB বরাবর আর q ঋণাত্মক হলে অন্তর্মুখী অর্থাৎ PA বরাবর।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৩। কোনো তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হলে সেখানে একটি ইলেকট্রন এর ওজনের সমান বল অনুভব করবে? ইলেকট্রনের ভর $= 9.1 \times 10^{-31}$ kg এবং আধান $= 1.6 \times 10^{-19}$ C।

আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল F হলে,

$$E = \frac{F}{q}$$

কিন্তু $F = mg$

$$\therefore E = \frac{mg}{q}$$

$$= \frac{9.1 \times 10^{-31}\text{ kg} \times 9.8\text{ ms}^{-2}}{1.6 \times 10^{-19}\text{ C}}$$

$$= 5.57 \times 10^{-11}\text{ N C}^{-1}$$

উ: 5.57×10^{-11} NC^{-1}

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের আধান, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

তড়িৎ প্রাবল্য, $E = ?$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8$ ms^{-2}

গাণিতিক উদাহরণ ২.৪। 1.6×10^{-9} C আধানে আহিত একটি ক্ষুদ্র গোলককে বায়ুতে স্থাপন করা হলো। আহিত গোলকের কেন্দ্র হতে 0.15 m দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9\text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}}{(0.15\text{ m})^2}$$

$$= 640\text{ NC}^{-1}$$

উ. 640 NC^{-1}

এখানে,

আধান, $q = 1.6 \times 10^{-9}$ C

দূরত্ব, $r = 0.15$ m

প্রাবল্য, $E = ?$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

২.৪। তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভব (Potential of Electric Field)

একটি আহিত বস্তুর চার পাশে তার প্রভাব অঞ্চলের তথা তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুর যেমন প্রাবল্য থাকে, তেমনি প্রত্যেক বিন্দুর বিভবও থাকে। তড়িৎ প্রাবল্য থেকে আমরা জানতে পারি, কোনো বিন্দুতে একটি আধান স্থাপন করলে সেটি কোন দিকে কত বল লাভ করবে। তড়িৎ বিভব থেকে আমরা জানতে পারবো তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি মুক্ত আধান কোন দিকে চলবে, ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটির দিকে নাকি ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি থেকে দূরে সরে যাবে।

কোনো আহিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে একটি আধানকে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থানান্তর করা হলে কিছু কাজ সম্পন্ন হয়। ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি ধনাত্মক হলে একটি ধনাত্মক আধানকে বস্তুর দিকে আনতে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। সুতরাং অসীম থেকে একটি একক ধনাত্মক আধানকে বস্তুর যত নিকটবর্তী কোনো বিন্দুতে আনতে হবে তত বেশি কাজ করতে হবে। সুতরাং ধনাত্মকভাবে আহিত একটি বস্তুর তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে একটি বিন্দু আধানকে বস্তুটির যত নিকটে আনতে হবে তার বিভবও তত বেশি হবে। ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আহিত বস্তুটি ঋণাত্মকভাবে আহিত হলে একটি একক ধনাত্মক আধানকে ঐ বস্তুর দিকে আনতে আকর্ষণ বল দ্বারা কাজ সম্পন্ন হবে।

অসীম থেকে প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে সম্পন্ন কাজের পরিমাণকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

মান : অসীম থেকে ক্ষুদ্র আধান q কে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি সম্পন্ন কাজের পরিমাণ W হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভব V হবে,

$$V = \frac{W}{q} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.14)$$

যেহেতু বিভব হচ্ছে নির্দিষ্ট পরিমাণের কাজ, কাজেই এর কোনো দিক নেই। সুতরাং বিভব একটি **স্কেলার রাশি**। ধনাত্মকভাবে আহিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপিত একটি ধনাত্মক আধান যদি মুক্তভাবে চলতে পারে, তবে সেটি ধনাত্মকভাবে আহিত বস্তু থেকে দূরে সরে যাবে। সুতরাং বলা চলে ধনাত্মক আধান উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে চলে। অপরপক্ষে ঋণাত্মক আধান ধনাত্মকভাবে আহিত বস্তুর দিকে চলে। সুতরাং ঋণাত্মক আধান নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে চলে। ঋণাত্মকভাবে আহিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্রে অসীম থেকে ধনাত্মক আধান বস্তুর দিকে আসতে নিজেই কাজ করে। ফলে আধানটি শক্তি হারায় এবং তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভবকে ঋণাত্মক ধরা হয়।

একক : (2.14) সমীকরণ থেকে দেখা যায় কাজের একককে আধানের একক দিয়ে ভাগ করে বিভবের একক পাওয়া যায়। এস. আইতে বিভবের একক ভোল্ট (V)।

আধান $q = 1$ কুলম্ব (C) হলে যদি কাজ $W = 1$ জুল (J) হয় তাহলে বিভব $V = 1$ ভোল্ট (V) হয়।

অসীম থেকে প্রতি কুলম্ব (1C) ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি এক জুল (1J) কাজ সম্পন্ন হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে এক ভোল্ট (1V) বলে।

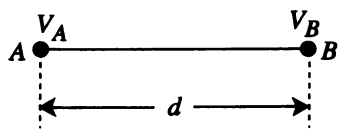
$$\therefore 1\text{V} = \frac{1\text{ J}}{1\text{ C}} = 1\text{ J C}^{-1}$$

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব 25 V বলতে বোঝায় অসীম থেকে প্রতি কুলম্ব ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে আনতে 25 J কাজ সম্পন্ন হয়।

বিভব পার্থক্য (Potential Difference)

ধরা যাক, কোনো তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে d দূরত্বে অবস্থিত A ও B দুটি বিন্দু এবং ঐ দুই বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B [চিত্র ২.৪]।

অতএব সংজ্ঞানুসারে, অসীম থেকে প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ V_A এবং B বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ V_B। অতএব প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ $V_A - V_B$ অর্থাৎ ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য।



চিত্র : ২.৪

প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থানান্তর করতে সম্পন্ন কাজের পরিমাণকে ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য বলে। বিভব পার্থক্যের একক ভোল্ট (V)।

বিভব পার্থক্য ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক

কোনো তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে A ও B দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হলে [চিত্র ২.৪]

pdfcorner.com

B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে প্রতি একক ধনাত্মক আধান সরাতে কৃতকাজ $= V_A - V_B$

$\therefore$ q একক ধনাত্মক আধানকে B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে সরাতে কৃতকাজ,

$W = q\,(V_A - V_B)$ ... ... (2.15 ক)

আবার, q একক আধানকে A বিন্দু থেকে B বিন্দুতে সরাতে কৃতকাজ,

$W = q\,(V_B - V_A)$ (2.15 খ)

$\therefore$ কাজ = আধান $\times$ বিভব পার্থক্য

(2.15) সমীকরণে q, V_A ও V_B-এর মান বসালে যদি W ধনাত্মক হয় তবে বুঝতে হবে বাহ্যিক বল দ্বারা কাজ করতে হবে আর যদি W-এর মান ঋণাত্মক হয় তবে বুঝতে হবে তড়িৎক্ষেত্রই কাজ করবে।

ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron Volt) বা eV

কাজ বা শক্তির একটি একক হচ্ছে ইলেকট্রন ভোল্ট। সাধারণত পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যায় শক্তির এই একক ব্যবহৃত হয়। তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য যদি 1V হয় তবে একটি ইলেকট্রন মুক্তভাবে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে গতিশীল হলে যে গতিশক্তি লাভ করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা সংক্ষেপে 1eV বলে।

একটি বিন্দু থেকে 1V বিভব পার্থক্যের অন্য একটি বিন্দুতে একটি ইলেকট্রনকে সরাতে যে কাজ হয় তাই এক ইলেকট্রন ভোল্ট।

$\therefore$ 1 eV = একটি ইলেকট্রনের আধান $\times$ 1 ভোল্ট। [$\because$ কাজ = আধান $\times$ বিভব পার্থক্য]

$$= 1.6 \times 10^{-19}\,\text{C} \times 1\text{V} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{C} \times \frac{1\text{J}}{1\text{C}} \left[\because 1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}} \right]$$

$$= 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

এক ইলেকট্রন ভোল্টের দশ লক্ষ গুণ অর্থাৎ 10^6 গুণ বড় একককে মিলিয়ন ইলেকট্রন ভোল্ট বা মেগা ইলেকট্রন ভোল্ট বা MeV বলে।

$$\therefore \quad 1\text{MeV} = 10^6\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-13}\,\text{J}$$

বিভব পার্থক্য ও প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক

কোনো তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে A ও B দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B [চিত্র ২.৪]

সুতরাং $V_A - V_B$ = B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান আনতে কাজের পরিমাণ।

= B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান আনতে তার ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান $\times$ আধানটির সরণের মান

= তড়িৎ প্রাবল্য $\times$ বিন্দু দুটির দূরত্ব

$$\therefore \; V_A - V_B = E \times d \qquad (2.16)$$

বা, $E = \dfrac{V_A - V_B}{d}$.

A ও B বিন্দুর মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য $V_A - V_B = V$ ধরলে,

$$E = \frac{V}{d} \qquad (2.17)$$

সুতরাং বলা যেতে পারে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের মান দূরত্বের সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারের সমান।

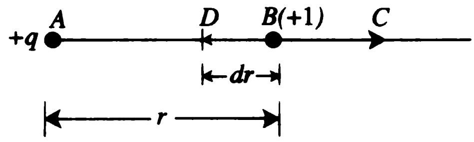
বি. দ্র : (2.17) সমীকরণ থেকে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের একক পাওয়া যায় Vm^{-1} ।

এই একক ইতোপূর্বে পাওয়া (অনু ২.৩) তড়িৎ প্রাবল্যের একক NC^{-1} এর সমতুল্য।

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভবের রাশিমালা

ধরা যাক, K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে A বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র পরিবাহী স্থাপিত আছে এবং এতে $+q$ পরিমাণ আধান আছে। এই আধান কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রে A বিন্দু থেকে r দূরত্বে B বিন্দুতে বিভব V নির্ণয় করতে হবে [চিত্র ২.৫]। AB যোগ করে C পর্যন্ত বর্ধিত করা হলো। ধরা যাক, B বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপিত আছে। এখন A বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ আধানের জন্য B বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানের ওপর বল তথা তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{q}{r^2} \qquad (2.18)$$



চিত্র : ২.৫

এই প্রাবল্যের দিক BC বরাবর।

এখন এই একক আধানকে A বিন্দুর দিকে BA বরাবর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র দূরত্ব dr সরিয়ে D বিন্দুতে আনতে সম্পন্ন কাজের পরিমাণ এই দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য dV এর সমান।

$\therefore dV$ = একক ধনাত্মক আধানের উপর বল × বলের দিকে সরণের উপাংশ

$= E \times dr \cos 180°$ [বল ও সরণ পরস্পর বিপরীতমুখী হওয়ায় এদের অন্তর্ভুক্ত কোণ 180°]

$\therefore dV = -Edr$

বা, $dV = -\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\dfrac{q}{r^2}dr$

যেহেতু অসীমে বিভব শূন্য, অর্থাৎ $r = \infty$ হলে, $V = 0$ এবং B বিন্দুতে বিভব V অর্থাৎ $r = r$ হলে $V = V$। সুতরাং এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত সমীকরণকে যোগজীকরণ করে আমরা পাই,

$$\int_0^V dV = -\int_\infty^r \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{q}{r^2}dr = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\int_\infty^r \frac{dr}{r^2}$$

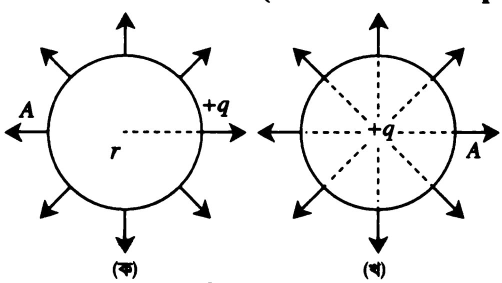
$$[V]_0^V = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[-\frac{1}{r}\right]_\infty^r \quad \text{বা, } V - 0 = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[-\frac{1}{r}+\frac{1}{\infty}\right]$$

$$\text{বা, } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{q}{r} \qquad (2.19)$$

মাধ্যম বায়ু বা শূন্য হলে, $K = 1$

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \qquad (2.20)$$

গোলকের বিভব (Potential of a Sphere)



চিত্র : ২.৬

ধরা যাক, A একটি r ব্যাসার্ধের গোলক যা K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে অবস্থিত। এতে $+q$ পরিমাণ আধান দিয়ে ধনাত্মকভাবে আহিত করা হলো। এই আধান গোলক পৃষ্ঠের সর্বত্র সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে। ফলে গোলকের পৃষ্ঠ থেকে বলরেখাসমূহ লম্বভাবে সকল দিকে নির্গত হবে [চিত্র ২.৬ (ক)]। এই সকল বলরেখাকে পেছন দিকে বাড়ালে এগুলো গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হবে। আবার যদি ধরা যায়, $+q$ আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে, তাহলেও বলরেখাগুলো ঠিক একই রূপ হবে [চিত্র ২.৬(খ)]।

pdfcorner.com

q আধান গোলকের পৃষ্ঠে বণ্টিত থাকলে এবং q আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত থাকলে বলরেখা একইরূপ হয়। সুতরাং q আধান কোনো গোলকের পৃষ্ঠে বণ্টিত থাকলে যে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে, q আধান সেই গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত থাকলেও একই তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে। অতএব q আধান গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত হলেও এই আধানকে গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত বলে বিবেচনা করা যায়। তাই গোলকের পৃষ্ঠে কোনো বিন্দু নিলে তার বিভব হবে,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K}\frac{q}{r}$$

গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান। অতএব গোলকের পৃষ্ঠে বা অভ্যন্তরে বিভব তথা গোলকের বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K}\frac{q}{r}$$

গোলকটি যদি বায়ুতে বা শূন্যস্থানে অবস্থিত হয় তাহলে $K = 1$

সুতরাং $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{r}$

এবং প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o K}\frac{q}{r^2}$

গোলকের অভ্যন্তরে সকল বিন্দুতে বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান হবে। গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে বিভব V_o হলে, পৃষ্ঠ ও অভ্যন্তরের কোনো বিন্দুর বিভব পার্থক্য, $V - V_o$ = প্রাবল্য × দূরত্ব

বা, $V - V_o = 0$ [∵ গোলকের অভ্যন্তরের চার্জ না থাকায় প্রাবল্য, $E = 0$]

∴ $V = V_0$

অর্থাৎ গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

২.৫। সমবিভব তল (Equipotential Surface)

যে তলের সকল বিন্দুতে বিভব সমান তাকে সমবিভব তল বলে। বিভবের সংজ্ঞা থেকে দেখা যায়, সমবিভব তলে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হতে পারে না। সুতরাং অন্যভাবে বলা যেতে পারে, যে তল বরাবর কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হয় না, সেই তল সমবিভব তল। সুতরাং স্থির তড়িৎ বিদ্যায় একটি অন্তরিত আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভব পৃষ্ঠ। যেহেতু পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুর বিভব একই, তাই সমবিভব তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি আধান স্থানান্তর করতে কোনো কাজ হয় না। সুতরাং পৃষ্ঠ বরাবর তড়িৎ প্রাবল্যের কোনো উপাংশ থাকে না। তড়িৎ বলরেখা যে কোনো আহিত পরিবাহী থেকে লম্বভাবে নির্গত হয় এবং একটি সমবিভব তলকে সকল বিন্দুতে লম্বভাবে ছেদ করে।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৫। একটি মোটর গাড়ির ব্যাটারির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 12.0 V। 2.5 C আধানকে ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত থেকে ধনাত্মক প্রান্তে স্থানান্তরের জন্য সম্পন্ন কাজ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = qV$$
$$= 2.5\ \text{C} \times 12.0\ \text{V}$$
$$= 30\ \text{J}$$

উ: 30 J

এখানে,

বিভব পার্থক্য, $V = 12.0$ V

আধান, $q = 2.5$ C

কাজ, $W = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ২.৬। একটি সুষম তড়িৎক্ষেত্রে 50 cm ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য 200 V। তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $E = \frac{V}{d}$

$= \frac{200\ V}{0.50\ m}$

$= 400\ Vm^{-1}$

এখানে, বিভব পার্থক্য, $V = 200\ V$

বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $d = 50\ cm = 0.50\ m$

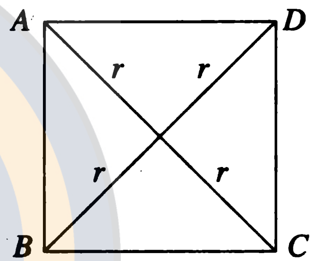
প্রাবল্য, $E = ?$

উ: $400\ Vm^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ২.৭। বায়ুতে একটি বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+ 2 \times 10^{-9}C$, $- 1 \times 10^{-9}C$ এবং $+ 8 \times 10^{-9}C$ আধান স্থাপন করা হলো। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে?

বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র থেকে প্রতিটি কৌণিক বিন্দুর দূরত্ব সমান।

ধরা যাক, এই দূরত্ব r।



প্রথম কোণায় আধান, $q_1 = + 2 \times 10^{-9}\ C$

দ্বিতীয় কোণায় আধান, $q_2 = - 1 \times 10^{-9}\ C$

তৃতীয় কোণায় আধান, $q_3 = + 8 \times 10^{-9}\ C$

চতুর্থ কোণায় আধান, $q_4 = ?$

কেন্দ্রে বিভব, $V = 0$

বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে মোট বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q_1}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q_2}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q_3}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q_4}{r}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{1}{r}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)$$

বা, $0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_o r}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)$

বা, $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 0$ বা, $q_4 = -(q_1 + q_2 + q_3)$

$= -(2 \times 10^{-9}\ C - 1 \times 10^{-9}\ C + 8 \times 10^{-9}\ C)$

$\therefore\ q_4 = - 9 \times 10^{-9}\ C$

উ: $- 9 \times 10^{-9}\ C$

গাণিতিক উদাহরণ ২.৮। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলকের পৃষ্ঠে 10 C আধান স্থাপন করলে এর পৃষ্ঠে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত আধান তার কেন্দ্রে অবস্থিত বলে বিবেচনা করা হয়।

আমরা জানি, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{r}$

$= 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2} \times \frac{10\ C}{0.1\ m}$

$= 9 \times 10^{11}\ V$

এখানে, মোট আধান, $q = 10\ C$

গোলকের ব্যাসার্ধ, $r = 10\ cm = 0.1\ m$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9 \times 10^9\ Nm^2\ C^{-2}$

পৃষ্ঠে বিভব, $V = ?$

উ: $9 \times 10^{11}\ V$

গাণিতিক উদাহরণ ২.৯। একটি গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ 0.5 m এবং তাতে 10 C আধান দেওয়া আছে। গোলকের কেন্দ্র হতে 1m এবং 0.1m দূরত্বে তড়িৎ বিভবের মান বের কর।

গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত আধান তার কেন্দ্রে অবস্থিত বলে বিবেচনা করা হয়।

আমরা জানি,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{r}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \times 10 \text{ C}}{1 \text{ m}} = 9 \times 10^{10} \text{ V}$$

এখানে, **প্রথম ক্ষেত্রে**

গোলকের ব্যাসার্ধ $r = 0.5$ m

গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্ব, $r_1 = 1$m

আধান, $q = 10$ C

$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$

বিভব, $V = ?$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, যে বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে সে বিন্দুটি গোলকের ভেতরে অবস্থিত। গোলকের ভেতরে কোনো বিন্দুতে বিভব গোলকের পৃষ্ঠের বিভবের সমান। তাই এক্ষেত্রে 0.1m এর পরিবর্তে দূরত্ব গোলকের ব্যাসার্ধ অর্থাৎ 0.5 m ধরতে হবে।

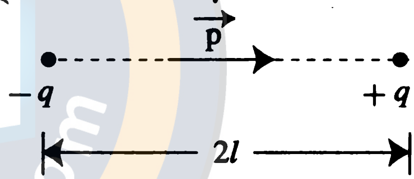
$$\therefore \quad V = \frac{9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \times 10 \text{ C}}{0.5 \text{ m}} = 1.8 \times 10^{11} \text{ V}$$

উ: 9×10^{10} V, 1.8×10^{11} V

২.৬। তড়িৎ দ্বিমেরু (Electric Dipole)

এক জোড়া সমান ও বিপরীত বিন্দু আধান অল্প দূরত্বে অবস্থিত থাকলে তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলে।

পানি (H_2O), ক্লোরোফরম ($CHCl_3$) এবং অ্যামোনিয়া (NH_3) অণু হচ্ছে স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরুর কয়েকটি উদাহরণ। এসব অণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান বন্টনের কেন্দ্র কখনো সমপাতিত হয় না। ২.৭ চিত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু দেখানো হচ্ছে। এতে দুটি সমান ও বিপরীত বিন্দু আধান '$-q$' এবং '$+q$' এর মধ্যবর্তী দূরত্ব $2l$। কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর সবলতা পরিমাপ করা হয় তার তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক (electric dipole moment) দ্বারা। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি এবং একে $\vec{p}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যে কোনো একটি আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফল দ্বারা এর মান পরিমাপ করা হয়। সুতরাং **তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটি আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক বলে।**



চিত্র : ২.৭

$$\therefore p = q \times 2l$$

$\vec{p}$ এর দিক হয় তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে। এর একক হচ্ছে কুলম্ব মিটার। (Cm)।

একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা

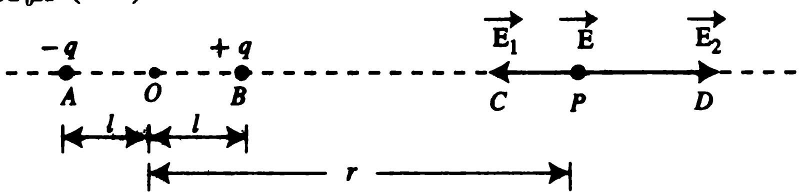
কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে।

ধরা যাক, $2l$ দূরত্বে অবস্থিত $-q$ ও $+q$ দুটি বিন্দু আধানের সমন্বয়ে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত (চিত্র ২.৮)। মনে করি $-q$ ও $+q$ আধান দুটি K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট মাধ্যমে যথাক্রমে A ও B বিন্দুতে অবস্থিত। এই তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার অক্ষের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{-q}{(r+l)^2}$$ [ঋণাত্মক চিহ্ন অন্তর্মুখী দিক তথা আকর্ষণ বোঝাচ্ছে।]

বা, $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r+l)^2}$, PC বরাবর



চিত্র : ২.৮

আবার, B বিন্দুর q আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r-l)^2}, \ PD \text{ বরাবর}$$

যেহেতু E_1 এবং E_2 একই সরলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং $E_2 > E_1$, সুতরাং P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য E হবে,

$E = E_2 - E_1$, এর দিক হবে E_2 এর দিকে তথা PD বরাবর

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r-l)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r+l)^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \left[\frac{(r+l)^2 - (r-l)^2}{(r^2-l^2)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \times \frac{4rl}{(r^2-l^2)^2} = \frac{2(q \times 2l)\, r}{4\pi\epsilon_0 K(r^2-l^2)^2}$$

$\because q \times 2l = p$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{2pr}{(r^2-l^2)^2}, \ PD \text{ বরাবর} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.21)$$

এই প্রাবল্যের দিক দ্বিমেরু অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে।

বিশেষ ক্ষেত্র : যদি P বিন্দুটি দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে হয় (অর্থাৎ যদি $r >> l$ হয়), তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়। সেক্ষেত্রে

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{2pr}{r^4}$$

বা, $$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{2p}{r^3}$$

শূন্যস্থান (বা বায়ু) হলে $K = 1$, সুতরাং

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3} \quad (2.22)$$

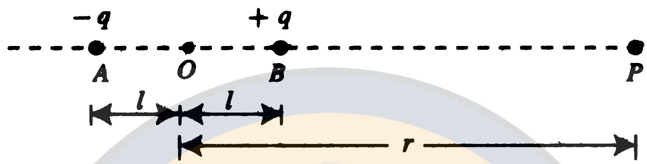
pdfcorner.com

যে বিন্দুর প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে, সে বিন্দুটি যদি মধ্য বিন্দুর বাম দিকেও অবস্থিত হয়, তাহলেও তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে দ্বিমেরু অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে।

একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা

কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে।

ধরা যাক, $2l$ দূরত্বে অবস্থিত $-q$ ও $+q$ দুটি বিন্দু আধানের সমন্বয়ে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত (চিত্র ২.৯)। মনে করি $-q$ ও $+q$ আধান দুটি K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট মাধ্যমে যথাক্রমে A ও B বিন্দুতে অবস্থিত। এ তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার অক্ষের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ২.৯

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r+l)}$$

আবার, B বিন্দুর q আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r-l)}$$

এখন P বিন্দুর বিভব V হলে,

$$V = V_1 + V_2$$

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r+l)} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r-l)}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \left[\frac{1}{(r-l)} - \frac{1}{(r+l)}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \left[\frac{r+l-r+l}{r^2-l^2}\right] = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q \times 2l}{(r^2-l^2)}$$

$$\because q \times 2l = p$$

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{p}{(r^2-l^2)} \qquad (2.23)$$

বিশেষ ক্ষেত্র : যদি P বিন্দুটি দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে হয় (অর্থাৎ যদি $r >> l$ হয়), তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়। সেক্ষেত্রে

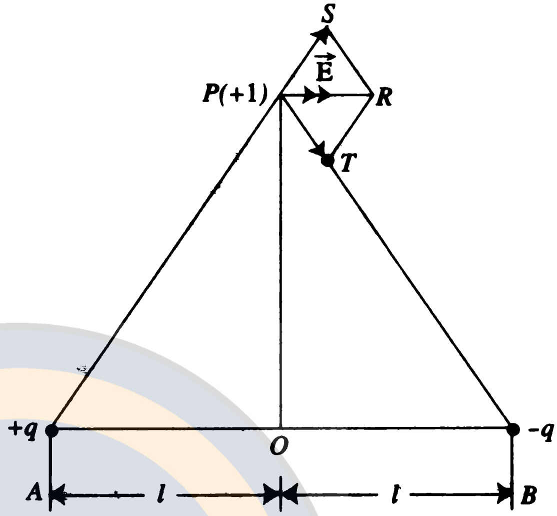
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{p}{r^2}$$

শূন্যস্থান (বা বায়ু) হলে $K=1$, সুতরাং

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^2} \qquad (2.24)$$

একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভবের রাশিমালা

ধরা যাক, A বিন্দুতে $+q$ এবং B বিন্দুতে $-q$ দুটি বিন্দু চার্জ শূন্যস্থানে পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করেছে (চিত্র ২.১০)। দ্বিমেরুটির লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর P একটি বিন্দু। দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে P বিন্দুটি r দূরত্বে অবস্থিত। P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ২.১০

A বিন্দুতে $+q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\ \frac{q}{(r^2 + l^2)}$$, বিকর্ষণ বল।

E_A -এর দিক হবে PS বরাবর।

B বিন্দুতে $-q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{q}{(r^2 + l^2)}$$, আকর্ষণ বল।

E_B -এর দিক হবে PT বরাবর।

ধরা যাক, $\angle PAB = \angle PBA = \theta$

$\therefore \angle TPR = \angle SPR = \theta$

$\vec{E}_A$ ও $\vec{E}_B$ এর মধ্যবর্তী কোণ, $\angle SPT = 2\theta$

আবার, $E_A = E_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{q}{(r^2 + l^2)}$

সুতরাং ভেক্টরের সামান্তরিকের সূত্রানুসারে P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_A^2 + E_B^2 + 2E_AE_B\cos 2\theta} = \sqrt{2E_A^2 + 2E_A^2 \cos 2\theta)}$$

$$= \sqrt{2}\, E_A \sqrt{1 + \cos 2\theta} = \sqrt{2}\, E_A \sqrt{2\cos^2\theta} = 2E_A\cos\theta$$

২.১০ চিত্র থেকে, $\cos\theta = \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}}$

$$\therefore E = 2 \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{q}{(r^2 + l^2)} \times \frac{1}{(r^2 + l^2)^{1/2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{2lq}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$$

$q \times 2l = p$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{p}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$$

এখন যদি $l << r$ হয় তবে r^2 এর সাথে তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়।

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{p}{r^3} \qquad (2.24a)$$

বিভবের রাশিমালা

A বিন্দুতে $+q$ চার্জের জন্য p বিন্দুতে বিভব,

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{q}{AP}$$

B বিন্দুতে $-q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে বিভব

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{(-q)}{BP} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\ \frac{q}{BP}$$

$\therefore P$ বিন্দুতে মোট বিভব, $V = V_A + V_B$

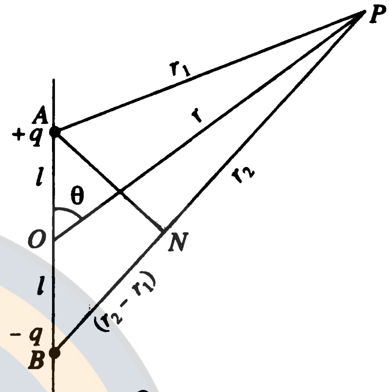
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{AP} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{BP} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{q}{AP} - \frac{q}{BP}\right]$$

$\because AP = BP \quad \therefore V = 0$

অর্থাৎ তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য।

একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য কোনো বিন্দুতে বিভব ও প্রাবল্যের রাশিমালা

তড়িৎ বিভব : ধরা যাক, A ও B বিন্দুতে দুটি বিন্দু চার্জ $+q$ এবং $-q$ পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। O হচ্ছে দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু। O বিন্দু হতে দ্বিমেরুর অক্ষের সাথে θ কোণে r দূরত্বে P একটি বিন্দু। $+q$ ও $-q$ চার্জ হতে P বিন্দুর দূরত্ব যথাক্রমে r_1 ও r_2 (চিত্র ২.১১)।



চিত্র : ২.১১

A বিন্দু থেকে BP রেখার উপর AN লম্ব টানা হলো। দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য খুব ক্ষুদ্র এবং O থেকে P এর দূরত্ব অনেক বড় হওয়ায় OP এবং BP রেখাদ্বয়কে প্রায় সমান্তরাল বিবেচনা করা যায়। সুতরাং $\angle AOP = \angle OBP = \theta$ ধরা যায়।

A বিন্দুতে $+q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে বিভব, $V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_1}$

B বিন্দুতে $-q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে বিভব, $V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{(-q)}{r_2} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_2}$

সুতরাং P বিন্দুতে মোট বিভব, $V = V_A + V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_2}$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right] = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}\right]$$

BAN সমকোণী ত্রিভুজ থেকে,

$\cos\theta = \frac{r_2 - r_1}{2l} \quad \therefore r_2 - r_1 = 2\,l\cos\theta$

P বিন্দুর দূরত্ব যদি এমন হয় যে, $r >> 2l$ তাহলে $r_2 r_1 = r^2$ ধরা যায়।

$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2l\cos\theta}{r^2} \quad \because 2l \times q = p,$ দ্বিমেরু ভ্রামক

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{p\cos\theta}{r^2} \qquad (2.24b)$$

এখন $\theta = 0$ হলে অর্থাৎ p বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব অক্ষের উপর অবস্থিত হলে, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{p}{r^2}$

আবার $\theta = 90°$ হলে অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব অক্ষের উপর অবস্থিত হলে, $V = 0$

তড়িৎ প্রাবল্য : আমরা জানি, দূরত্বের সাথে বিভবের পরিবর্তনের হারকে প্রাবল্য বলে। অর্থাৎ প্রাবল্য,

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

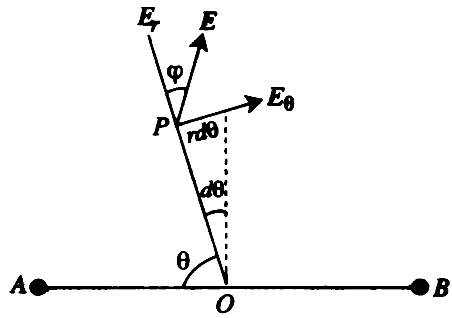
তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্যের দুটি উপাংশ পাওয়া যাবে। একটি উপাংশ OP বরাবর E_r এবং অপরটি হবে OP এর সাথে লম্ব বরাবর E_θ (চিত্র ২.১২)। E_r হচ্ছে ব্যাসার্ধ উপাংশ এবং E_θ হচ্ছে তীর্যক উপাংশ।

pdfcorner.com

$$\therefore E_r = -\frac{dV}{dr} = -\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{d}{dr}\left(\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}$$



চিত্র : ২.১২

আবার, $E_\theta = -\frac{dV}{rd\theta} = -\frac{1}{r}\cdot\frac{d}{d\theta}\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}$$

সুতরাং p বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}\right)^2 + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{p}{r^3}\sqrt{(4\cos^2\theta + \sin^2\theta)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p}{r^3}\sqrt{(1 + 3\cos^2\theta)} \qquad (2.24c)$$

এটি p বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্যের রাশিমালা। E, E_r এর সাথে φ কোণ উৎপন্ন করলে,

$$\tan\varphi = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3} \Big/ \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3} = \frac{\sin\theta}{2\cos\theta} = \frac{1}{2}\tan\theta \qquad (2.24d)$$

এখন $\theta = 0$ হলে অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অবস্থিত হলে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{2P}{r^3}$।

আবার, $\theta = 90$ হলে অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত হলে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{P}{r^3}$।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১০। বায়ুতে অবস্থিত একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর দুটি বিপরীত আধানের প্রত্যেকটির মান 3.2×10^{-6} C এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 4 cm। তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর এর মধ্যবিন্দু থেকে 5 m দূরে তড়িৎ প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{2pr}{(r^2 - l^2)^2}$$

বা, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{2q\times 2lr}{(r^2 - l^2)^2}$

এখানে,
দ্বিমেরুর আধান, $q = 3.2\times10^{-6}$ C
দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য $2l = 4$ cm $= 0.04$ m
$\therefore l = 0.02$ m
দূরত্ব, $r = 5$ m
তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক, $K = 1$
তড়িৎ প্রাবল্য, $E = ?$

$$= 9\times10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}\times\frac{2\times3.2\times10^{-6}\ \text{C}\times0.04\ \text{m}\times5\ \text{m}}{[(5\ \text{m})^2 - (0.02\ \text{m})^2]^2} = 18.43\ \text{N C}^{-1}$$

উ: 18.43 N C^{-1}

২.৭। তড়িৎ ধারক (Electric Capacitor)

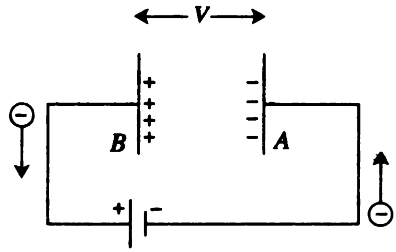
তড়িৎ আধানরূপে শক্তি সঞ্চয় করার সামর্থ্যকে ধারকত্ব বলা হয়। ধারকত্ব বজায় রাখার জন্য উদ্ভাবিত যান্ত্রিক কৌশলই (mechanical device) ধারক। কোনো উৎস যেমন তড়িৎকোষ থেকে ধারকে শক্তি সঞ্চয় করে পুনরায় তা ব্যবহার করা হয়। যে কোনো আকৃতির দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে কোনো অন্তরক পদার্থ যেমন- বায়ু, কাচ, প্লাস্টিক ইত্যাদি স্থাপন করে ধারক তৈরি করা হয়। পরিবাহী দুটিকে ধারকের পাত এবং অন্তরক পদার্থকে ডাইইলেকট্রিক বলে।

pdfcorner.com

কাছাকাছি স্থাপিত দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে অন্তরক পদার্থ রেখে তড়িৎ আধানরূপে শক্তি সঞ্চয় করে রাখার যান্ত্রিক কৌশলকে ধারক বলে।

সমান্তরাল পাত ধারক, গোলীয় ধারক, লিডেন জ্যার প্রভৃতি ধারক সচরাচর ব্যবহৃত হয়।

ধারকের ক্রিয়া : যখন কোনো শক্তি উৎস যেমন তড়িৎকোষ কোনো ধারকের পাতে তড়িতাধান প্রেরণ করে, তখন ধারক শক্তি সঞ্চয় করে। একটি ধারককে কোনো তড়িৎকোষের সাথে ২.১৩ চিত্রানুযায়ী সংযুক্ত করলে কোষের ঋণাত্মক প্রান্তে সংযুক্ত ধারকের A পাতে কোষ থেকে ইলেকট্রন এসে জমা হয় এবং ধারকের B পাত থেকে একই হারে ইলেকট্রন কোষের ধনাত্মক প্রান্তে স্থানান্তরিত হতে থাকে। A পাতে ইলেকট্রন জমা হওয়ার কারণে এটি ঋণাত্মক আধানে আহিত হয় এবং B পাত থেকে ইলেকট্রন চলে যাওয়ায় এটি ধনাত্মক আধানে আহিত হয়। লক্ষণীয় যে, ধারক আহিত করার সময় এর এক পাত থেকে অন্তরক পদার্থের মধ্যদিয়ে অন্য পাতে কোনো ইলেকট্রন প্রবাহিত হয় না। আহিত করার সময় ধারকের উভয় পাতে সমপরিমাণ বিপরীত আধানের উদ্ভব হয়। পাতদ্বয়ে আধান বৃদ্ধির ফলে এদের মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি পায় এবং ধারকের এই ভোল্টেজ উৎস ভোল্টেজের বিপরীতমুখী হওয়ায় তড়িৎ প্রবাহকে বিঘ্নিত করে। ধারকের ভোল্টেজ V, উৎস ভোল্টেজ V_o এর সমান হলে তড়িৎ প্রবাহ সম্পূর্ণ বন্ধ হয়ে যায় এবং ধারকটি সম্পূর্ণ আহিত হয়েছে বলা হয়। এ সময় ধারকটি বর্তনীতে একটা খোলা চাবি (open key) হিসেবে প্রতীয়মান হয়। এ অবস্থায় পাতদ্বয়ে আধানের পরিমাণ যথাক্রমে $+Q$ ও $-Q$ এবং ধারকে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ Q। আহিত ধারকটিকে এখন শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহার করা যায়।



চিত্র : ২.১৩

এখন কোষের সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে ধারকের পাতদ্বয় একটি পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত করে দিলে ইলেকট্রন পুনরায় A পাত থেকে B পাতে প্রবাহিত হবে। B পাতটি সম্পূর্ণ আধান নিরপেক্ষ না হওয়া পর্যন্ত প্রবাহ অব্যাহত থাকবে। সুতরাং অল্প সময়ের জন্য হলেও ধারক থেকে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় এবং এই সময় শেষে ধারকের পাত আধানশূন্য হয়। অর্থাৎ ধারকটি তখন ক্ষরিত (discharged) হয়। লক্ষণীয় যে, ক্ষরণকালে Q পরিমাণ আধান এক পাত থেকে অন্য পাতে প্রবাহিত হয়।

ধারকের ধারকত্ব

কোনো ধারকের প্রত্যেক পাতে যে পরিমাণ আধান জমা হলে পাতদ্বয়ের মধ্যে একক বিভব পার্থক্য বজায় থাকে তাকে ঐ ধারকের ধারকত্ব বলে।

মান : ধারকের প্রত্যেক পাতে Q পরিমাণ আধান প্রদান করায় যদি পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য V হয়, তাহলে ধারকের ধারকত্ব হবে,

$$C = \frac{Q}{V} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.25)$$

ধারকত্বের একক : কোনো ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট (1V) বজায় রাখতে যদি প্রত্যেক পাতে 1 কুলম্ব (1 C) আধানের প্রয়োজন হয় তাহলে সেই ধারকের ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড (1 F) বলে।

$$\therefore \; 1F = \frac{1C}{1V} = 1CV^{-1}$$

এক ফ্যারাড (1F) বেশ বড় একক বিধায় এর চেয়ে অনেক ছোট একক মাইক্রোফ্যারাড (μF) সচরাচর ব্যবহার করা হয়। ফ্যারাডের দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগকে মাইক্রোফ্যারাড বলে। অর্থাৎ $1\mu F = 10^{-6} F$।

এছাড়া ন্যানো ফ্যারাড (nF), পিকোফ্যারাড (pF) এককও ব্যবহার করা হয়।

$1nF = 10^{-9} F$ এবং $1pF = 10^{-12}$ F

কোনো ধারকের ধারকত্ব 5 F বলতে বোঝায় ধারকের দুই পাতের মধ্যে 1V বিভব পার্থক্য বজায় রাখতে প্রত্যেক পাতে 5 C আধান প্রদান করতে হয়।

পরিবাহীর ধারকত্ব

কোনো বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করলে যেমন এর তাপমাত্রা বাড়ে তেমনি কোনো পরিবাহীকে আধান প্রদান করলে এর বিভব বাড়ে। যত বেশি আধান দেয়া হয় বিভবও তত বেশি বাড়ে। তাপবিজ্ঞানে কোনো বস্তুর তাপমাত্রার একক বাড়াতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে তাপ ধারকত্ব বলে। অনুরূপভাবে স্থির তড়িতে যে রাশি পাওয়া যায় তাই আধান ধারকত্ব।

সংজ্ঞা : ***কোনো পরিবাহীর বিভব প্রতি একক বাড়াতে যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয় তাকে ঐ পরিবাহীর আধান ধারকত্ব বলে।***

ব্যাখ্যা : কোনো পরিবাহীর বিভব V পরিমাণ বাড়াতে যদি Q পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তবে বিভব একক পরিমাণে বাড়াতে $\frac{Q}{V}$ পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়। সুতরাং আধান ধারকত্ব,

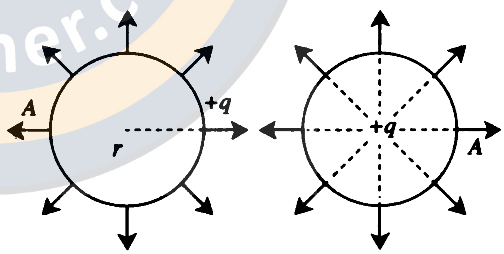
$$C = \frac{Q}{V} \qquad (2.26)$$

গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব

ধরা যাক, r ব্যাসার্ধের একটি গোলক A-কে K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে স্থাপন করা হলো। এতে $+q$ পরিমাণ আধান দিয়ে ধনাত্মকভাবে আহিত করা হলো। এর ফলে এর বিভব V হলো। অতএব, এর ধারকত্ব,

$$C = \frac{q}{V}$$

গোলকে স্থাপিত আধান গোলক পৃষ্ঠের সর্বত্র সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে। ফলে গোলকের পৃষ্ঠ থেকে বলরেখাসমূহ লম্বভাবে সকল দিকে নির্গত হবে [চিত্র ২.১৪ (ক)]।



চিত্র : ২.১৪

এ সকল বলরেখাকে পেছন দিকে বাড়ালে এগুলো গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হবে। আবার যদি ধরা যায়, q আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে, তাহলেও বলরেখাগুলো ঠিক একই রূপ হবে [চিত্র ২.১৪ (খ)]। সুতরাং q একক আধান গোলকের পৃষ্ঠে বণ্টিত থাকলে এবং q একক আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত থাকলে বলরেখা একই রূপ হয়। অতএব, q একক আধান গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত হলেও এই আধানকে গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত বলে বিবেচনা করা যায়। তাই গোলকের পৃষ্ঠে বিভব তথা গোলকের বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{q}{r}$$

বিভবের এই মান ধারকত্বের উপরিউক্ত সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই, $C = 4\pi\epsilon_0 Kr$

গোলকটি যদি বায়ুতে বা শূন্যস্থানে অবস্থিত হয়, তাহলে

$K = 1$. সুতরাং $C = 4\pi\epsilon_0 r$

এ থেকে দেখা যায় যে, গোলকের ধারকত্ব এর ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

সমান্তরাল পাত ধারক

দুটি সমান্তরাল পরিবাহক পাত দ্বারা এই ধারক তৈরি করা হয়। একই আকৃতির এবং একই ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি পাত সমান্তরালভাবে পাশাপাশি রেখে কোনো অন্তরক মাধ্যম দ্বারা যদি বিচ্ছিন্ন করা হয় তাহলে একটি সমান্তরাল পাত ধারক তৈরি হয় [চিত্র ২.১৫]। একটি তড়িৎকোষের সাথে সংযোগ দিয়ে ধারকটিকে আহিত করা হয়।

ধরা যাক,

A = ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল।

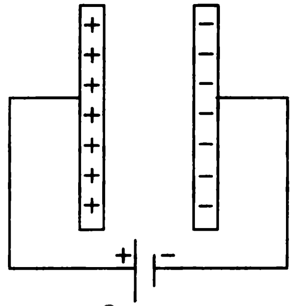
d = পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব।

$\in$ = পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা।

Q = প্রত্যেক পাতে মোট আধান।

V = পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য।

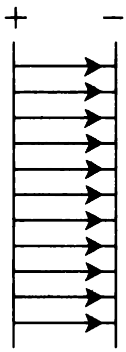
$\sigma = \frac{Q}{A}$ = প্রত্যেক পাতে আধান ঘনত্ব।



চিত্র : ২.১৫

সুতরাং ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{Q}{V}$ ... (2.27)

ধারকের পাত দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থিত বলে মধ্যবর্তী স্থানে বলরেখাগুলো পরস্পর সমান্তরাল হতে দেখা যায় [চিত্র ২.১৬]। সুতরাং পাত দুটির মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ প্রাবল্য সর্বত্র সুষম হবে, কারণ ধনাত্মক পাতের একক ক্ষেত্রফল থেকে যত সংখ্যক বলরেখা নির্গত হবে মধ্যবর্তী স্থানের যে কোনো একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে তত সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করবে।



চিত্র : ২.১৬

সুতরাং পাতদ্বয়ের পৃষ্ঠের তড়িৎ প্রাবল্য এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ প্রাবল্য একই হবে। কিন্তু আমরা আধান ঘনত্বের সাথে প্রাবল্যের সম্পর্ক থেকে জানি, কোনো পাতের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য $E = \frac{\sigma}{\in}$। সুতরাং সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ প্রাবল্য হবে, $E = \frac{\sigma}{\in}$

বা, $E = \frac{Q}{\in A}$

কিন্তু $V = Ed$

বা, $V = \frac{Qd}{\in A}$

(2.27) সমীকরণে এই মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$C = \frac{Q \in A}{Qd}$$

$$\therefore \; C = \frac{\in A}{d} \quad \ldots \qquad (2.28)$$

পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমে বায়ু হলে, $\in = \in_0$ (শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা) ধরা যায়। সেক্ষেত্রে

$$C = \frac{\in_0 A}{d} \qquad (2.29)$$

ধারকত্বের নির্ভরশীলতা :

ধারকের ধারকত্ব এর ক্ষেত্রফল A এর সমানুপাতিক, মধ্যবর্তী মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক K এর সমানুপাতিক, পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব d এর ব্যস্তানুপাতিক।

২.৮। ধারকের সংযোগ (Combination of Capacitors)

বিশেষ কাজে একাধিক ধারককে এক সাথে ব্যবহার করার প্রয়োজন হয়। একাধিক ধারককে একত্রে ব্যবহার করাকে ধারকের সংযোগ বা সমবায় বা সন্নিবেশ বলে।

সংযুক্ত ধারকগুলো একত্রে একটি ধারকের ন্যায় ক্রিয়া করে। ধারকের সংযোগ দু প্রকার; যথা -

(১) শ্রেণি সংযোগ (Series Combination) ও

(২) সমান্তরাল সংযোগ (Parallel Combination)

তুল্য ধারক ও তুল্য ধারকত্ব

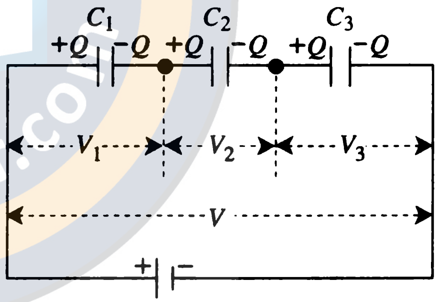
ধারকের সংযোগের পরিবর্তে যে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে সংযোগের বিভব পার্থক্য ও আধানের কোনো পরিবর্তন হয় না তাকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারক বলে আর তার ধারকত্বকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, কোনো বর্তনীতে A, B, D, E.......ইত্যাদি অনেকগুলো ধারক একত্রে ব্যবহার করা হলো। ধারকগুলোর দুই প্রান্তের তথা বর্তনীর যে দুই বিন্দুর সাথে এগুলোকে যুক্ত করা হয়েছে, সেই দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য এবং আধান হলো যথাক্রমে V এবং Q। একত্রে এই সকল ধারককে এক কথায় বলা হয়, ধারকের সংযোগ বা সমবায়।

ধরা যাক, এই ধারকগুলোর ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3, C_4.............ইত্যাদি। এখন যদি এতগুলো ধারক ব্যবহার না করে একটি মাত্র ধারক দ্বারা এগুলোকে এমনভাবে প্রতিস্থাপন করা হয় যাতে তার দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হয় এবং আধান Q বজায় থাকে, তবে এই একটি মাত্র ধারককে ঐ সংযোগ বা সমবায়ের তুল্য ধারক বলা হয়। আর এই প্রতিস্থাপিত ধারকের ধারকত্ব যদি C হয় তবে ঐ সংযোগের বা সমবায়ের তুল্য ধারকত্বই হবে C।

ধারকের শ্রেণি সংযোগ

ধারকের যে সংযোগে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাতের সাথে দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত, দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাতের সাথে তৃতীয় ধারকের প্রথম পাত এবং এরূপে ধারকগুলো সংযুক্ত থাকে, তাকে ধারকের শ্রেণি সংযোগ বলে [চিত্র ২.১৭]।



চিত্র : ২.১৭

শ্রেণি সংযোগে তুল্য ধারকত্ব :

কোনো তড়িৎ কোষ থেকে যদি $+Q$ আধান প্রথম ধারকের প্রথম পাতে প্রদান করা হয় তাহলে তা অন্য পাতের ভেতরের পৃষ্ঠে $-Q$ আধান আবিষ্ট হবে এবং $+Q$ আধান দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতে প্রবাহিত হবে। এই প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি ঘটতে থাকে। সুতরাং প্রতিটি ধারকের এক পাত $+Q$ এবং অন্যপাত $-Q$ আধান লাভ করে। যদি ধারকগুলোর পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি হয়, তবে শ্রেণি সংযোগের প্রথম পাত এবং শেষ পাতের বিভব পার্থক্য হবে,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \tag{2.30}$$

যদি ধারকগুলোর ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হয় তবে

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}, V_2 = \frac{Q}{C_2}, V_3 = \frac{Q}{C_3} \tag{2.31}$$

এখন যদি ধারকের সংযোগের পরিবর্তে এমন একটি ধারক ব্যবহার করা হয় যার দুটি পাতের বিভব পার্থক্য V এবং তার আধান Q হয় তবে তার ধারকত্ব তথা সংযোগের তুল্য ধারকত্ব C_s হবে,

$$C_s = \frac{Q}{V}$$

বা, $V = \dfrac{Q}{C_s}$ ... (2.32)

(2.30) সমীকরণে (2.32) ও (2.31) সমীকরণ স্থাপন করে আমরা পাই,

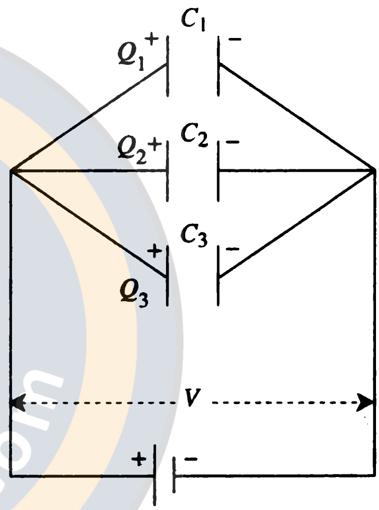
$$\frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad \therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

সংযোগে তিনটি ধারকের পরিবর্তে n সংখ্যক ধারক থাকলে

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots\dots + \frac{1}{C_n} \qquad (2.33)$$

সুতরাং শ্রেণি সংযোগের তুল্য ধারকত্বের বিপরীত রাশি ধারকগুলোর ধারকত্বের বিপরীত রাশির সমষ্টির সমান।

দেখা যায় যে, শ্রেণি সংযোগে তুল্য ধারকত্ব সংযোগের যে কোনো ধারকের ধারকত্বের চেয়ে ক্ষুদ্রতর।[১] যখন কতগুলো বড় ধারক থেকে একটি ছোট ধারক তৈরির প্রয়োজন হয় তখন এরূপ সংযোগ ব্যবহার করা হয়।



চিত্র : ২.১৮

ধারকের সমান্তরাল সংযোগ

যে সংযোগে ধারকগুলোর ধনাত্মক পাতগুলো একটি সাধারণ বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো আর একটি সাধারণ বিন্দুতে বা ভূমির সাথে সংযুক্ত থাকে তাকে ধারকের সমান্তরাল সংযোগ বলে। ২.১৮ চিত্রে তিনটি ধারকের সমান্তরাল সংযোগ দেখানো হলো, যেখানে ধনাত্মক পাতসমূহ কোষের ধনাত্মক প্রান্তে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো কোষের ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে সংযুক্ত করা হয়েছে।

সমান্তরাল সংযোগে তুল্য ধারকত্ব

তড়িৎকোষ থেকে + Q আধান প্রদান করা হলে, এ আধান ধারকগুলো তাদের ধারকত্ব অনুসারে ভাগ করে নেয়। যদি ধারকগুলোতে আধানের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1, Q_2 ও Q_3 হয় তবে মোট আধান Q হবে,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad (2.34)$$

যেহেতু প্রতিটি ধারকের দুটি পাত কোষের দুটি প্রান্তের সাথে যুক্ত, সুতরাং প্রতিটি ধারকের বিভব পার্থক্য একই হবে। ধরা যাক, এই বিভব পার্থক্য V। যদি ধারকগুলোর ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হয়, তবে

$$Q_1 = C_1 V,\ Q_2 = C_2 V \ \text{এবং}\ Q_3 = C_3 V \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad (2.35)$$

এখন যদি ধারকের সংযোগের পরিবর্তে এমন একটি ধারক ব্যবহার করা হয় যার দুটি পাতের বিভব পার্থক্য V এবং যাতে আধান Q হয় তবে তার ধারকত্ব তথা সংযোগের তুল্য ধারকত্ব C_p হবে

$$C_p = \frac{Q}{V}$$

বা, $Q = C_p V$ (2.36)

---

১. C_1 ও C_2 ধারকত্বের দুটি ধারককে শ্রেণি সংযোগে সাজালে তুল্য ধারকত্ব C_s হবে

$\dfrac{1}{C_s} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$ বা, $\dfrac{1}{C_s} = \dfrac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}$ $\therefore C_s = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{C_2}{C_1 + C_2} \times C_1 = \dfrac{C_1}{C_1 + C_2} \times C_2$ $\dfrac{C_2}{C_1 + C_2} < 1$ এবং $\dfrac{C_1}{C_1 + C_2} < 1$

$\therefore C_s < C_1$ বা $C_s < C_2$

pdfcorner.com

(2.34) সমীকরণে (2.36) ও (2.35) সমীকরণ ব্যবহার করে আমরা পাই,

$C_p V = C_1 V + C_2 V + C_3 V$

বা, $C_p = C_1 + C_2 + C_3$

সংযোগে তিনটি ধারকের পরিবর্তে n সংখ্যক ধারক থাকলে

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + C_n \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.37)$$

সুতরাং সমান্তরাল সংযোগের তুল্য ধারকত্ব ধারকগুলোর ধারকত্বের সমষ্টির সমান।

দেখা যায় যে, যখন কতগুলো ছোট ধারক থেকে বড় ধারক তৈরির প্রয়োজন হয় তখন এরূপ সংযোগ ব্যবহার করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১১। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 3μF, 2μF এবং 1μF। এদের দ্বিতীয় ও তৃতীয়টিকে শ্রেণিবদ্ধভাবে সাজিয়ে প্রথমটির সাথে সমান্তরালে যুক্ত করা হলে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

এখানে,
প্রথম ধারকের ধারকত্ব, $C_1 = 3\ \mu F$
দ্বিতীয় ধারকের ধারকত্ব, $C_2 = 2\ \mu F$
তৃতীয় ধারকের ধারকত্ব, $C_3 = 1\ \mu F$
তুল্য ধারকত্ব, $C = ?$

দ্বিতীয় ও তৃতীয়টি শ্রেণিবদ্ধ হওয়ার ফলে তাদের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2\mu F} + \frac{1}{1\mu F} = \frac{3}{2\ \mu F}$$

$$C_s = \frac{2}{3}\ \mu F$$

এই শ্রেণি সংযোগ প্রথমটির সাথে সমান্তরালে থাকার ফলে তাদের তুল্য ধারকত্ব C হলে,

$$C = C_s + C_1 = \frac{2}{3}\ \mu F + 3\ \mu F = \frac{11}{3}\ \mu F = 3.67\ \mu F$$

উ. $3.67\ \mu F$

গাণিতিক উদাহরণ ২.১২। প্রমাণ কর যে, সমান ধারকত্বের দুটি ধারকের সমান্তরাল সংযোগে থাকাকালীন ধারকত্ব শ্রেণিবদ্ধ সংযোগে থাকাকালীন ধারকত্বের 4 গুণ।

ধরা যাক, ধারক দুটির প্রত্যেকটির ধারকত্ব C।

এদের সমান্তরাল সংযোগে তুল্য ধারকত্ব, C_p হলে, $C_p = C + C = 2C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

এবং শ্রেণি সংযোগে তুল্য ধারকত্ব C_s হলে $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}$

$$C_s = \frac{C}{2} \qquad \text{(ii)}$$

(i) সমীকরণকে (ii) সমীকরণ দিয়ে ভাগ করে আমরা পাই, $\frac{C_p}{C_s} = 2C \times \frac{2}{C} = 4 \therefore C_p = 4C_s$

সুতরাং প্রমাণিত।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৩। দুটি ধারককে সমান্তরালে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 5 F এবং শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 1.2 F হয়, ধারক দুটির ধারকত্ব নির্ণয় কর।

এখানে,
সমান্তরাল সংযোগে তুল্য ধারকত্ব, $C_p = 5$ F
শ্রেণি সংযোগে তুল্য ধারকত্ব, $C_s = 1.2$ F
$C_1 = ?$
$C_2 = ?$

আমরা জানি, ধারকদ্বয়ের ধারকত্ব যথাক্রমে, C_1 ও C_2 হলে,

$$C_p = C_1 + C_2 = 5 \qquad \ldots (1)$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

বা, $C_s = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} = 1.2$

বা, $\frac{C_1C_2}{5} = 1.2 \quad \therefore C_1C_2 = 6 \quad \dots (2)$

আবার, $(C_1 - C_2)^2 = (C_1 + C_2)^2 - 4C_1C_2 \quad = (5)^2 - 4 \times 6 \;= 25 - 24 = 1$

$\therefore C_1 - C_2 = 1 \qquad \dots (3)$

এখন, (1) ও (3) সমীকরণ সমাধান করে,

$C_1 + C_2 = 5$ F

$C_1 - C_2 = 1$ F

বা, $2C_1 = 6$ F $\quad \therefore C_1 = 3$F এবং $C_2 = 3$ F $- 1$ F $= 2$ F

উ: 3 F; 2 F.

২.৯। ধারকের শক্তি (Energy of a Capacitor)

একটি আহিত ধারক প্রচুর পরিমাণে শক্তি তড়িৎ বিভব শক্তি হিসেবে সঞ্চয় করে। **একটি আহিত ধারকের শক্তি হলো একে আহিত করতে প্রয়োজনীয় মোট কাজের পরিমাণ।** আবার একে ক্ষরিত হতে দেয়া হলে ঐ শক্তি ফিরে পাওয়া যায়।

ধরা যাক, কোনো ধারকের ধারকত্ব C। আহিত করার সময় এর পাতে Q পরিমাণ আধান দেওয়ায় এর পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য হলো V এবং আহিত করতে U পরিমাণ কাজ করতে হলো। সুতরাং ধারকটিতে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ U। এখন ধারকের পাতে ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র আধান dQ প্রদান করতে যদি dU পরিমাণ কাজ হয় এবং এর ফলে ধারকটির শক্তি dU পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে,

$$dU = VdQ$$

বা, $dU = \frac{Q}{C}dQ \quad [\because C = \frac{Q}{V} \therefore V = \frac{Q}{C}]$

আহিত করার সময় ধারকটিতে $Q = 0$ থেকে $Q = Q$ পরিমাণ আধান প্রদান করা হলে এর শক্তি $U = 0$ থেকে $U = U$ তে উন্নীত হয়। সুতরাং উপরিউক্ত সমীকরণকে এ সীমার মধ্যে যোগজীকরণ করে মোট কাজের পরিমাণ পাওয়া যাবে।

সুতরাং $\int_0^U dU = \int_0^Q \frac{Q}{C}dQ$

বা, $[U]_0^U = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2}\right]_0^Q \quad \therefore U = \frac{Q^2}{2C}$

আবার $\because Q = CV \therefore U = \frac{1}{2}CV^2$

আবার $\because C = \frac{Q}{V} \quad \therefore U = \frac{1}{2}QV$

অর্থাৎ একটি আহিত ধারকে মোট শক্তির পরিমাণ

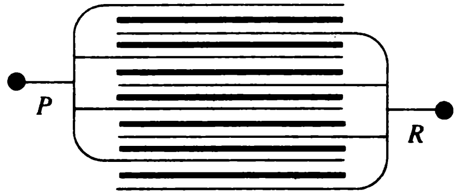
$$U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV \qquad (2.38)$$

একটি আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি নির্ভর করে ধারকে সঞ্চিত আধান, ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্য এবং ধারকের ধারকত্বের ওপর। **একটি নির্দিষ্ট ধারকে সঞ্চিত শক্তি তার আধানের বর্গের সমানুপাতিক।**

২.১০। ধারকের ব্যবহার (Uses of Capacitors)

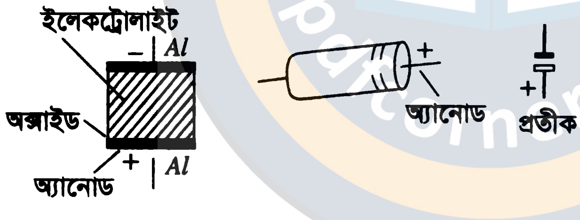
নিম্ন বিভবে তড়িতাধান জমা করার জন্য ধারক ব্যবহৃত হয়। বেতার, টেলিগ্রাফ ও টেলিফোনে ধারক ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। সাধারণত দু প্রকারের ধারক বেশি ব্যবহৃত হয়। স্থিরমান ধারক ও পরিবর্তনশীল ধারক।

(ক) স্থিরমান ধারক : এ প্রকার ধারকে অনেকগুলো টিনের পাত পর পর সাজানো থাকে। টিনের পাতগুলোর মাঝে অভ্রের পাত বা মোমে ডুবানো কাগজ বা সিরামিক বসানো থাকে। টিনের একটি অন্তর একটি পাত একত্রে সংযুক্ত থাকে যাতে প্রতিটি পাতের উভয় পৃষ্ঠই আলাদা পাত হিসেবে ব্যবহার করা যায়। এক সেট পাত P বিন্দুতে এবং অপর সেট পাত R বিন্দুতে সংযুক্ত থাকে [চিত্র ২.১৯]। P ও R বিন্দুর একটি ভূ-সংযুক্ত থাকে। এর সাহায্যে অল্প জায়গার মধ্যে বিরাট ক্ষেত্রফলের দুটি চ্যাপ্টা পাতের একটি তুল্য ধারক পাওয়া যায়। এখানে অভ্র, সিরামিক বা মোমে ডুবানো কাগজ অন্তরক মাধ্যম হিসেবে কাজ করে। স্থায়িত্ব বৃদ্ধি এবং শক্তিক্ষয় হ্রাস করার জন্য অন্তরক হিসেবে আজকাল কাগজের পরিবর্তে পাতলা পলিস্টারিনের স্তর ব্যবহার করা হয়। বর্তমানে অবশ্য ইলেকট্রোলাইটিক ধারকের ব্যবহার বেশ বাড়ছে।



চিত্র : ২.১৯

দুটি অ্যালুমিনিয়ামের পাতের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো ইলেকট্রোলাইট যেমন- অ্যালুমিনিয়াম বোরেট দ্রবণে ভিজানো কাগজ রেখে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে এ ধরনের ধারক তৈরি করা হয়। তড়িৎ প্রবাহিত করার ফলে অ্যানোডে অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের পাতলা সর পড়ে। অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের এই পাতলা সর একটি অন্তরক পদার্থ এবং এটা অন্তরক মাধ্যম হিসেবে কাজ করে। অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের পাতলা সর বজায় রাখার জন্য ধারকের এ প্রান্ত বর্তনীতে সর্বদা ধনাত্মক বিভবের সাথে যোগ করতে হয়। সে কারণে ধারকের অ্যানোড প্রান্তে লাল চিহ্ন বা + চিহ্ন অঙ্কিত থাকে। ইলেক্ট্রোলাইট ধারকের প্রতীক আঁকার সময় অ্যানোড প্রান্তকে সাদা আয়তক্ষেত্র দ্বারা চিহ্নিত করা হয় [চিত্র ২.২০]।



চিত্র : ২.২০

চিত্র : ২.২১

(খ) পরিবর্তনশীল ধারক : দুই সেট ধাতব পাত দ্বারা পরিবর্তনশীল ধারক তৈরি করা হয়। এর এক সেট স্থির থাকে। অপর সেট একটি দণ্ডের সাথে আটকানো থাকে। দণ্ডটি ঘুরালে এই সেটটি স্থির সেটের ফাঁকে ঘুরতে পারে [চিত্র ২.২১]। এক্ষেত্রে ডাইইলেকট্রিক মাধ্যম হচ্ছে বায়ু। দণ্ডটি ঘুরালে পাতগুলোর কার্যকর ক্ষেত্রফলের পরিবর্তন হয়। সুতরাং ধারকত্বের পরিবর্তন হয়। বেতার যন্ত্রের টিউনিং-এর কাজে এটি ব্যবহৃত হয়।

দৈনন্দিন জীবনে ব্যবহার : দৈনন্দিন জীবনে নানা প্রকার বৈদ্যুতিক ও ইলেকট্রোনিক যন্ত্রপাতিতে ধারক ব্যবহৃত হয়। রেডিও, টিভি, ফোন, ফ্যান, টিউবলাইট প্রভৃতিতে আমরা ধারকের ব্যাপক ব্যবহার দেখতে পাই।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৪। $4\mu F$ এর একটি ধারককে 9.0 V ব্যাটারি দ্বারা আহিত করলে এতে কী পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত হবে?

আমরা জানি,

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-6} \text{ F} \times (9.0 \text{ V})^2$$

$$= 1.62 \times 10^{-4} \text{ J}$$

উ: 1.62×10^{-4} J.

এখানে,

ধারকত্ব, $C = 4\ \mu F = 4 \times 10^{-6} F$

বিভব পার্থক্য, $V = 9.0$ V

সঞ্চিত শক্তি, $U = ?$

২.১১। অপরিবাহী ও ডাইইলেকট্রিক (Insulators and Dielectric)

আমরা জানি, এক শ্রেণির পদার্থ আছে, তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে যাদের মধ্য দিয়ে আধান মুক্তভাবে চলাচল করতে পারে। এদেরকে বলা হয় পরিবাহী। ধাতব পদার্থসমূহ এ শ্রেণির অন্তর্গত। আরেক শ্রেণির পদার্থ আছে যাদের বলা হয় অপরিবাহী বা অন্তরক বা ডাইইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম, যাদের মধ্য দিয়ে আধান চলাচল করতে পারে না। রাবার, অ্যাম্বার, কাচ ইত্যাদি এদের মধ্যে পড়ে।

আমরা জানি, কোনো পরিবাহীর বা একাধিক পরিবাহীর সমন্বয়ে গঠিত কোনো সমাবেশের বিভব বৃদ্ধি করলে এটি আধান ধরে রাখতে পারে। এই পরিবাহী বা সমাবেশকে বলা হয় ধারক। দেখা গেছে যে, একটি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের মাঝখানে কোনো ডাইইলেকট্রিক রাখলে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। এখন স্বাভাবিকভাবেই প্রশ্ন জাগে ডাইইলেকট্রিকের মধ্যে এমন কী আছে যা ধারকের ধারকত্ব বাড়িয়ে দেয়? ডাইইলেকট্রিকের উপস্থিতিতে ধারকত্ব বৃদ্ধির অর্থ হচ্ছে একই আধানের জন্য ভোল্টেজ তথা বিভব পার্থক্য কমে যাওয়া। যেহেতু বিভব পার্থক্য হচ্ছে ধারকের তড়িৎ ক্ষেত্রের যোগজ, কাজেই আমরা বলতে পারি ধারকের পাতের আধান একই থাকলেও ধারকের অভ্যন্তরে তথা দুই পাতের মাঝে তড়িৎ ক্ষেত্র হ্রাস পায়।

আবার ধারকের দুই পাতের মাঝখানে পরিবাহী মাধ্যম থাকলেও তড়িৎ ক্ষেত্র হ্রাস পায়, কেননা ধারকের পাতের মুখোমুখি পরিবাহীর দুই পৃষ্ঠে আবিষ্ট আধানের উদ্ভব হয়। কিন্তু সমপরিমাণ ডাইইলেইট্রিকের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের হ্রাস অনেক বেশি হয়, কেননা ডাইইলেকট্রিক মাধ্যমে কোনো মুক্ত আধান থাকে না। আর যদি দুই পাতের মধ্যবর্তী স্থান ডাইইলেকট্রিক দিয়ে সম্পূর্ণরূপে পূর্ণ করা হয়, তাহলে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হয়। এর থেকে এ সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে, তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে ডাইইলেকট্রিকের অভ্যন্তরে আধানের সামান্য সরণ হয় ফলে ডাইইলেকট্রিকের দুই পৃষ্ঠে আবিষ্ট আধানের উদ্ভব ঘটে।

ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো ডাইইলেকট্রিক থাকাকালে ধারকত্ব C এবং ডাইইলেকট্রিক না থাকাকালে ধারকত্ব C_0 হলে এই দুই অবস্থায় ধারকত্বের অনুপাত সর্বদা একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। এই ধ্রুব সংখ্যাকে ঐ ডাইইলেকট্রিক মাধ্যমের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা বা তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বলে।

অর্থাৎ কোনো মাধ্যমের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক,

$$K = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{ডাইইলেকট্রিক পূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}}{\text{ডাইইলেকট্রিক শূন্য ধারকের ধারকত্ব}}$$

নিচের সারণিতে কয়েকটি অন্তরক পদার্থের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকের মান দেয়া হলো :

সারণি-২.২

ডাইইলেকট্রিক বা অন্তরক পদার্থ	ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক, K
শূন্যস্থান	1.0000
বায়ু	1.0005
পলিথিন	2.3
মোমে ডুবানো কাগজ	2.7
অভ্র	7.0
কাচ	5.10
ইবোনাইট	2.8
পানি	80.0

২.১২। গাউসের সূত্র (Gauss's Law)

গাউসের সূত্র পদার্থবিজ্ঞানের অতি গুরুত্বপূর্ণ একটি সূত্র। এটি স্থির তড়িতের একটি মৌলিক সূত্র। ম্যাক্সওয়েল যে চারটি সূত্রের সাহায্যে তার তড়িৎ চৌম্বক তত্ত্ব বর্ণনা করেন, তার মধ্যে গাউসের সূত্রটি হচ্ছে প্রথম সূত্র। গাউসের সূত্র থেকে আমরা কুলম্বের সূত্রে উপনীত হতে পারি। গাউসের সূত্রে তড়িৎ ফ্লাক্স নামক রাশিটি একটি মুখ্য ভূমিকা পালন করে। তাই আমরা গাউসের সূত্র বিবৃত করার আগে তড়িৎ ফ্লাক্স সম্পর্কে কিছুটা ধারণা গ্রহণ করবো।

তড়িৎ ফ্লাক্স

তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে কোনো তল কল্পনা করলে তার সাথে তড়িৎ ফ্লাক্স সংশ্লিষ্ট থাকে বা ঐ তল দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্স অতিক্রম করে বা প্রবাহিত হয়। কোনো তলের ক্ষেত্রফলের সাথে ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের তথা তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উপাংশ গুণ করলে তড়িৎ ফ্লাক্স পাওয়া যায়।

কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

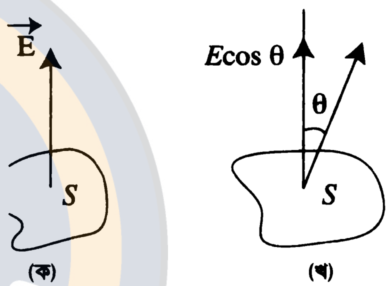
কোনো তলের ক্ষেত্রফল S এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্র E হলে [চিত্র ২.২২ক] তড়িৎ ফ্লাক্স

$$\varphi = ES$$

কিন্তু যদি তড়িৎ ক্ষেত্র তলের লম্ব বরাবর ক্রিয়া না করে লম্বের সাথে θ কোণে ক্রিয়া করে (চিত্র ২.২২খ] তাহলে ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশ হবে $E\cos\theta$। সুতরাং তড়িৎ ফ্লাক্স হবে

$$\varphi = ES\cos\theta \quad \ldots \quad (2.39)$$

এখন $\vec{S}$ কে একটি ভেক্টর হিসেবে গণ্য করা হয় যার মান S ঐ তলের ক্ষেত্রফল নির্দেশ করে এবং দিক হয় ঐ তলের লম্ব বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং উপরিউক্ত সমীকরণের θ হলো ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{S}$ এবং তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ। অতএব, এই সমীকরণ দাঁড়ায়,

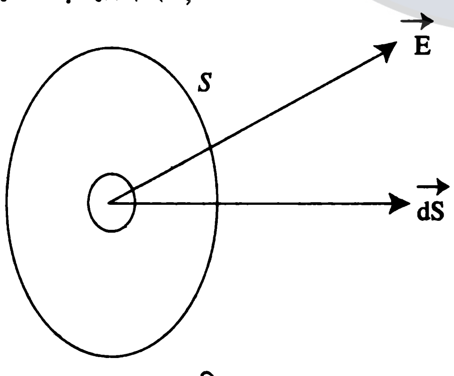


চিত্র : ২.২২

$$\varphi = \vec{E} \cdot \vec{S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.40)$$

সুতরাং ক্ষেত্রফল ভেক্টর ও তড়িৎ ক্ষেত্র এর স্কেলার গুণফল দ্বারা তড়িৎ ফ্লাক্স পরিমাপ করা হয়।

কোনো তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ তে একটি অতি ক্ষুদ্র তল $d\vec{S}$ বিবেচনা করা যাক (চিত্র ২.২৩)। তাহলে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স হবে,



চিত্র : ২.২৩

$$d\varphi = \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad \ldots \quad (2.41)$$

সমগ্র ক্ষেত্রফলব্যাপী তড়িৎ ফ্লাক্স হবে,

$$\varphi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (2.42)$$

এই ক্ষেত্রফল তথা তলের ভেক্টর সর্বদা তলের সাথে লম্ব বরাবর। কোনো বদ্ধ তলের জন্য ঐ ক্ষেত্রের ফ্লাক্স হবে,

$$\varphi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (2.43)$$

এই তল যোগজ নির্দেশ করে যে সমগ্র তলকে অসংখ্য ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সমতল $d\vec{S}$ এ বিভক্ত করে প্রতিটি তল উপাদানের জন্য $\vec{E} \cdot d\vec{S}$ স্কেলার রাশিটির হিসাব করতে হবে। এসব মানের সমষ্টিই হচ্ছে সমগ্র তলের মোট তড়িৎ ফ্লাক্স।

রাশি ও একক : উপরিউক্ত (2.40) সমীকরণ বা অন্যান্য সমীকরণ থেকে দেখা যায়, তড়িৎ ফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি। আরো দেখা যায় যে, এর একক হচ্ছে $NC^{-1}m^2$।

গাউসের সূত্র

প্রখ্যাত গণিতবিদ কার্ল এফ গাউস এই সূত্র প্রদান করেন।

সূত্র : ***কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বদ্ধ কল্পিত তলের (গাউসীয় তল) তড়িৎ ফ্লাক্সের ϵ_o গুণ হবে ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট তড়িতাধানের সমান।***

যদি কোনো বদ্ধ তলের ক্ষেত্রফল S এবং ঐ তল কর্তৃক আবদ্ধ মোট আধান q হয়, তাহলে গাউসের সূত্রানুসারে,

$$\epsilon_o \varphi = q \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.44)$$

বা, $$\epsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{dS} = q \qquad (2.45)$$

এখানে ϵ_o হচ্ছে শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা।

স্পষ্টত: যদি ঐ তলে (গাউসীয় তল) কোনো আধান আবদ্ধ না থাকে বা তাতে সমপরিমাণ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান থাকে অর্থাৎ $q = 0$ হয় তাহলে,

তড়িৎ ফ্লাক্স $\varphi = \oint_S \vec{E}.\vec{dS} = 0$

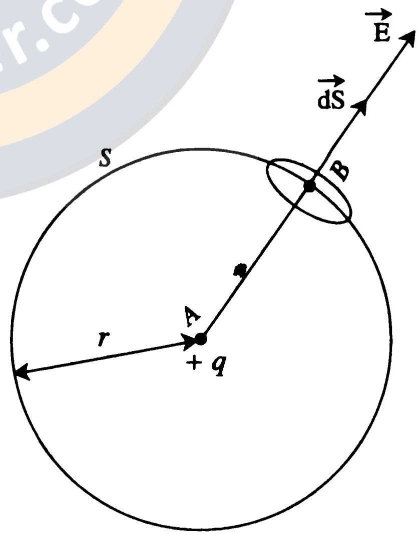
(2.45) সমীকরণ থেকে আমরা গাউসের সূত্রকে এভাবেও বিবৃত করতে পারি ***"তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বদ্ধ তলের ওপর তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ এর অভিলম্ব উপাংশের তল যোগজের ϵ_o গুণ হবে ঐ তলের অভ্যন্তরস্থ মোট আধানের সমান।"***

২.১৩। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র
Gauss's Law from Coulombs' Law

আমরা জানি, কুলম্বের সূত্র দুটি বিন্দু আধানের মধ্যকার বলের জন্য প্রযোজ্য হয়। ধরা যাক, A বিন্দুতে [চিত্র ২.২৪] একটি বিচ্ছিন্ন বিন্দু আধান q অবস্থিত। এই আধান তার চারপাশে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এই তড়িৎ ক্ষেত্রে q থেকে r দূরত্বে B বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি কুলম্বের সূত্র [সমীকরণ: 2.2] অনুসারে যে বল লাভ করে, তাই হচ্ছে ঐ বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য E।

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q}{r^2}$$

এর দিক হবে AB রেখা বরাবর B বিন্দু থেকে বহির্মুখী। এখন q কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা যাক। সুতরাং এই গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর তথা তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান হবে। গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এর দিক হবে ঐ বিন্দুতে অভিলম্ব বরাবর তথা ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।



চিত্র : ২.২৪

এখন B বিন্দুতে গোলকের অতি ক্ষুদ্র একটি তল $\vec{dS}$ বিবেচনা করা যাক। $\vec{dS}$ এর মান হচ্ছে ঐ তলের ক্ষেত্রফল এবং দিক হচ্ছে ঐ তলের লম্ব বরাবর বহির্মুখী অর্থাৎ $\vec{E}$ বরাবর। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এবং $\vec{dS}$ এর দিক একই অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{dS}$ এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 0°$। এই $\vec{dS}$ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স হবে,

$d\varphi = \vec{E}.d\vec{S}$

সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠের সমগ্র ক্ষেত্রফলব্যাপী অর্থাৎ ঐ বদ্ধতলের তড়িৎ ফ্লাক্স হবে

$\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S}$

এই তল যোগজ নির্দেশ করে সমগ্র তলকে অসংখ্য ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সমতল $d\vec{S}$ এ বিভক্ত করে প্রতিটি তল উপাদানের জন্য $\vec{E}.d\vec{S}$ স্কেলার রাশিটির হিসাব করতে হবে। এসব মানের সমষ্টিই হচ্ছে সমগ্র তলের মোট তড়িৎ ফ্লাক্স।

$$\therefore \varphi = \oint_S EdS\cos\theta = \oint_S \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{r^2}dS\cos 0° = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r^2}\oint_S dS$$

কিন্তু r ব্যাসার্ধের গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল তথা $\oint_S dS = 4\pi r^2$

$$\therefore \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r^2} \times 4\pi r^2 \quad \text{বা, } \varphi = \frac{q}{\epsilon_o}$$

$$\therefore \epsilon_o \varphi = q \quad \ldots \quad (2.44)$$

$$\text{বা, } \epsilon_o \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = q \quad \ldots \quad (2.45)$$

অর্থাৎ তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বদ্ধতলের তড়িৎ ফ্লাক্সের ϵ_o গুণ ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট আধানের সমান। আর এটাই হচ্ছে গাউসের সূত্র।

সুতরাং কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদিত হলো।

২.১৪। গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন

Deduction of Coulomb's Law from Gauss's Law

একটি বিচ্ছিন্ন বিন্দু আধান q বিবেচনা করা যাক। q কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা যাক, যার পৃষ্ঠ গাউসীয় তল হিসেবে গণ্য হবে। প্রতিসাম্য থেকে এটি সহজেই বোঝা যায় যে, এই গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর তথা তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান হবে। গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এর দিক হবে ঐ বিন্দুতে অভিলম্ব বরাবর তথা ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী (চিত্র ২.২২)।

গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই,

$$\epsilon_o \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = q \quad (2.46)$$

যেহেতু $\vec{E}$ এবং $d\vec{S}$ এর অভিমুখ একই, তাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ $0°$

$$\therefore \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S EdS\cos 0° = E\oint_S dS = E \times 4\pi r^2$$

সুতরাং (2.46) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$\epsilon_o E\, 4\pi r^2 = q$$

$$\text{বা, } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} \quad (2.47)$$

মনে করি, যে বিন্দুতে E হিসাব করা হয়েছে, সেই বিন্দুতে একটি আধান q_0 স্থাপন করা হলো। তাহলে q_0 এর ওপর প্রযুক্ত বলের মান

$$F = q_0 E$$

$$\text{বা, } F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{qq_0}{r^2} \quad (2.48)$$

অর্থাৎ **নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু আধানের মধ্যকার ক্রিয়াশীল বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং তাদের মধ্যকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।** আর এটিই হচ্ছে দুটি বিন্দু আধানের মধ্যকার **কুলম্বের সূত্র।**

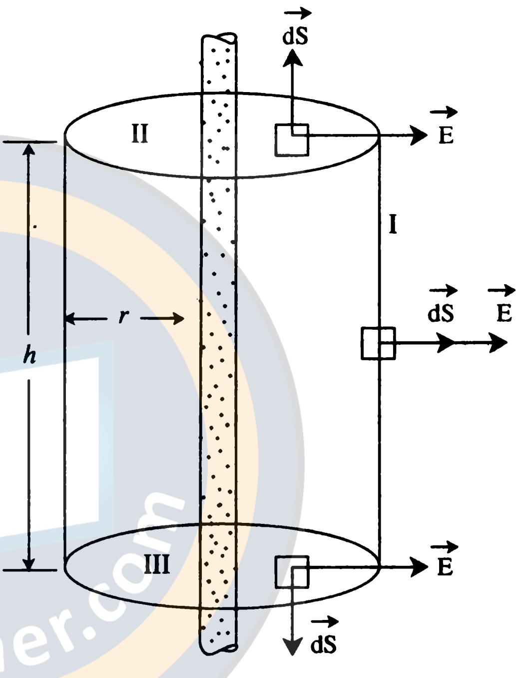
সুতরাং বলা যেতে পারে, গাউসের সূত্রের একটি বিশেষ রূপ হচ্ছে কুলম্বের সূত্র। অন্য কথায়, কুলম্বের সূত্রের সাধারণীকৃত রূপ হচ্ছে গাউসের সূত্র।

২.১৫। কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Coulomb's Law)

দুটি বিন্দু আধানের মধ্যকার আকর্ষণ বিকর্ষণ বল সংক্রান্ত সূত্রটি হচ্ছে কুলম্বের সূত্র। সুতরাং কুলম্বের সূত্রের বল, প্রাবল্য, বিভব ইত্যাদি হিসাব করতে হলে তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি বিন্দু আধান হতে হবে। একটি বিস্তৃত আহিত বস্তুর বা আধানের কোনো বন্টনের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র ব্যবহার করা অসুবিধাজনক। আধানের বন্টন যদি সুষম না হয়, তাহলে স্থির তড়িৎ সংক্রান্ত হিসাব নিকাশ খুবই কষ্ট ও সময়সাধ্য হয়ে ওঠে। অপরদিকে গাউসের সূত্র আধানের যে কোনো বন্টনের বা আহিত বস্তুর যে কোনো আকৃতির ক্ষেত্রে সহজেই ব্যবহার করে ঈপ্সিত হিসাব নিকাশ করা যায়।

২.১৬। গাউসের সূত্রের ব্যবহার (Uses of Gauss's Law)

অসীম দৈর্ঘ্যের একটি সরল ও সুষম আহিত দণ্ডের জন্য এর নিকটে তড়িৎ ক্ষেত্র তথা তড়িৎ প্রাবল্য :



চিত্র : ২.২৫

২.২৫ চিত্রে একটি অসীম দৈর্ঘ্যের সরল ও সুষম আহিত দণ্ড দেখানো হয়েছে। ধরা যাক, এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে সর্বত্র আধানের পরিমাণ λ। এই দণ্ড থেকে সমদূরবর্তী প্রতিটি বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\vec{E}$ এর মান সমান এবং এর দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। এই দণ্ডের সাথে সমাক্ষ ধরে h দৈর্ঘ্যের এবং r ব্যাসার্ধের একটি সিলিন্ডার কল্পনা করি, যার পৃষ্ঠ গাউসীয় তল হিসাবে বিবেচিত হবে। সুতরাং এই সিলিন্ডারে আবদ্ধ মোট আধান তথা দণ্ডের h দৈর্ঘ্যের মোট আধান হলো $q = \lambda h$। এই সিলিন্ডারের দুই প্রান্ত সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা আবদ্ধ।এই সিলিন্ডারের বক্রপৃষ্ঠের সকল বিন্দুতে $\vec{E}$ এর মান ধ্রুব, কেননা সিলিন্ডারের বক্র পৃষ্ঠের প্রত্যেকটি বিন্দুই দণ্ডের আধান থেকে সমদূরবর্তী। এছাড়াও প্রত্যেকটি বিন্দুতে $\vec{E}$ বক্রতলের সাথে লম্ব বরাবর বহির্মুখী।

এখন গাউসের সূত্র [সমীকরণ 2.45] থেকে আমরা পাই,

$$\epsilon_o \oint_S \vec{E} . \vec{dS} = q$$

গাউসীয় তলকে চিত্রানুযায়ী তিনটি অংশ, I, II ও III তে ভাগ করতে পারি।

$$\therefore \quad \oint_S \vec{E} . \vec{dS} = \int_I \vec{E} . \vec{dS} + \int_{II} \vec{E} . \vec{dS} + \int_{III} \vec{E} . \vec{dS}$$

pdfcorner.com

$$= \int_I EdS\cos0° + \int_{II} EdS\cos90° + \int_{III} EdS\cos90°$$

$$= E\int_I dS + 0 + 0 \quad = E \times 2\pi rh$$

(2.45) সমীকরণে বসিয়ে

$\epsilon_o \times E \times 2\pi rh = q$

কিন্তু q হচ্ছে λh

$$\therefore E = \frac{1}{2\pi\epsilon_o}\frac{\lambda}{r} \qquad (2.49)$$

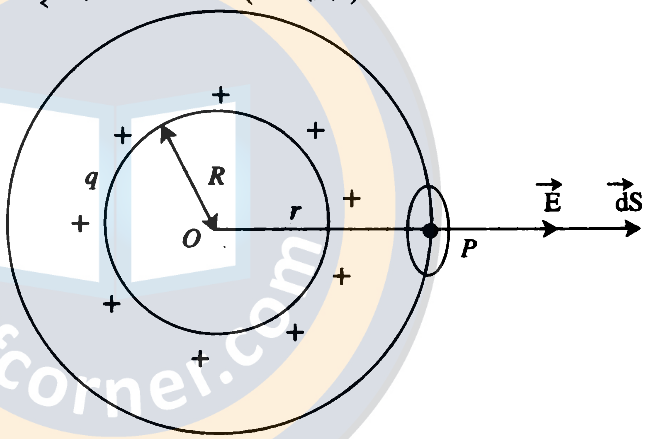
সুষমভাবে আহিত একটি গোলাকার খোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য

(ক) খোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে

ধরা যাক, R ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার খোলকের পৃষ্ঠে q ধনাত্মক আধান সুষমভাবে বণ্টিত আছে। ধরা যাক, এই খোলকের বাইর P একটি বিন্দু, যেখানে তড়িৎ ক্ষেত্র তথা তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। আমরা $OP = r$ (যেখানে $r > R$) ব্যাসার্ধ ধরে একটি গোলক কল্পনা করি যার পৃষ্ঠ হবে গাউসীয় তল (চিত্র ২.২৬)। এখন প্রতিসাম্য বিবেচনা করে আমরা পাই এই গাউসীয় তলের প্রত্যেক বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ এর মান সমান এবং দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। এবার গাউসের সূত্র ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$\epsilon_o \oint_s \vec{E}.\vec{dS} = q$$

যেহেতু $\vec{E}$ এবং $\vec{dS}$ একই দিকে ক্রিয়া করে, সুতরাং তাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ 0°



চিত্র : ২.২৬

$$\therefore \epsilon_o \oint_s EdS\cos0° = q$$

বা, $\epsilon_o \; E\oint_s dS = q$

বা, $\epsilon_o \; E \times 4\pi r^2 = q$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{r^2} \qquad (2.50)$$

(খ) খোলকের ওপর কোনো বিন্দুতে

খোলকের ওপর কোনো বিন্দুতে $r = R$

সুতরাং, (2.50) সমীকরণে r-এর পরিবর্তে R বসিয়ে আমরা পাই,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}\frac{q}{R^2}$$

$$\text{বা, } E = \frac{1}{\epsilon_o}\frac{q}{4\pi R^2} \qquad (2.51)$$

কিন্তু $\frac{q}{4\pi R^2}$ হচ্ছে গোলকের পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে আধানের পরিমাণ। একে বলা হয় **তলমাত্রিক আধান ঘনত্ব** σ,

$$\therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon_o} \qquad (2.52)$$

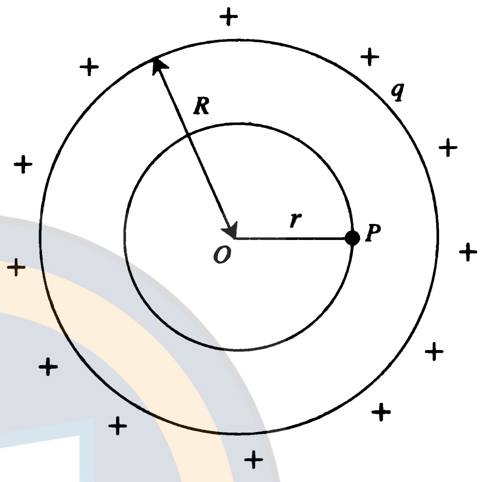
(গ) খোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে

মনে করি, খোলকের অভ্যন্তরে P একটি বিন্দু, খোলকের কেন্দ্র থেকে যার দূরত্ব r (চিত্র ২.২৭)। এখানে $r < R$। r কে ব্যাসার্ধ ধরে এবং খোলকের কেন্দ্রকে কেন্দ্র ধরে একটি গোলক কল্পনা করা হলো। এই গোলকের পৃষ্ঠই এই ক্ষেত্রে গাউসীয় তল।

যেহেতু গাউসীয় তল দ্বারা কোনো আধান আবদ্ধ নেই, তাই

$$\epsilon_0 \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{বা,} \quad E = 0$$

সুতরাং কোনো আহিত গোলাকার খোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।



চিত্র : ২.২৭

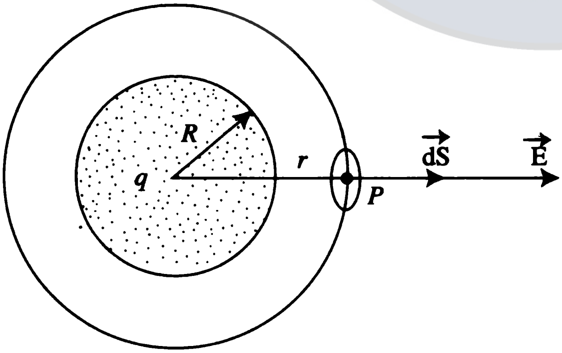
সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য

(ক) নিরেট গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে

R ব্যাসার্ধের একটি নিরেট গোলক বিবেচনা করা যাক, যেটি q আধানে সুষমভাবে আহিত। এই গোলকের বাইরে গোলকের কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে একটি বিন্দু P বিবেচনা করা যাক (চিত্র ২.২৮)। এখানে $r > R$। এই গোলকের কেন্দ্রকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা যাক, যার পৃষ্ঠই হবে গাউসীয় তল। এই P বিন্দুতে গাউসীয় তলের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশ $d\vec{S}$ বিবেচনা করা যাক। এর দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। স্বাভাবিকভাবেই ঐ বিন্দুতে $\vec{E}$ এর দিকও হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে,

$$\epsilon_0 \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

যেহেতু $\vec{E}$ এবং $d\vec{S}$ একই দিকে ক্রিয়া করে, সুতরাং তাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ $0°$



চিত্র : ২.২৮

$$\therefore \epsilon_o \oint_s EdS \cos 0° = q$$

$$\text{বা,} \ \epsilon_o E \oint_s dS = q$$

$$\text{বা,} \ \epsilon_o E \times 4\pi r^2 = q$$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \qquad \dots \quad (2.53)$$

সুতরাং গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য এমন যেনো সমগ্র আধান গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত বলে বিবেচনা করা যায়।

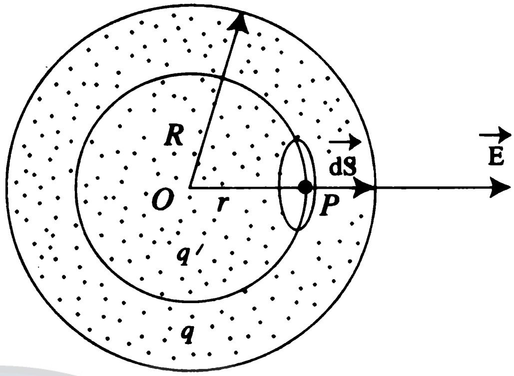
(খ) নিরেট গোলকের পৃষ্ঠে কোনো বিন্দুতে

গোলকের পৃষ্ঠে $r = R$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

(গ) নিরেট গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে

গোলকের অভ্যন্তরে গোলকের কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে একটি বিন্দু P বিবেচনা করা যাক (চিত্র ২.২৯)। স্পষ্টত এক্ষেত্রে $r < R$। এই গোলকের কেন্দ্রকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা যাক যার পৃষ্ঠই হবে গাউসীয় তল। এই P বিন্দুতে গাউসীয় তলের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশ $d\vec{S}$ বিবেচনা করা যাক। এর দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। স্বাভাবিকভাবেই ঐ বিন্দুতে $\vec{E}$ এর দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই,



চিত্র : ২.২৯

$$\epsilon_o \oint_s \vec{E}.\, d\vec{S} = q' \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.54)$$

এখানে q' হচ্ছে r ব্যাসার্ধের গোলকের অভ্যন্তরে মোট আধান। যেহেতু R ব্যাসার্ধের নিরেট গোলকে q আধান সুষমভাবে বণ্টিত, কাজেই গোলকের প্রতি একক আয়তনে আধানের পরিমাণ,

$$\rho = \frac{\text{গোলকের আধান}}{R \text{ ব্যাসার্ধের গোলকের আয়তন}} = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$\therefore$ r ব্যাসার্ধের গোলকে মোট আধান q' হবে,

$q' = \rho \times r$ ব্যাসার্ধের গোলকের আয়তন

$$= \rho \times \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \times \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\therefore q' = \frac{r^3}{R^3} q$$

$\therefore$ গাউসের সূত্র (2.54) থেকে আমরা পাই,

$$\epsilon_o \oint_s \vec{E}.\, d\vec{S} = \frac{r^3}{R^3} q$$

যেহেতু $\vec{E}$ এবং $d\vec{S}$ এর দিক একই দিকে ক্রিয়া করে, তাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ $0°$।

$$\therefore \quad \epsilon_o \oint_s E dS \cos 0° = \frac{r^3}{R^3} q$$

বা, $\epsilon_o E \oint_s dS = \frac{r^3}{R^3} q$

বা, $\epsilon_o E \times 4\pi r^2 = \frac{r^3}{R^3} q$

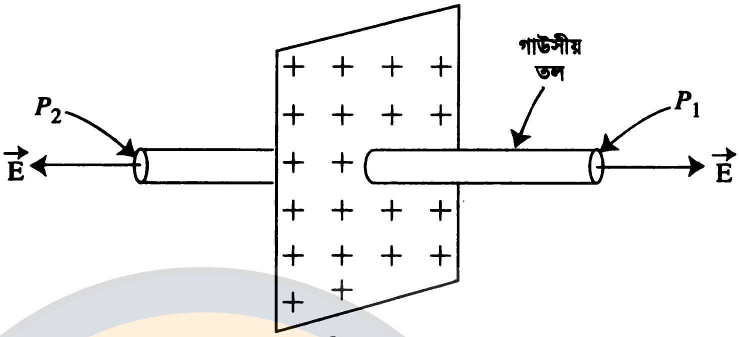
বা, $E = \frac{r^3 q}{4\pi\epsilon_o r^2 R^3}$

$$\therefore E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{R^3} \qquad (2.55)$$

(ঘ) অসীম বিস্তৃতির একটি চার্জিত অপরিবাহী পাতের নিকটে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র

২.৩০ নং চিত্রে একটি অসীম বিস্তৃতির চার্জিত অপরিবাহী পাতের খানিকটা দেখানো হয়েছে। পাতের প্রতি একক ক্ষেত্রে চার্জের পরিমাণ σ।

প্রতিসাম্য থেকে আমরা বলতে পারি তড়িৎ ক্ষেত্র E পাতের সর্বত্র অভিলম্বভাবে বিরাজ করে এবং পাতের উভয় পৃষ্ঠে এর মান একই। ধরা যাক, P_1 এবং P_2 পাতের উভয় দিকের দুটি সমদূরবর্তী বিন্দু।



চিত্র : ২.৩০

গাউসের সূত্র প্রয়োগ করার জন্যে আমরা A প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি চোঙাকৃতি গাউসীয় তল বিবেচনা করি যা পাতটিকে ছেদ করে (চিত্র ২.৩০)। তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ চোঙের উভয় প্রান্তের পৃষ্ঠের সাথে অভিলম্বভাবে বহির্মুখী ক্রিয়াশলী। $\vec{E}$ চোঙের পৃষ্ঠের সাথে সমান্তরালভাবে বিরাজ করে।

সুতরাং সিলিন্ডারের বক্রতলের ফ্লাক্সে কোনো অবদান নেই। অর্থাৎ $\vec{E}.d\vec{S} = 0$ । সুতরাং মোট ফ্লাক্স হবে সিলিন্ডারের উভয় প্রান্তের পৃষ্ঠের জন্যে প্রাপ্ত ফ্লাক্স। সুতরাং

$$\oint \vec{E}.d\vec{S} = EA + EA = 2EA$$

সিলিন্ডার দ্বারা আবদ্ধ মোট চার্জ σA। সুতরাং গাউসের সূত্রানুসারে,

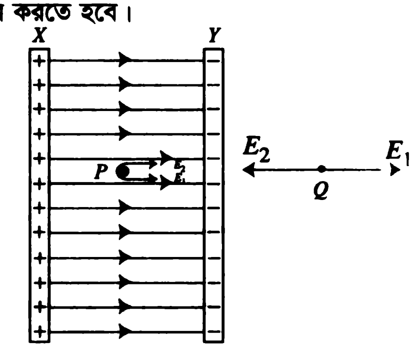
$$\oint \vec{E}.d\vec{S} = 2EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

$$\text{বা } E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.56)$$

লক্ষণীয় যে, E এর মান যে বিন্দুতে E নির্ণয় করা হচ্ছে পাত থেকে তার দূরত্বের উপর নির্ভরশীল নয়। অর্থাৎ পাতে উভয় পার্শ্বে সকল বিন্দুতে E এর মান একই হবে।

(ঙ) দুটি চার্জিত সমান্তরাল পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র

ধরা যাক, X ও Y দুটি চার্জিত সমান্তরাল পরিবাহী (চিত্র ২.৩১)। X পাতে ধনাত্মক চার্জ এবং Y পাতে ঋণাত্মক চার্জ আছে। প্রত্যেক পাতের একক ক্ষেত্রফলে চার্জের পরিমাণ σ। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোনো বিন্দু P-তে তড়িৎক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ২.৩১

X পাতের জন্যে P বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং এর দিক হবে X থেকে Y পাতের জন্য দিকে। Y পাতের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র হবে $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং এর দিক হবে X থেকে Y এর দিকে।

অতএব P বিন্দুতে মোট তড়িৎক্ষেত্রের মান হবে,

$$E = E_1 + E_2$$

$$= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

এই তড়িৎ ক্ষেত্রের দিক হবে X থেকে Y এর দিকে অর্থাৎ ধনাত্মক চার্জ থেকে ঋণাত্মক চার্জের দিকে।

পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো বিন্দু Q-তে X ও Y পাতের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের মান যথাক্রমে $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_o}$ এবং E_2 $= \frac{\sigma}{2\epsilon_o}$ । কিন্তু এরা পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় লব্ধি ক্ষেত্র শূন্য হবে। অর্থাৎ পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো তড়িৎক্ষেত্র থাকবে না।

সার-সংক্ষেপ

আধান : পদার্থ সৃষ্টিকারী মৌলিক কণাসমূহের মৌলিক ও বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্মকে আধান বলে।

কুলম্ব : কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে এক অ্যাম্পিয়ার (1 A) প্রবাহ এক সেকেন্ড চললে এর যে কোনো প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে যে পরিমাণ আধান প্রবাহিত হয় তাকে এক কুলম্ব (1 C) বলে।

কুলম্বের সূত্র : নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক, এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক এবং এই বল আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

তড়িৎ ক্ষেত্র : একটি আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চলব্যাপী তার প্রভাব বজায় থাকে অর্থাৎ অন্য কোনো আহিত বস্তু আনা হলে সেটি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল লাভ করে সেই অঞ্চলকে ঐ আহিত বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ প্রাবল্য : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি যে বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য বলে।

$$\text{তড়িৎ প্রাবল্য, } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

আজকাল শুধু তড়িৎ ক্ষেত্র বললেই তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীব্রতা বা সবলতাকেই বোঝানো হয় এবং তড়িৎ ক্ষেত্রকেই $\vec{E}$ দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

তড়িৎ বিভব : অসীম থেকে প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে সম্পন্ন কাজের পরিমাণকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

তড়িৎ দ্বিমেরু : এক জোড়া সমান ও বিপরীত বিন্দু আধান অল্প দূরত্বে অবস্থিত থাকলে তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলে।

ধারক : কাছাকাছি স্থাপিত দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে অন্তরক পদার্থ রেখে তড়িৎ আধানরূপে শক্তি সঞ্চয় করে রাখার যান্ত্রিক কৌশলকে ধারক বলে।

ধারকত্ব : কোনো ধারকের প্রত্যেক পাতে যে পরিমাণ আধান জমা হলে পাতদ্বয়ের মধ্যে একক বিভব পার্থক্য বজায় থাকে তাকে ঐ ধারকের ধারকত্ব বলে।

ফ্যারাড : কোনো ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্য এক ভোল্ট বজায় রাখতে যদি এক কুলম্ব আধানের প্রয়োজন হয় তাহলে সেই ধারকের ধারকত্বকে এক ফ্যারাড বলে।

ধারকের সংযোগ : বিশেষ কাজ একাধিক ধারককে একত্রে ব্যবহার করাকে ধারকের সংযোগ বলে।

তুল্য ধারকত্ব : ধারকের সংযোগের পরিবর্তে যে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে সংযোগের বিভব পার্থক্য ও আধানের কোনো পরিবর্তন হয় না, তার ধারকত্বকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ডাইইলেকট্রিক : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে আধান চলাচল করতে পারে না তাদেরকে ডাইইলেকট্রিক বলে।

তড়িৎ ফ্লাক্স : কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

গাউসের সূত্র : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বদ্ধ কল্পিত তলের তড়িৎ ফ্লাক্সের ϵ_o গুণ হবে ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট তড়িতাধানের সমান।

$$\epsilon_o \varphi = \epsilon_o \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। দুটি আধানের মধ্যবর্তী আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান নিচের কোন্‌টির উপর নির্ভর করে না?
(ক) আধনি দুটির পরিমাণের ওপর ○
(খ) আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর ○
(গ) আধান দুটি যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপর ○
(ঘ) আধান দুটির তাপমাত্রার ওপর ○

২। তড়িৎ প্রাবল্যের একক কী?
(ক) Nm ○ (খ) JC ○
(গ) NC^{-1} ○ (ঘ) V ○

৩। ইলেকট্রনের চার্জ e হলে নিচের কোনটি কোনো বস্তুর চার্জ হতে পারে?
(ক) 500e ○ (খ) 500.5e ○
(গ) –200.1e ○ (ঘ) 100.67e ○

৪। চার্জের এস. আই. একক কী?
(ক) ও'ম ○ (খ) কুলম্ব ○
(গ) জুল ○ (ঘ) ফ্যারাড ○

৫। কুলম্বের সূত্রে সমানুপাতিক ধ্রুবকের মান কত?
(ক) 1C ○ (খ) $9 \times 10^9 NmC^{-2}$ ○
(গ) $8.854 \times 10^{-12} CN^{-1}m^{-2}$ ○ (ঘ) $2 \times 10^{-7}N$ ○

৬। শূন্যস্থানে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান কত?
(ক) 0.1 ○ (খ) 1 ○
(গ) 1.0005 ○ (ঘ) 0.01 ○

৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্য E হলে সেখানে q চার্জ যে বল F অনুভব করবে তা নিচের কোনটি?
(ক) qE ○ (খ) $\frac{q}{E}$ ○
(গ) $\frac{E}{q}$ ○ (ঘ) q^2E ○

৮। একটি চার্জিত বস্তুর চারদিকে যতদূর তার প্রভাব থাকে তাকে কী বলে?
(ক) তড়িৎ প্রাবল্য ○ (খ) তড়িৎ বিভব ○
(গ) তড়িৎ ক্ষেত্র ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

৯। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত একটি একক ধনাত্মক চার্জ যে বল অনুভব করে তাকে কী বলে?
(ক) তড়িৎ ফ্লাক্স ○ (খ) তড়িৎ ○
(গ) তড়িৎ বল ○ (ঘ) তড়িৎ বিভব ○

১০। দুটি চার্জিত বস্তু পরস্পরের সাথে সংযুক্ত করলে চার্জের প্রবাহ কোন দিকে হবে তা কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে?
(ক) চার্জের পরিমাণ ○ (খ) তড়িৎক্ষেত্র ○
(গ) তড়িৎ প্রাবল্য ○ (ঘ) তড়িৎ বিভব ○

১১। তড়িৎ বিভবের একক কোনটি?
(ক) জুল ○ (খ) ভোল্ট ○
(গ) ফ্যারাড ○ (ঘ) হেনরি ○

১২। একটি একক ধনাত্মক চার্জকে অসীম থেকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে কৃত কাজকে কী বলে?
(ক) তড়িৎ প্রাবল্য ○ (খ) তড়িৎক্ষেত্র ○
(গ) তড়িৎ বিভব ○ (ঘ) চার্জ ধারকত্ব ○

১৩। ইলেকট্রন ভোল্ট কীসের একক?
(ক) চার্জ ○ (খ) প্রাবল্য ○
(গ) কাজ ○ (ঘ) প্রবাহ ○

১৪। ধারকের ধারকত্বের একক কী?
(ক) জুল ○ (খ) ভোল্ট ○
(গ) ফ্যারাড ○ (ঘ) হেনরি ○

১৫। কাছাকাছি স্থাপিত দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে অন্তরক মাধ্যম রেখে চার্জরূপে শক্তি সঞ্চয়ের যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে কী বলে?
(ক) তড়িৎকোষ ○ (খ) ধারক ○
(গ) জেনারেটর ○ (ঘ) আইপিএস ○

১৬। দুটি চার্জের মধ্যকার বল নির্ভর করে—
(i) চার্জ দুটির পরিমাণের উপর
(ii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর
(ii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৭। একটি আহিত ধারকের সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ হলো—
(i) $U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ (ii) $U = \frac{1}{2}CV^2$ (iii) $U = \frac{1}{2}QV$
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৮। একটি আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি নির্ভর করে—
(i) ধারকে সঞ্চিত আধানের উপর
(ii) ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্যের উপর
(iii) ধারকের ধারকত্বের উপর
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৯। আধান হচ্ছে মৌলিক কণাসমূহের একটি—
(i) স্থায়ী ধর্ম
(ii) বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্ম
(iii) মৌলিক ধর্ম
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

২০। তিনটি তথ্য দেওয়া আছে—
(i) কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের পূর্ণ সংখ্যক গুণিতক হবেই।
(ii) দুটি আধানের মধ্যকার পারস্পরিক বলের মান তাদের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না।
(iii) তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকের মান হচ্ছে দ্বিমেরুর যে কোনো একটি আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলের সমান।

pdfcorner.com

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

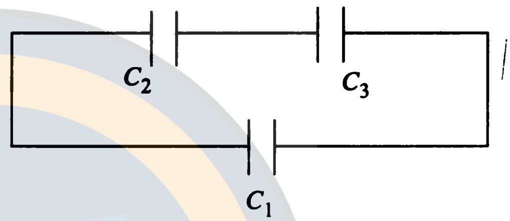
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১.(ঘ) ২.(গ) ৩. (ক) ৪. (খ) ৫. (খ) ৬. (খ) ৭. (ক) ৮. (গ) ৯. (খ) ১০. (ঘ) ১১. (খ) ১২. (গ) ১৩. (গ) ১৪. (গ) ১৫. (খ) ১৬. (ঘ) ১৭. (ঘ) ১৮. (ঘ) ১৯. (ঘ) ২০.(গ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। পাশের চিত্রে তিনটি ধারকের সংযোগ দেখানো হয়েছে। এখানে C_2 ও C_3 শ্রেণিতে এবং C_1 এদের সাথে সমান্তরালে সংযুক্ত।



(ক) ধারক কাকে বলে?

(খ) ধারকের সংযোগ ও তুল্য ধারকত্ব বলতে কী বোঝায়?

(গ) উদ্দীপকের ধারকগুলোর মান যথাক্রমে $C_1 = 3\mu F$, $C_2 = 2\mu F$ এবং $C_3 = 1\mu F$ হলে সংযোগের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকের ধারক তিনটি যদি সমান্তরালে থাকতো তাহলে তুল্য ধারকত্বের জন্যে একটি রাশিমালা নির্ণয় কর।

২। 1.6×10^{-9} C আধান বায়ুতে কোনো বিন্দুতে অবস্থিত। এর ফলে এর চারপাশে তড়িৎ বল অনুভূত হয়।

(ক) তড়িৎ ক্ষেত্র কাকে বলে?

(খ) তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব বলতে কী বোঝ ব্যাখ্যা কর।

(গ) উদ্দীপকে উল্লেখিত আধান থেকে 0.15 m দূরে কোনো বিন্দুতে একটি ইলেকট্রন স্থাপন করলে সেটি কত বল লাভ করবে?

(ঘ) আমরা জানি, কোনো বিন্দু আধানের সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে কোনো তল কল্পনা করলে তার সাথে তড়িৎ ফ্লাক্স সংশ্লিষ্ট থাকে। গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে দেখাও যে, কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বদ্ধ কল্পিত তলের তড়িৎ ফ্লাক্সের ϵ_o গুণ হবে ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট আধানের সমান।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। আধান কী?

২। কুলম্বের সংজ্ঞা দাও।

৩। তড়িৎক্ষেত্র কী?

৪। তড়িৎক্ষেত্রে প্রাবল্য বলতে কী বুঝ? বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

৫। তড়িৎ বিভব কাকে বলে বা বলতে কী বুঝ বা সংজ্ঞা দাও।

৬। বিভব পার্থক্য ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

৭। বিভব পার্থক্য ও তড়িৎ প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

৮। বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বিভবের রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

৯। ধারক কী?

১০। একটি আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

১১। শ্রেণি সংযোগে কয়েকটি ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

১২। সমান্তরাল সংযোগে কয়েকটি ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

১৩। দুটি ধারককে একবার শ্রেণিবদ্ধভাবে আর একবার সমান্তরালভাবে সাজানো হলো। কোন্ ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব বেশি হবে?
১৪। তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় কর।
১৫। তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর।
১৬। গাউসের সূত্রটি বর্ণনা কর।
১৭। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্রটি প্রতিপাদন কর।
১৮। গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্রটি প্রতিপাদন কর।
১৯। অসীম দৈর্ঘ্যের একটি সরল ও সুষম আহিত দণ্ডের জন্য এর নিকটে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
২০। সুষমভাবে আহিত একটি গোলকার খোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
২১। সুষমভাবে আহিত একটি গোলাকার খোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
২২। সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
২৩। সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। এক ন্যানোমিটার ($1 nm = 10^{-9} m$) ব্যবধানে অবস্থিত দুটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের মধ্যবর্তী বল নির্ণয় কর। [উ : 9.22×10^{-10} N]

২। সমভাবে আহিত দুটি শোলাবল বায়ুতে 2 mm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4.0×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক শোলাবলের আধান নির্ণয় কর। [উ : 1.33×10^{-10} C]

৩। 1.6×10^{-9} C আধানে আহিত একটি ক্ষুদ্র গোলককে বায়ুতে স্থাপন করা হলো। আহিত গোলকের কেন্দ্র হতে 0.14 m দূরে কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য বের কর। [উ : 734.69 NC^{-1}]

৪। 0.002 kg ভরের একটি শোলা বল 10^{-4} C আধানে আহিত। শোলা বলটিকে অভিকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থির রাখতে কী পরিমাণ তড়িৎক্ষেত্রের প্রয়োজন? [উ : 196 NC^{-1}]

৫। কত প্রাবল্যের একটি তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে একটি ইলেকট্রন স্থাপন করলে ইলেকট্রনটি তার ওজনের সমান বল অনুভব করবে? [উ : 5.57×10^{-11} NC^{-1}]

৬। $+1.0 \times 10^{-6}$C ও $+2.0 \times 10^{-6}$C দুটো আধান পরস্পর হতে 10 m দূরে অবস্থিত। এদের সংযোগ সরল রেখার ওপর এমন একটা বিন্দু বের কর যেখানে প্রাবল্যদ্বয়ের মান সমান।
[উ : 1.0×10^{-6}C আধান হতে 2×10^{-6}C আধানের দিকে 4 m দূরে।]

৭। বায়ুতে এক মিটার ব্যবধানে রাখা $+ 1.00\ \mu C$ এবং $-5.00\ \mu C$ আধানদ্বয়ের সংযোগ রেখার ঠিক মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর। [উ : -7.20×10^4 V]

৮। একটি বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে 5 C, 10 C, – 20 C আধান স্থাপিত। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রটির কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব শূন্য হবে? [উ : 5C]

৯। 4 cm বাহুবিশিষ্ট বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি কোণায় যথাক্রমে $+4 \times 10^{-9}$ C, -8×10^{-9} C, $+12 \times 10^{-9}$ C এবং $+16 \times 10^{-9}$ C আধান স্থাপন করা হলো। বর্গক্ষেত্রের কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে বিভব কত?
[উ : 7636.75 V]

১০। 16 μF এবং 22 μF ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারককে শ্রেণি সংযোগ সাজালে তুল্য ধারকত্ব কত হবে?
[উ: 9.27 μF]

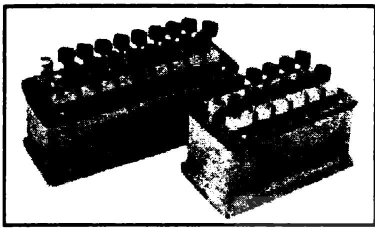
১১। 4μF এবং 8μF ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারককে 100V ব্যাটারির সাথে সমান্তরালে যুক্ত করা হলো। ধারক দুটির তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ : 12 μF]

১২। 4, 3 ও 2 μF ধারকত্ব সম্পন্ন তিনটি ধারককে এমনভাবে যুক্ত করা হল যেন প্রথমটি এবং দ্বিতীয়টি শ্রেণিবদ্ধ সজ্জায় এবং তৃতীয়টি এদের সাথে সমান্তরাল সজ্জায় থাকে। সংযোগের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।
[উ: 3.71 μF]

তৃতীয় অধ্যায়

চল তড়িৎ

CURRENT ELECTRICITY



মানব সভ্যতার অগ্রগতিতে চল তড়িৎ বা তড়িৎ প্রবাহের ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। আমাদের দৈনন্দিন জীবনে তড়িৎ প্রবাহের ভূমিকা কতটা গুরুত্বপূর্ণ "লোডশেডিং" শুরু হলে তা আমরা খুব ভালোভাবে উপলব্ধি করতে পারি। কোনো পরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে তাপ উৎপন্ন হয়। এই তাপ আমরা আমাদের প্রাত্যহিক জীবনের অনেক কাজে ব্যবহার করি। এই অধ্যায়ে আমরা জুলের তাপীয় ক্রিয়া, জুলের সূত্র, তড়িচ্চালক শক্তি, কির্শফের সূত্র, শান্ট ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো।

প্রধান শব্দসমূহ :
রোধের উষ্ণতা সহগ, অতিপরিবাহিতা, জুলের তাপীয় ক্রিয়া, জুলের সূত্র, ক্যালরি, তাপের যান্ত্রিক সমতা, কির্শফের সূত্র, হুইটস্টোন ব্রিজ, মিটারব্রিজ, পোস্ট অফিস বক্স, পটেনশিওমিটার, শান্ট।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখন ফল	অনুচ্ছেদ
১	রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৩.১
২	তড়িৎ প্রবাহের জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৩.৩
৩	**ব্যবহারিক :** তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয় করতে পারবে।	৩.১০
৪	কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।	৩.৫
৫	বর্তনীতে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমন্বয় সংযোগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৩.৬
৬	কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবে।	৩.৭, ৩.৮
৭	বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৩.৯
৮	**ব্যবহারিক:** * পটেনশিওমিটার ব্যবহার করে তড়িচ্চালক বলের তুলনা করতে পারবে। * মিটার ব্রিজ ব্যবহার করে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করতে পারবে। * পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয় করতে পারবে।	৩.১০

pdfcorner.com

৩.১। রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব (Effect of Temperature on Resistance)

আমরা জানি, পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ বিঘ্নিত হয় তাকে রোধ বলে। কোনো পরিবাহীর রোধ তার দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, উপাদান ও তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। পরিবাহীর রোধ তার দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক, উপাদানের আপেক্ষিক রোধের সমানুপাতিক। তাপমাত্রা বাড়লে পরিবাহীর রোধ বাড়ে, কিন্তু রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক নয়। পরিবাহীর মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের প্রবাহের ফলে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। মুক্ত ইলেকট্রন প্রবাহের সময় পরিবাহীর অণু পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়, যার কারণে পরিবাহীতে রোধের উদ্ভব হয়। তাপমাত্রা বাড়লে অতিরিক্ত শক্তি পাওয়ায় পরিবাহীর অণু পরমাণুগুলোর কম্পন বেড়ে যায়, ফলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর সাথে এদের সংঘর্ষ বৃদ্ধি পায় এবং প্রবাহ চলার পথে বেশি বাধার সৃষ্টি হয়—এতে করে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। রোধের উষ্ণতা সহগ তাপমাত্রার সাথে রোধের সম্পর্ক স্থাপন করে।

রোধের উষ্ণতা সহগ

0°C তাপমাত্রার একক রোধের কোন পরিবাহীর তাপমাত্রা প্রতি একক বৃদ্ধিতে তার রোধের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে ঐ পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা সহগ বলে।

0°C তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহীর রোধ R_o এবং θ তাপমাত্রায় রোধ R_θ হলে রোধের উষ্ণতা সহগ,

$$\alpha = \frac{R_\theta - R_o}{R_o \theta}$$

বা, $R_\theta = R_o (1 + \alpha\theta)$ (3.1)

বিভিন্ন পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগ বিভিন্ন হয়।

রোধের উষ্ণতা সহগের একক হলো প্রতি কেলভিন (K^{-1}) বা প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস ($°C^{-1}$)।

ম্যাঙ্গানিনের রোধের উষ্ণতা সহগ 3×10^{-5} K^{-1} বলতে বোঝায় যে 0°C তাপমাত্রার 1Ω রোধবিশিষ্ট ম্যাঙ্গানিনের তারের তাপমাত্রা 1K বাড়ালে এর রোধ 3×10^{-5} Ω বৃদ্ধি পায়।

যে সকল পরিবাহীর উষ্ণতা সহগ ধনাত্মক তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে তাদের রোধ বৃদ্ধি পায়। অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে রোধ হ্রাস পায়। অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে দেখা যায়, এদের উষ্ণতা সহগের মান ঋণাত্মক।

অতি নিম্ন তাপমাত্রায় কিছু কিছু পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে। এ সকল পদার্থকে অতি পরিবাহী বা Super Conductor বলে। পদার্থের এ ধর্মকে অতিপরিবাহিতা বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১। 0°C তাপমাত্রায় একটি ম্যাঙ্গানিন তারের রোধ 100 Ω হলে 30°C তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে? ম্যাঙ্গানিনের রোধের উষ্ণতা সহগ 3×10^{-5} °C^{-1}।

আমরা জানি,

$R_\theta = R_o (1 + \alpha\theta)$

$= 100\ \Omega\ [1 + 3 \times 10^{-5}\ °C^{-1} \times 30°C]$

$= 100.09\ \Omega$

উ: $100.09\ \Omega$

এখানে,
0°C এ রোধ, $R_o = 100\ \Omega$
উষ্ণতা বৃদ্ধি, $\theta = 30°C$
রোধের উষ্ণতা সহগ, $\alpha = 3 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$
30°C-এ রোধ, $R_\theta = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.২। 25°C তাপমাত্রায় টাংস্টেন তারের রোধ 65 Ω। 200°C তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে? টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা সহগ $\alpha = 4.5 \times 10^{-3}$°C^{-1}।

প্রথমে 0°C তাপমাত্রায় তারের রোধ R_0 বের করতে হবে।

আমরা জানি,

$R_1 = R_0 (1 + \alpha\theta_1)$

বা, $R_0 = \dfrac{R_1}{1 + \alpha\theta_1} = \dfrac{65\ \Omega}{1 + 4.5 \times 10^{-3}°C^{-1} \times 25°C}$

$= 58.43\ \Omega$

এখানে,
25°C তাপমাত্রায় রোধ, $R_1 = 65\ \Omega$
তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\theta_1 = 25°C$
রোধের উষ্ণতা সহগ, $\alpha = 4.5 \times 10^{-3}°C^{-1}$
তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\theta_2 = 200°C$
200°C তাপমাত্রায় রোধ, $R_2 = ?$

আবার, $R_2 = R_0 (1 + \alpha\theta_2)$

$= 58.43\ \Omega\ (1 + 4.5 \times 10^{-3}{}^\circ C^{-1} \times 200^\circ C)$

$= 111.0\ \Omega$

উ: $111.0\ \Omega$

৩.২। জুলের তাপীয় ক্রিয়া (Joule's Heating Effect)

নিজে কর : একটি শুষ্ককোষ এবং এক টুকরা তার নাও। তারের দুই প্রান্ত শুষ্ক কোষের দুই প্রান্তে কিছুক্ষণ চেপে ধর। এবার হাত দিয়ে তারটি স্পর্শ কর। কী অনুভব করলে?

দেখা যায়, তারটি একটু উত্তপ্ত হয়েছে। এখানে তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের ফলে তারে তাপের উদ্ভব ঘটেছে।

কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকলে এর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। পরিবাহীর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তির কিছু অংশ পরিবাহীর রোধ অতিক্রম করার কাজে ব্যয়িত হয়। এই ব্যয়িত শক্তি পরিবাহীতে তাপ শক্তিরূপে প্রকাশ পায় এবং এর ফলে পরিবাহী উত্তপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে **তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া** বলা হয়। আমরা দৈনন্দিন জীবনে অহরহ তড়িৎ প্রবাহের এই তাপীয় ক্রিয়াকে কাজে লাগাই। বৈদ্যুতিক হিটার বা চুলা, কেতলি, ইস্ত্রি, বৈদ্যুতিক বাতি, ফিউজ, ফার্নেস প্রভৃতি সবই তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার ব্যবহারিক রূপ। বিজ্ঞানী **জেম্স প্রেসকট জুল** তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া আবিষ্কার করেন বলে একে **জুলের তাপীয় ক্রিয়াও** বলা হয়।

তড়িৎ প্রবাহের ফলে তড়িৎ বর্তনীতে যে তাপের উদ্ভব হয় তার কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। তড়িৎ পরিবাহীতে বেশ কিছু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহীর দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো আন্তঃআণবিক স্থানের মধ্যদিয়ে পরিবাহীর নিম্ন বিভব বিশিষ্ট বিন্দু থেকে উচ্চ বিভববিশিষ্ট বিন্দুর দিকে চলতে থাকে, ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই ইলেকট্রনগুলো চলার সময় পরিবাহীর পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং ইলেকট্রনের গতিশক্তি পরমাণুতে সঞ্চালিত হয় এবং পরমাণুর গতিশক্তি আরো বৃদ্ধি পায়। এই বর্ধিত গতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হয় এবং পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এ জন্য তড়িৎ প্রবাহের ফলে বর্তনীতে তাপের উদ্ভব হয়।

৩.৩। জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র (Joule's Laws for Heating Effect)

পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ এবং প্রবাহের সাথে এর সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য জুল সর্বপ্রথম পরীক্ষা নিরীক্ষা চালান এবং এ সম্পর্কে তিনটি সূত্র উপস্থাপন করেন। এগুলোকে জুলের সূত্র বলা হয়।

প্রথম সূত্র–তড়িৎ প্রবাহের সূত্র : ***পরিবাহীর রোধ (R) এবং প্রবাহকাল (t) অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহের (I) বর্গের সমানুপাতিক হয়।***

অর্থাৎ $H \propto I^2$, যখন R ও t ধ্রুব।

এ সূত্রানুসারে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীতে নির্দিষ্ট সময় ধরে কোনো প্রবাহ চালালে যে তাপ উৎপন্ন হয়, তার দ্বিগুণ প্রবাহ সমান সময় ধরে চালালে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ চার গুণ হবে, প্রবাহ তিন গুণ করলে তাপের পরিমাণ নয় গুণ হবে।

কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে I_1, I_2, I_3 ... ... প্রবাহ সমান সময় ধরে চালালে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে, H_1, H_2, H_3 ... . হলে, এই সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{I_1^2} = \frac{H_2}{I_2^2} = \frac{H_3}{I_3^2} = \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots = \text{ধ্রুব।}$$

দ্বিতীয় সূত্র–রোধের সূত্র : *প্রবাহ (I) এবং প্রবাহকাল (t) অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) পরিবাহীর রোধের (R) সমানুপাতিক হয়।*

অর্থাৎ $H \propto R$, যখন I ও t ধ্রুব।

এই সূত্রানুসারে ভিন্ন ভিন্ন রোধের পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই পরিমাণ প্রবাহ একই সময় ধরে চালালে, রোধ দ্বিগুণ হলে উদ্ভূত তাপ দ্বিগুণ হবে, রোধ অর্ধেক হলে উদ্ভূত তাপ অর্ধেক হবে।

একই পরিমাণ প্রবাহ একই সময় ধরে R_1, R_2, R_3 ... ... রোধের ভেতর দিয়ে চালালে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3 ... ... হলে, এই সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{R_1} = \frac{H_2}{R_2} = \frac{H_3}{R_3} = \ldots \ \ldots \ \ldots = \text{ধ্রুব।}$$

তৃতীয় সূত্র–সময়ের সূত্র : *প্রবাহ (I) এবং পরিবাহীর রোধ (R) অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহকালের (t) সমানুপাতিক হয়।*

অর্থাৎ $H \propto t$, যখন I ও R ধ্রুব।

এই সূত্রানুসারে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই পরিমাণ প্রবাহ বিভিন্ন সময় ধরে চালালে, প্রবাহকাল দ্বিগুণ হলে উদ্ভূত তাপ দ্বিগুণ হবে, প্রবাহকাল অর্ধেক হলে উদ্ভূত তাপ অর্ধেক হবে।

কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই পরিমাণ প্রবাহ t_1, t_2, t_3 ... ... সময় ধরে চালালে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3 ... ... হলে, এই সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{t_1} = \frac{H_2}{t_2} = \frac{H_3}{t_3} = \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots = \text{ধ্রুব।}$$

জুলের সূত্র তিনটিকে একত্রে লেখা যায়,

$$H \propto I^2 R t$$

বা, $H = K I^2 R t$

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুব। প্রবাহ I-কে অ্যাম্পিয়ারে (A), রোধ R-কে ও'মে (Ω), সময় t-কে সেকেন্ডে (s) এবং তাপ H-কে জুলে (J) প্রকাশ করলে, এই ধ্রুব সংখ্যা K-এর মান 1 হয়।

$$\therefore \quad H = I^2 Rt \text{ জুল} \qquad (3.2)$$

৩.৪। তাপের যান্ত্রিক সমতা, *J* (Mechanical Equivalent of Heat, *J*)

তাপের সাবেক একক : ক্যালরি

আমরা জানি, তাপ শক্তির একটি রূপ এবং তাপের একক জুল। এককের আন্তর্জাতিক পদ্ধতি অর্থাৎ এস. আই একক চালু হওয়ার আগে তাপের বিভিন্ন এককের প্রচলন ছিল, যার মধ্যে ছিল ব্রিটিশ তাপীয় একক এবং ক্যালরি (cal)। ক্যালরি এককটি বহুল প্রচলিত ছিল। বিশ্বজুড়ে এস. আই পদ্ধতি চালু হওয়ায় এর ঐতিহাসিক গুরুত্ব ছাড়া কোনো বৈজ্ঞানিক গুরুত্ব নেই। যদিও এখনও দৈনন্দিন জীবনে বিশেষ করে স্বাস্থ্য, খাদ্য ও পুষ্টিবিজ্ঞান সম্পর্কিত বিভিন্ন জনপ্রিয় ও সুখপাঠ্য লেখায় ক্যালরির ব্যবহার দেখা যায়।

এক গ্রাম (1g) বিশুদ্ধ পানির তাপমাত্রা এক ডিগ্রি সেলসিয়াস (1°C) বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে এক ক্যালরি (1 cal) বলে।

আমরা জানি, গৃহীত বা বর্জিত তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার পার্থক্য

বা, $H = ms\Delta\theta$

এখন ভর m কে গ্রামে (g), আপেক্ষিক তাপ s কে $\frac{\text{ক্যালরি}}{\text{গ্রাম} \times {}^\circ\text{সে}}$ (cal g^{-1} $°C^{-1}$) এবং $\Delta\theta$ কে ডিগ্রি সেলসিয়াসে (°C) প্রকাশ করলে তাপ H ক্যালরিতে (cal) পাওয়া যাবে।

$$H = ms\Delta\theta \text{ cal} \qquad (3.3)$$

ক্যালরি ও জুলের সম্পর্ক : তাপের যান্ত্রিক সমতা J

আমরা জানি, তাপ এক প্রকার শক্তি। অন্যান্য শক্তিকে যেমন তাপশক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়, তেমনি তাপশক্তিকেও অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে শক্তির একক একটিই জুল এবং তাপের এককও জুল। কিন্তু আগে যখন তাপের একটি একক হিসেবে ক্যালরি প্রচলিত ছিল তখন হিসাব নিকাশের জন্য জুলকে ক্যালরিতে বা ক্যালরিকে জুলে রূপান্তরের প্রয়োজন হতো। এর জন্য ক্যালরি ও জুলের মধ্যে একটি সম্পর্ক স্থাপনের প্রয়োজন ছিল। তাপের যান্ত্রিক সমতা এর মাধ্যমে এ সম্পর্ক স্থাপন করা হয়েছিল। তখন কাজ বা যান্ত্রিক শক্তিকে 'জুল' এবং তাপশক্তিকে 'ক্যালরি' এককে পরিমাপ করা হতো। W জুল কাজ সম্পন্ন করলে যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হতো বা H ক্যালরি তাপ প্রয়োগে যদি W জুল পরিমাণ কাজ পাওয়া যেত তাহলে শক্তির নিত্যতা তথা সংরক্ষণ সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$H \text{ ক্যালরি} = W \text{ জুল}$$

$$\text{বা, } 1 \text{ ক্যালরি} = \frac{W}{H} \text{ জুল।}$$

এই $\frac{W}{H}$ অর্থাৎ কাজ ও তাপের অনুপাতকে বলা হয় তাপের যান্ত্রিক সমতা। বিজ্ঞানী জুল সর্বপ্রথম পরীক্ষার মাধ্যমে এই সম্পর্ক স্থাপন করেন অর্থাৎ $\frac{W}{H}$ -এর মান নির্ণয় করেন। এজন্য এই অনুপাত অর্থাৎ তাপের যান্ত্রিক সমতাকে J দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore\ J = \frac{W}{H} \qquad (3.4)$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায়,

$H = 1$ একক হলে $J = W$ হয়।

তাপের যান্ত্রিক সমতা J -কে তাই নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা হয় :

একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বলে।

বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে কাজ বা ব্যয়িত শক্তি W-কে জুলে পরিমাপ করে এবং উৎপাদিত তাপ H-কে ক্যালরিতে পরিমাপ করে (3.4) সমীকরণে মান বসিয়ে J-এর মান পাওয়া গেছে,

$$J = 4.2 \frac{\text{জুল}}{\text{ক্যালরি}}$$

অর্থাৎ 1 ক্যালরি তাপ দ্বারা 4.2 জুল কাজ করা যায়, বা 1 ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করতে 4.2 জুল কাজ করতে হয়। অর্থাৎ 1 ক্যালরি এবং 4.2 জুল পরস্পর সমান।

সুতরাং 1 ক্যালরি = 4.2 জুল।

৩.৫। তড়িৎ কোষ (Electric Cells)

যে যন্ত্রের সাহায্যে রাসায়নিক শক্তি থেকে নিরবচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে তড়িৎ কোষ বলে।

কোনো কোনো কোষ বিভিন্ন বস্তুর রাসায়নিক ক্রিয়ার সাহায্যে সরাসরি তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। যেমন-লেকল্যান্স কোষ, শুষ্ক কোষ ইত্যাদি।

কোনো কোনো কোষ বাইরে থেকে পাঠানো তড়িৎ প্রবাহ রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে রাখে এবং পরে সেই রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে। যেমন-সীসা এসিড সঞ্চয়ক কোষ।

কোষের তড়িচ্চালক শক্তি (Electromotive Force or e.m.f. of Cell)

তড়িচ্চালক শক্তি হয় কোনো কোষের বা কোনো তড়িৎ উৎসের। কোনো কোষের কাজ হচ্ছে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা অর্থাৎ কোষের সংযোগকারী বর্তনীর ভেতর দিয়ে আধান চালনার জন্য প্রয়োজনীয় তড়িৎ শক্তি সরবরাহ করা। তড়িচ্চালক শক্তি দ্বারা কোষের বা তড়িৎ উৎসের এই তড়িৎ শক্তির পরিমাপ পাওয়া যায়।

প্রতি একক আধানকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে আনতে যে কাজ সম্পন্ন হয় অর্থাৎ কোষ যে তড়িৎ শক্তি সরবরাহ করে তাকে ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

q আধানকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে পুনরায় ঐ বিন্দুতে আনতে যদি W কাজ সম্পন্ন হয়, তাহলে কোষের তড়িচ্চালক শক্তি,

$$E = \frac{W}{q} \qquad (3.5)$$

মুক্ত অবস্থায় অর্থাৎ যখন তড়িৎ প্রবাহ চলে না তখন কোষের দুই পাতের যে বিভব পার্থক্য হয় তার দ্বারা কোষের তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা হয়। যখন কোষটি তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তখন এর দুই পাতের বিভব পার্থক্য কোষের তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হয়।

একক : যেহেতু, তড়িচ্চালক শক্তি হচ্ছে $\frac{\text{কাজ}}{\text{আধান}}$,তাই কাজের একককে আধানের একক দিয়ে ভাগ করলে তড়িচ্চালক শক্তির একক পাওয়া যায়। সুতরাং তড়িচ্চালক শক্তির একক হচ্ছে $\frac{\text{জুল (J)}}{\text{কুলম্ব (C)}}$ বা JC^{-1} অর্থাৎ ভোল্ট (V)। দেখা যাচ্ছে, তড়িচ্চালক শক্তি ও বিভব পার্থক্যের একক একই অর্থাৎ ভোল্ট (V)।

একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V বলতে বোঝায় 1 C আধানকে ঐ কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে একবার সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে পুনরায় ঐ বিন্দুতে আনতে 1.5 J কাজ সম্পন্ন হয়।

কোনো কোষের দুই প্রান্ত একটি পরিবাহী তার দিয়ে যুক্ত করলে পরিবাহীর মুক্ত ইলেকট্রনগুলো প্রবাহিত হয়ে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। ইলেকট্রনগুলো যে গড় বেগে প্রবাহিত হয় তাকে **সঞ্চরণ বেগ** বা **তাড়ন বেগ** v বলে। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ I হলে,

$$I = nAve \quad \ldots \qquad (3.6)$$

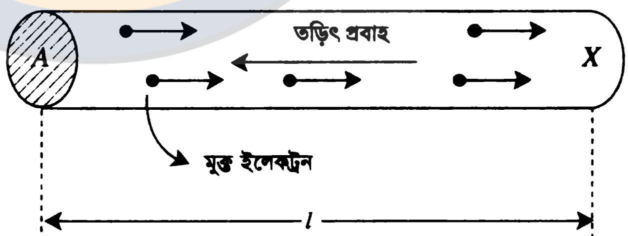
এখানে, n = পরিবাহীর প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা

A = পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল

e = প্রত্যেক ইলেকট্রনের আধানের পরিমাণ।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড

$I = nAve$ প্রতিপাদন কর



চিত্র : ৩.১

একটি ধাতব পরিবাহকের খানিকটা অংশ বিবেচনা করা যাক, যার মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৩·১]।

ধরা যাক,

I = পরিবাহকের মধ্যে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ।

l = পরিবাহকের বিবেচিত অংশের দৈর্ঘ্য।

A = পরিবাহকটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

n = প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা।

e = প্রত্যেক ইলেকট্রনে আধানের পরিমাণ।

v = ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ (drift velocity)।

৩.১ চিত্র থেকে দেখা যায় যে,

পরিবাহকটির বিবেচিত অংশের আয়তন $= lA$

$\therefore$ পরিবাহকের এই অংশে মোট মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $= nlA$

$\therefore$ মুক্ত ইলেকট্রনের মোট আধান, $q = nlAe$

সমস্ত মুক্ত ইলেকট্রনের যদি পরিবাহকের X পৃষ্ঠ অতিক্রম করতে t সেকেন্ড সময় লাগে, তাহলে $t = \frac{l}{v}$

সুতরাং X পৃষ্ঠের মধ্যদিয়ে আধান প্রবাহের হার অর্থাৎ পরিবাহকের মধ্যদিয়ে তড়িৎপ্রবাহ,

$$I = \frac{q}{t}$$

$$= \frac{nlAe}{l/v}$$

$$\therefore I = nAve$$

প্রবাহ ঘনত্ব

সংজ্ঞা : ***কোনো পরিবাহকের প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহকে প্রবাহ ঘনত্ব বলে।***

কোনো পরিবাহকের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A হলে এবং তার মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I হলে, প্রবাহ ঘনত্ব j হবে,

$$j = \frac{I}{A}$$

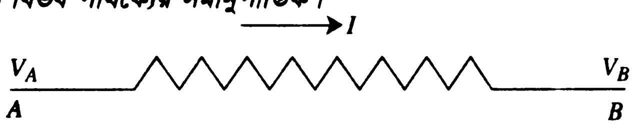
কিন্তু $I = nAve$

$$\therefore\ j = \frac{nAve}{A} = nve$$

ও'মের সূত্র
Ohm's Law

কোনো পরিবাহকের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকলে তার মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলে। এ প্রবাহের পরিমাণ নির্ভর করে পরিবাহকের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, পরিবাহকের আকৃতি ও উপাদান এবং পরিবাহকের তাপমাত্রার উপর। একটি নির্দিষ্ট পরিবাহকের তাপমাত্রা স্থির থাকলে তার মধ্যদিয়ে যে প্রবাহ চলে তা শুধু এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের উপর নির্ভর করে। এ সম্পর্কে জর্জ সাইমন ও'ম (1786 – 1854) একটি সূত্র প্রণয়ন করেন যা ও'মের সূত্র নামে পরিচিত।

সূত্রের বিবৃতি : ***তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহকের মধ্যদিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহ চলে তা পরিবাহকের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।***



চিত্র ঃ ৩.২

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, AB একটি পরিবাহক, এর দুই প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B [চিত্র ৩·২] । যদি $V_A > V_B$ হয় তাহলে পরিবাহকের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য হবে, $V = V_A - V_B$ এবং A থেকে B বিন্দুর দিকে তড়িৎ প্রবাহ চলবে। এখন স্থির তাপমাত্রায় পরিবাহকের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

$$I \propto V$$

বা, $I = GV$ (3.7)

pdfcorner.com

এখানে G একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক, একে পরিবাহকের তড়িৎ পরিবাহিতা বলে। G এর বিপরীত রাশি

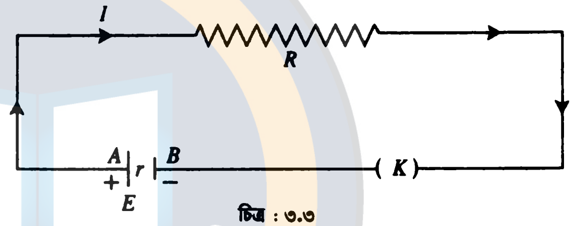
$R = \frac{1}{G}$ উপরিউক্ত সমীকরণে বসালে আমরা পাই,

$$I = \frac{V}{R} \qquad (3.8)$$

এ ধ্রুব সংখ্যা R-কে পরিবাহকের রোধ বলে। এটি পরিবাহকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, উপাদান ও তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ : তড়িৎ কোষযুক্ত কোনো বর্তনীতে যখন প্রবাহ চলে তখন এই প্রবাহ কোষের ভেতরে তরল বা অন্যান্য পদার্থের মধ্য দিয়েও প্রবাহিত হয়। কোষের ভেতর তড়িৎ প্রবাহের দিক কোষের ঋণাত্মক পাত থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে। এই পাতদ্বয়ের মধ্যকার বিভিন্ন পদার্থ তড়িৎ প্রবাহের বিরুদ্ধে যে বাধার সৃষ্টি করে তাকে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে। প্রত্যেক তড়িৎ উৎসের অর্থাৎ যার তড়িচ্চালক শক্তি থাকে তার একটি নিজস্ব রোধ থাকেই। একেই অভ্যন্তরীণ রোধ বলা হয়। একে সাধারণত r দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

তড়িচ্চালক শক্তি ও অভ্যন্তরীণ রোধের মধ্যে সম্পর্ক
Relationship between E.M.F and Internal Resistance



চিত্র : ৩.৩

যে বর্তনীতে সর্বত্র একই প্রবাহ চলে তাকে সরল বর্তনী বলে। E তড়িচ্চালক শক্তি ও r অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের সাথে R রোধের রোধক চাবি K এর সাহায্যে যুক্ত করে বর্তনী পূর্ণ করা হলো [চিত্র ৩.৩]। চাবি বন্ধ করলে প্রবাহ চলে। ধরা যাক, এই প্রবাহের মান I। কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E ভোল্ট এর মানে 1 C আধানকে পূর্ণ বর্তনীতে A বিন্দু থেকে রোধক R-এর মধ্যদিয়ে চালনা করে পুনরায় A-তে আনতে কোষ E জুল শক্তি সরবরাহ করে। এই E শক্তির এক অংশ V ব্যয় হয় 1 কুলম্ব আধানকে R-এর মধ্যদিয়ে A বিন্দু থেকে B বিন্দুতে চালনা করতে এবং বাকি অংশ V' ব্যয়িত হয় অভ্যন্তরীণ রোধ r এর মধ্য দিয়ে B থেকে A-তে আধান চালনা করতে। সুতরাং শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$E = V + V' \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.9)$$

কিন্তু V হলো A ও B অর্থাৎ R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য এবং V' হলো অভ্যন্তরীণ রোধ r- এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য। ও'মের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই,

$V = IR$ এবং $V' = Ir$

$$\therefore\ E = IR + Ir \qquad (3.10)$$

বা, $I(R + r) = E$

$$\therefore\ I = \frac{E}{R + r} \qquad \ldots \qquad (3.11)$$

(3.9) এবং (3.10) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, তড়িচ্চালক শক্তি E-এর একটি অংশ $V' = Ir$ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে ব্যবহৃত হয় এবং বাকি অংশ $V = IR = E - Ir$ ব্যবহৃত হয় বাইরের রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে। বাইরের কাজের জন্য কোষের ক্রিয়া থেকে প্রাপ্ত এই $V = IR$ অংশকে কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য বা প্রাপ্ত ভোল্ট বলে। যখন তড়িৎ প্রবাহ চলে তখন কোষের এই প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য তড়িচ্চালক শক্তি E-এর চেয়ে Ir পরিমাণ কম হয়।

কোষের তড়িচ্চালক শক্তির অংশ $V' = Ir = E - IR$ যা কোষের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে ব্যয়িত হয় তাকে অনেক সময় অভ্যন্তরীণ বিভব পতন বা হারানো ভোল্ট বা নষ্ট ভোল্ট বলে। কেননা তড়িৎ প্রবাহ

চলাকালীন ভোল্টমিটারের সাহায্যে কোনো কোষের দুই পাতের বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা হলে মুক্ত অবস্থার বিভব পার্থক্যের চেয়ে এই পরিমাণ বিভব পার্থক্য কম পাওয়া যায়।

$\therefore E = IR$ (প্রান্তীয় ভোল্টেজ) $+ Ir$ (অভ্যন্তরীণ বিভব পতন)

নিজে কর : একটি ভোল্টমিটার ও একটি শুষ্ক কোষ নাও। এবার ভোল্টমিটারের দুই প্রান্ত কোষের দুই প্রান্তে চেপে ধর। ভোল্টমিটারের পাঠ লক্ষ্য কর।

এবার কোষের সাথে শ্রেণি সমন্বয়ে একটি চাবি ও একটি রোধক যুক্ত কর। চাবি বন্ধ করে তড়িৎ প্রবাহ চালনা কর। ভোল্টমিটারের দুই প্রান্ত কোষের দুই প্রান্তে চেপে ধর। ভোল্টমিটারের পাঠ লক্ষ্য কর। কী দেখলে?

প্রথম ক্ষেত্রে ভোল্টমিটারে যে পাঠ পাওয়া যায় তা' কোষের তড়িচ্চালক শক্তি। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ভোল্টমিটারে যে পাঠ পাওয়া যায় তা' রোধকের দুই প্রান্তের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য। এই পাঠ পূর্বোক্ত পাঠের চেয়ে কম। দুই পাঠের পার্থক্যই হচ্ছে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের জন্য অভ্যন্তরীণ বিভব পতন।

৩·৬। কোষের সমন্বয় (Combination of Cells)

শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একাধিক কোষ একত্রে ব্যবহার করাকে কোষের সমন্বয় বলে।

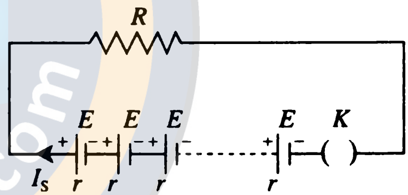
কোষের সমন্বয়কে অনেক সময় সমবায়, সন্নিবেশ বা সমাবেশও বলে। একাধিক কোষ এক সাথে ব্যবহার করলে তাকে ব্যাটারিও বলা হয়। কোষের সমন্বয় দুই প্রকার হয়ে থাকে।

১. শ্রেণি সমন্বয় (Series combination)

২. সমান্তরাল সমন্বয় (Parallel combination)

১. শ্রেণি সমন্বয় (Series combination) :

কতগুলো তড়িৎ কোষ যদি পর পর এমনভাবে সাজানো থাকে যে, প্রথম কোষের ঋণাত্মক পাতের সাথে দ্বিতীয় কোষের ধনাত্মক পাত, দ্বিতীয় কোষের ঋণাত্মক পাতের সাথে তৃতীয় কোষের ধনাত্মক পাত এবং বাকিগুলো এরূপে সংযুক্ত থাকে তাকে শ্রেণি সমন্বয় বলে।



চিত্র ঃ ৩.৪

প্রবাহ নির্ণয় : ধরা যাক, R মানের বাইরের রোধের সাথে n সংখ্যক তড়িৎ কোষ শ্রেণি সমন্বয়ের যুক্ত আছে [চিত্র ৩·৪]। আরো ধরা যাক, প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। সমন্বয়ের মোট তড়িচ্চালক শক্তি E_s এবং তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ r_s হলে বর্তনীর প্রবাহ I_s হবে, ও'মের সূত্রানুসারে $I_s = \dfrac{E_s}{R + r_s}$

কিন্তু কোষগুলো শ্রেণি সমন্বয়ে থাকায় মোট তড়িচ্চালক শক্তি হবে $E_s = E + E + \ldots$ n সংখ্যক পদ $= nE$ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ হবে $r_s = r + r + \ldots$ n সংখ্যক পদ $= nr$

$$\therefore I_s = \frac{nE}{R + nr} \qquad (3.12)$$

বি: দ্র: (১) যদি বাইরের রোধ R মোট অভ্যন্তরীণ রোধ nr এর তুলনায় অনেক বড় হয়, ($R >> r$) তাহলে (3.12) সমীকরণ অনুসারে (nr-কে উপেক্ষা করে) $I_s = \dfrac{nE}{R}$ **অর্থাৎ প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের n গুণ হয়।**

(২) যদি nr-এর তুলনায় R খুব ছোট ($R << r$) হয় তাহলে (R-কে উপেক্ষা করে) $I_s = \dfrac{E}{r}$ হয়, **অর্থাৎ প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের সমান হয়।** এ সমবায় থেকে কোনো বিশেষ সুবিধা পাওয়া যায় না।

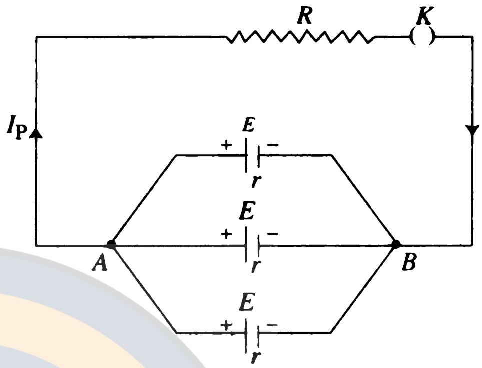
সুতরাং যখন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ r-এর তুলনায় বাইরের রোধ R অনেক বড় হয় তখন শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য কোষের শ্রেণি সমন্বয় ব্যবহার করা হয়।

২. সমান্তরাল সমন্বয় (Parallel combination) :

কতগুলো কোষ যদি এমনভাবে সাজানো থাকে যে, তাদের ধনাত্মক পাতগুলো একটি সাধারণ বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো অপর একটি সাধারণ বিন্দুতে সংযুক্ত থাকে তখন তাকে কোষের সমান্তরাল সমন্বয় বলে।

প্রবাহ নির্ণয় : ধরা যাক, সমান্তরাল সমন্বয়ে m সংখ্যক কোষ আছে যাদের প্রত্যেকের তড়িচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। এ সমন্বয়ের সাথে R মানের বাইরের রোধ সংযুক্ত আছে [চিত্র ৩·৫]। সমন্বয়ের মোট তড়িচ্চালক শক্তি E_p এবং তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ r_p হলে বর্তনীর প্রবাহ I_p হবে, ও'মের সূত্রানুসারে,

$$I_p = \frac{E_p}{R + r_p}$$



চিত্র ঃ ৩.৫

কিন্তু সমান তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট কোষগুলো সমান্তরালে আছে বলে সমন্বয়ের কোষগুলোর মোট তড়িচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান।

অর্থাৎ $E_p = E$। আর কোষগুলো সমান্তরাল আছে বলে তাদের অভ্যন্তরীণ রোধগুলোও সমান্তরালে সজ্জিত,

সুতরাং $\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots$ m সংখ্যক পদ

$$= \frac{m}{r} \quad \therefore \; r_p = \frac{r}{m} \qquad \therefore \; I_p = \frac{E}{R + \frac{r}{m}}$$

বা, $$I_p = \frac{mE}{mR + r} \qquad (3.13)$$

বি: দ্র: (i) যদি $R << r$ হয় তবে r-এর তুলনায় mR-কে উপেক্ষা করে $I_p = \frac{mE}{r}$ অর্থাৎ **তড়িৎ প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের m গুণ হয়।**

(ii) যদি $R >> r$ হয় হবে mR-এর তুলনায় r-কে উপেক্ষা করে $I_p = \frac{mE}{mR} = \frac{E}{R}$ অর্থাৎ **প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের সমান হয়।**

সুতরাং **যখন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ r-এর তুলনায় বাইরের রোধ R ছোট হয় তখন শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য সমান্তরাল সমন্বয় ব্যবহার করা হয়।**

দলীয় কার্যক্রম : তোমার অন্য তিনজন সহপাঠীকে নিয়ে একটি দল গঠন করে শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় নিচের কার্যক্রমটি পরিচালনা কর। প্রতিটি 1.5 V এর তিনটি শুষ্ক কোষ নাও। যে কোনো একটি কোষের সাথে শ্রেণি সমন্বয়ে একটি অ্যামিটার, একটি চাবি ও বেশ বড় মানের একটি রোধক সংযুক্ত কর।

চাবি বন্ধ করে অ্যামিটারের পাঠ লক্ষ কর।

এবার কোষগুলোকে শ্রেণি সমন্বয়ে সাজিয়ে পুনরায় অ্যামিটার পাঠ লক্ষ্য কর।

এরপর কোষগুলোকে সমান্তরালে সমন্বয়ে সাজাও এবং অ্যামিটারের পাঠ লক্ষ্য কর।

অ্যামিটারের প্রথম পাঠ একটি কোষের প্রবাহের মান নির্দেশ করে। অ্যামিটারের দ্বিতীয় পাঠ অর্থাৎ শ্রেণি সমন্বয়ের ক্ষেত্রে পাঠ প্রথম পাঠের প্রায় তিনগুণ হবে। কারণ n সংখ্যক রোধক শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে এবং বাইরের রোধ অভ্যন্তরীণ রোধের তুলনায় অনেক বড় হলে মোট প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের n গুণ হবে। অ্যামিটারের তৃতীয় পাঠ অর্থাৎ সমান্তরাল সমন্বয়ের ক্ষেত্রে পাঠ প্রথম পাঠের প্রায় সমান হবে। কারণ n সংখ্যক কোষ সমান্তরালে সংযুক্ত করলে এবং বাইরের রোধ যদি অভ্যন্তরীণ রোধের তুলনায় অনেক বড় হয় তাহলে মোট প্রবাহ যে কোনো একটি কোষের প্রবাহের সমান হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৩। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 2 Ω। এর প্রান্তদ্বয় 10 Ω রোধের তার দ্বারা যুক্ত করলে কত তড়িৎ প্রবাহিত হবে বের কর।

আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R+r}$$

$$= \frac{1.5\text{V}}{10\ \Omega + 2\ \Omega} = \left(\frac{1.5}{12}\right) \text{A}$$

$$= 0.125\ \text{A}$$

উ: 0.125 A.

এখানে,
তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 1.5$ V
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 2\ \Omega$
বাইরের রোধ, $R = 10\ \Omega$
তড়িৎ প্রবাহ, $I = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৪। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V। এতে যখন 4 A তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন এর বিভব পার্থক্য 1.4 V হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত?

বর্তনীর বাইরের রোধ R হলে, আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R+r}$$

বা, $E = IR + Ir$

কিন্তু, $V = IR$ $\quad \therefore E = V + Ir$

বা, $Ir = E - V$ $\quad \therefore r = \dfrac{E-V}{I}$

$$= \frac{1.5V - 1.4V}{4\ \text{A}} = 0.025\ \Omega$$

উ: 0.025Ω

এখানে,
তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 1.5$ V
তড়িৎ প্রবাহ, $I = 4$ A
বিভব পার্থক্য, $V = 1.4$ V
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৫। 4 V তড়িচ্চালক শক্তি ও 3Ω অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি কোষের প্রান্তদ্বয় সমান্তরালভাবে সংযুক্ত 20Ω এবং 30 Ω রোধের ছোট তার দ্বারা যুক্ত। কোষের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ নির্ণয় কর।

সমান্তরালে যুক্ত তারদ্বয়ের তুল্য রোধ R_p হলে,

আমরা জানি, $I = \dfrac{E}{R_p + r}$

তারদ্বয় সমান্তরালে যুক্ত, অতএব

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20\ \Omega} + \frac{1}{30\ \Omega} = \frac{3+2}{60\ \Omega}$$

$$\therefore R_p = \frac{60\ \Omega}{5} = 12\ \Omega$$

$$\therefore I = \frac{4\ \text{V}}{12\ \Omega + 3\ \Omega} = \frac{4}{15}\ \text{A} = 0.267\ \text{A}$$

উ: 0.267 A.

এখানে,
কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 4$ V
কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 3\ \Omega$
একটি তারের রোধ, $R_1 = 20\ \Omega$
অপর তারের রোধ, $R_2 = 30\ \Omega$
মূল প্রবাহ, $I = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৬। শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত দুটি 4 Ω ও 6 Ω রোধের সাথে 2.2 V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সংযুক্ত করা হলো। প্রত্যেক রোধের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

তারদ্বয় শ্রেণিবদ্ধভাবে থাকায় এদের মধ্য দিয়ে একই প্রবাহ চলবে, এই প্রবাহ I হলে আমরা জানি,

$V_1 = IR_1$ এবং $V_2 = IR_2$

এখানে,
প্রথম রোধ, $R_1 = 4\ \Omega$
দ্বিতীয় রোধ, $R_2 = 6\ \Omega$

তারদ্বয়ের তুল্যরোধ R হলে, $I = \frac{E}{R+r}$

কিন্তু তারদ্বয় শ্রেণি-সমবায়ে থাকায়

$R = R_1 + R_2 = 4\ \Omega + 6\ \Omega = 10\ \Omega$

$\therefore I = \frac{2.2\ V}{10\ \Omega + 1\Omega} = \frac{2.2\ V}{11\Omega} = 0.2\ A$

$\therefore V_1 = IR_1 = 0.2A \times 4\Omega = 0.8\ V$

$V_2 = IR_2 = 0.2A \times 6\Omega = 1.2\ V$

উ: 0.8V, 1.2 V

কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 2.2\ V$

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 1\ \Omega$

প্রথম রোধের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য, $V_1 = ?$

দ্বিতীয় রোধের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য, $V_2 = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৭। 3 Ω, 4 Ω এবং 5 Ω রোধের তিনটি রোধক একটি কোষের প্রান্তদ্বয়ের সাথে সমান্তরালভাবে যুক্ত আছে। কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.5 Ω হলে প্রত্যেক রোধকের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

রোধকগুলো সমান্তরাল সংযোগে থাকায় যে কোনো রোধকের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য হবে সংযোগের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমান। বর্তনীর মূল প্রবাহ I এবং সংযোগের তুল্যরোধ R হলে,

$V = IR$

কিন্তু রোধকগুলো সমান্তরালে থাকায়

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3\ \Omega} + \frac{1}{4\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega}$$

$$= \frac{20 + 15 + 12}{60\ \Omega} = \frac{47}{60\ \Omega}$$

$$\therefore R = \frac{60\ \Omega}{47} = 1.28\ \Omega$$

এখন, আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{1.5V}{1.28\ \Omega + 0.5\ \Omega} = 0.84\ A$$

$\therefore V = IR = 0.84\ A \times 1.28\ \Omega = 1.0752\ V$

উ: 1.0752 V

এখানে,

কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 1.5\ V$

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0.5\ \Omega$

১ম রোধ, $R_1 = 3\ \Omega$

২য় রোধ, $R_2 = 4\ \Omega$

৩য় রোধ, $R_3 = 5\ \Omega$

প্রত্যেক রোধকের বিভব পার্থক্য, $V = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৮। প্রতিটি 2 V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1.5 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের তিনটি তড়িৎ কোষ নেয়া হলো। শ্রেণি সমন্বয়ে সাজিয়ে এদের প্রান্তগুলোকে 150 Ω রোধের একটি পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করা হলে কত তড়িৎ প্রবাহ চলবে?

কোষের শ্রেণি সমন্বয়ের জন্য আমরা জানি,

$$I = \frac{nE}{R+nr} = \frac{3 \times 2V}{150\ \Omega + 3 \times 1.5\ \Omega}$$

$$= \left(\frac{6}{150 + 4.5}\right) A = 0.0388\ A$$

উ: 0.0388 A.

এখানে,

প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 2\ V$

প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 1.5\ \Omega$

কোষের সংখ্যা, $n = 3$

বাইরের রোধ, $R = 150\ \Omega$

তড়িৎ প্রবাহ, $I = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৯। 1.5 V তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট 9টি কোষকে সমান্তরালে সাজিয়ে 1 Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে 1.35 A প্রবাহ চলে। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি, কোষের সমান্তরাল সমন্বয়ের জন্য

$$I = \frac{mE}{mR + r} \quad \text{বা, } mR + r = \frac{mE}{I}$$

$$r = \frac{mE}{I} - mR = \frac{9 \times 1.5 \text{ V}}{1.35 \text{ A}} - 9 \times 1\ \Omega$$

$$= (10 - 9)\ \Omega$$

$$\therefore r = 1\ \Omega$$

উ: 1 Ω.

এখানে,
প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 1.5$ V
কোষের সংখ্যা, $m = 9$
বাইরের রোধ, $R = 1\ \Omega$
প্রবাহ, $I = 1.35$ A

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = ?$

৩.৭। কির্শফের সূত্র (Kirchhof's Laws)

সরল বর্তনীতে ও'মের সূত্র প্রয়োগ করে বর্তনীর প্রবাহ, রোধ প্রভৃতি নির্ণয় করা যায়। কিন্তু বর্তনী জটিল হলে ও'মের সূত্র তার জন্য যথেষ্ট হয় না। যে কোনো বর্তনীর প্রবাহ, রোধ ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য কির্শফের দুটি সূত্র আছে। সূত্রগুলো নিচে দেয়া হলো :

প্রথম সূত্র : ***তড়িৎ বর্তনীর কোন সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহগুলোর বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য হয়।***

অর্থাৎ, $\sum I = 0$ ... ... (3.14)

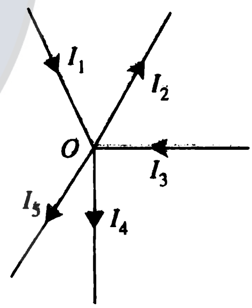
যেহেতু বর্তনীর কোনো বিন্দুতেই তড়িতাধান সঞ্চিত হয় না কাজেই যে কোনো সংযোগ বিন্দুতে আগত মোট প্রবাহ ঐ বিন্দু থেকে নির্গত মোট প্রবাহের সমান হবে।

৩.৬ চিত্রে সংযোগ বিন্দু O-তে I_1 ও I_3 প্রবেশ করছে এবং ঐ বিন্দু থেকে I_2, I_4 ও I_5 প্রবাহ নির্গত হচ্ছে। এখন আগত প্রবাহগুলোকে ধনাত্মক ও নির্গত প্রবাহগুলোকে ঋণাত্মক ধরলে কির্শফের সূত্রানুসারে,

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

$$\therefore I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

আগত প্রবাহকে ঋণাত্মক এবং নির্গত প্রবাহকে ধনাত্মক ধরলেও একই ফল পাওয়া যায়।



চিত্র : ৩.৬

দ্বিতীয় সূত্র : ***কোনো আবদ্ধ তড়িৎ বর্তনীর বিভিন্ন অংশগুলোর রোধ এবং তাদের আনুষঙ্গিক প্রবাহের গুণফলের বীজগাণিতিক সমষ্টি ঐ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান।***

অর্থাৎ $\sum IR = \sum E$ ... ... (3.15)

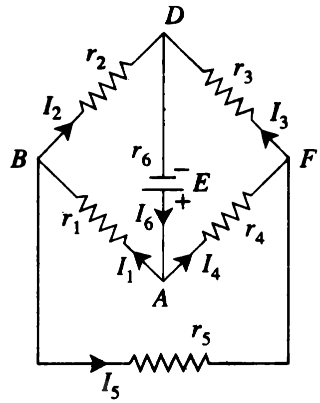
এ সূত্রানুসারে কোনো আবদ্ধ বর্তনীতে বিভিন্ন অংশে যে সকল প্রবাহ চলে ঐ সকল প্রবাহকে আনুষঙ্গিক রোধ দিয়ে গুণ করলে ঐ বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান হবে।

এই সূত্র চিত্র ৩·৭-এর মতো যে কোনো আবদ্ধ বর্তনীতে প্রয়োগ করা যায়। E তড়িচ্চালক শক্তির উৎসসহ একটি আবদ্ধ বর্তনী $ABDA$ বিবেচনা করা যাক। তীর চিহ্নের মাধ্যমে বর্তনীর স্বতন্ত্র অংশের প্রবাহের অভিমুখ দেখানো হয়েছে। বর্তনী বরাবর যেতে প্রতিটি বাহুর রোধকে যদি আমরা আনুষঙ্গিক প্রবাহ দিয়ে গুণ করি এবং সর্বশেষ সবগুলো যোগ করি তাহলে আমরা যে মান পাই তা E-এর সমান। অন্য কথায়,

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_6 r_6 = E$$

আবদ্ধ বর্তনীর (যেমন, $ABDFA$) কোনো বাহুতে যদি কোষ না থাকে তাহলে তীর চিহ্নিত পথে বর্তনী দিয়ে যেতে আমরা পাই,

$$I_1r_1 + I_2r_2 - I_3r_3 - I_4r_4 = 0$$



চিত্র : ৩.৭

এখানে চিহ্ন নেয়ার নিয়মটি স্বেচ্ছাগৃহীত। আমরা কখনো যদি তড়িৎ প্রবাহের নির্দিষ্ট দিককে নির্বাচন করি তাহলে তড়িচ্চালক শক্তি দ্বারা ঐ দিকে পাঠানো প্রবাহকে ধনাত্মক ধরা হবে এবং এর বিপরীত দিকে পাঠানো প্রবাহকে ঋণাত্মক ধরা হবে। **কোনো আবদ্ধ বর্তনীতে যদি ঘড়ির কাটার গতির অভিমুখে প্রবাহগুলোকে ধনাত্মক ধরা হয়, তাহলে ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকের প্রবাহগুলো হবে ঋণাত্মক। বিপরীতক্রমে যদি ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকের প্রবাহগুলোকে ধনাত্মক ধরলে ঘড়ির কাঁটার গতির অভিমুখে প্রবাহগুলো হবে ঋণাত্মক।**

কোনো জটিল বর্তনীতে অনেকগুলো আবদ্ধ বর্তনী থাকলে সবগুলো আবদ্ধ বর্তনীতেই প্রবাহের অভিমুখের বেলায় অবশ্যই একই নিয়ম মেনে চলতে হবে। এতে হিসাবের জটিলতা বিশেষ করে চিহ্ন বিষয়ক জটিলতা অনেক কমে যায়। কোনো আবদ্ধ বর্তনীতে যদি দুই বা ততোধিক তড়িচ্চালক শক্তির উৎস থাকে তাহলে ঐ বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক শক্তির উৎস হবে স্বতন্ত্র তড়িচ্চালক শক্তিগুলোর বীজগাণিতিক যোগফল। যোগের সময় তাদের অভিমুখ অবশ্যই বিবেচনা করতে হবে।

অর্থাৎ $\sum E = \sum Ir$

৩.৮। কির্শফের সূত্রের ব্যবহার (Uses of Kirchhof's Laws)

বর্তনীর প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয়

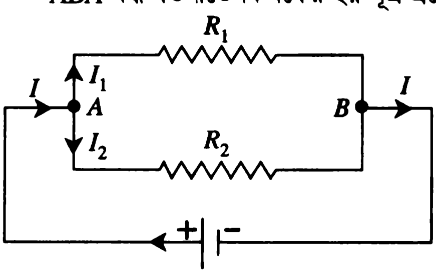
৩.৮ চিত্রে A ও B বিন্দুর মধ্যে দুটি রোধ R_1 ও R_2 সমান্তরাল সংযোগে সাজানো আছে। মূল প্রবাহ I হলে তা A বিন্দুতে এসে দুটি শাখায় বিভক্ত হয়ে R_1 ও R_2 এর মধ্যদিয়ে প্রবাহিত হয়ে পুনরায় B বিন্দুতে মিলিত হয়। ধরা যাক, R_1 ও R_2-এর মধ্যদিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান যথাক্রমে I_1 ও I_2 ।

আমরা এখন কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 এবং A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য V নির্ণয় করবো।

A বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I = I_1 + I_2 \quad \ldots \quad (3.16)$$

ABA বদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,



চিত্র : ৩.৮

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0$$

বা, $I_1 R_1 = I_2 R_2$

বা, $\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$.

উভয়পক্ষে 1 যোগ করে অর্থাৎ যোজন করে,

$$\frac{I_1 + I_2}{I_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

বা, $\frac{I}{I_1} = \frac{R_1+R_2}{R_2}$ $\quad [\because I_1 + I_2 = I]$

বা, $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$ (3.17)

অনুরূপভাবে পাওয়া যায়,

$I_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2} I$ (3.18)

আবার, A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য

$V = I_1 R_1 = I_2 R_2$ (3.19)

A ও B বিন্দুর তুল্য রোধ R_p হলে

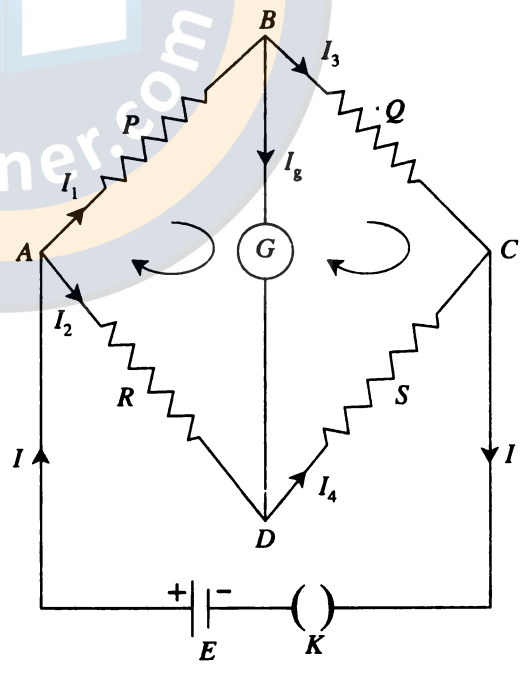
$V = IR_p$ (3.20)

রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রতিপাদন

চারটি রোধ পরপর শ্রেণিবদ্ধভাবে যদি এমনভাবে সাজানো হয় যে, প্রথমটির প্রথম প্রান্তের সাথে শেষটির শেষ প্রান্ত মিলে একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি হয় এবং যে কোনো দুটি রোধের সংযোগস্থল ও অপর দুটি রোধের সংযোগস্থলের মধ্যে একটি কোষ ও অন্য দুটি সংযোগস্থলের মাঝে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত থাকে তবে সেই বর্তনীকে হুইটস্টোন ব্রিজ বলে।

৩·৯ নং চিত্রে P, Q, S ও R এই চারটি রোধ পর পর সাজিয়ে একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি করা হয়েছে। P ও R-এর সংযোগস্থল A এবং Q ও S এর সংযোগস্থল C-এর মধ্যে চাবি K সহ একটি কোষ E যুক্ত আছে। P ও Q এর সংযোগস্থল B এবং R ও S এর সংযোগস্থল D এর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত করা আছে যার রোধ G। এটি একটি হুইটস্টোন ব্রিজ।

চাবি বন্ধ করলে কোষ E থেকে প্রবাহ I নির্গত হয়ে A বিন্দুতে এসে I_1 ও I_2 এ দু অংশে বিভক্ত হয়ে যথাক্রমে P ও R এর মধ্য দিয়ে B ও D বিন্দুতে পৌঁছে। এখন B বিন্দুর বিভব D বিন্দুর বিভবের চেয়ে বেশি হলে I_1 এর কিছু অংশ I_g গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে D বিন্দুতে এসে I_2-এর সাথে মিলে I_4 হয়ে S-এর মধ্যদিয়ে C-তে পৌঁছায়। অপরদিকে I_1 এর বাকি অংশ I_3, Q-এর মধ্যদিয়ে C-তে পৌঁছে I_4 এর সাথে মিলে মোট প্রবাহ I হয়ে E-তে ফিরে আসে। আর D বিন্দুর বিভব B বিন্দুর চেয়ে বেশি হলে I_2-এর কিছু অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে B বিন্দুতে এসে I_1-এর সাথে মিলিত হয়ে Q-এর মধ্যদিয়ে C-তে পৌঁছায় এবং I_2 এর বাকি অংশ S-এর মধ্যদিয়ে C-তে পৌঁছে মোট প্রবাহ I হয়ে E-তে ফিরে আসে।



চিত্র : ৩.৯

কিন্তু B ও D বিন্দুর বিভব সমান হলে গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে কোনো প্রবাহ চলবে না অর্থাৎ $I_g = 0$ হবে ফলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটাও বিক্ষিপ্ত হবে না। এই অবস্থাকে হুইটস্টোন ব্রিজের ভারসাম্য অবস্থা বা সাম্য অবস্থা বা নিস্পন্দ অবস্থা বলে।

৩.৭ চিত্রানুসারে B বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$I_1 - I_g - I_3 = 0$

বা, $I_1 = I_g + I_3$ (3.21)

আবার D বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$I_2 + I_g - I_4 = 0$

বা, $I_2 + I_g = I_4$ (3.22)

এখন $ABDA$ আবদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$I_1P + I_gG - I_2R = 0$ ... ... (3.23)

আবার $BCDB$ আবদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$I_3Q - I_4S - I_gG = 0$ ... (3.24)

গ্যালভানোমিটারের ভেতর দিয়ে যখন কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হয় না অর্থাৎ হুইটস্টোন ব্রিজের ভারসাম্য অবস্থায় $I_g = 0$

তখন (3.21) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $I_1 = I_3$

(3.22) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $I_2 = I_4$

এবং (3.23) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $I_1P - I_2R = 0$

বা, $\frac{I_2}{I_1} = \frac{P}{R}$ (3.25)

এবং (3.20) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $I_3Q - I_4S = 0$

বা, $\frac{I_4}{I_3} = \frac{Q}{S}$

$\because$ $I_1 = I_3$ এবং $I_2 = I_4$

$\therefore$ $\frac{I_2}{I_1} = \frac{Q}{S}$ (3.26)

এখন সমীকরণ (3.25) ও (3.26) থেকে পাওয়া যায়,

$\frac{P}{R} = \frac{Q}{S}$

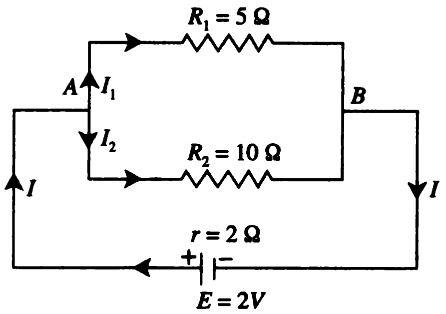
$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ (3.27)

এটিই হুইটস্টোন ব্রিজের ভারসাম্যের শর্ত। (3.27) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, P, Q, R ও S এর মধ্যে যে কোনো তিনটি রোধ জানা থাকলে চতুর্থ রোধ নির্ণয় করা যায়। হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি রোধ P, Q, R এবং S কে হুইটস্টোন ব্রিজের যথাক্রমে ১ম বাহু, ২য় বাহু, ৩য় বাহু ও ৪র্থ বাহু বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১০। 2 V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 2 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সংযোগে 5 Ω এবং 10 Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহ এবং প্রত্যেক রোধকের মধ্যে প্রবাহ বের কর।

A বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে,

$I = I_1 + I_2 \quad ... \quad (1)$



চিত্র : ৩.১০

EAR_1BE আবদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

$I \times 2 + I_1 \times 5 = 2$

বা, $2(I_1 + I_2) + 5I_1 = 2$

বা, $7I_1 + 2I_2 = 2 \quad ... \quad (2)$

AR_1BR_2A আবদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

$I_1 \times 5 - I_2 \times 10 = 0$

বা, $I_1 = 2I_2 \quad ... \quad (3)$

I_1 এর মান (2) সমীকরণে বসিয়ে

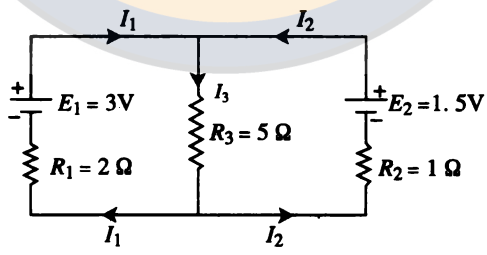
$7 \times 2I_2 + 2I_2 = 2$

বা, $16\, I_2 = 2 \quad \therefore I_2 = \frac{1}{8} = 0.125$ A এবং $I_1 = 2I_2 = 2 \times 0.125\text{A} = 0.25$ A

কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহ, $I = I_1 + I_2 = 0.375$ A

উ: 0.375 A; 0.25A এবং 0.125 A

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১১। একটি তড়িৎ বর্তনী নিচে দেয়া হলো [চিত্র ৩.১১]। এর বিভিন্ন রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে নির্ণয় কর।



চিত্র : ৩.১১

৩.১১ চিত্রের বর্তনীর বিভিন্ন বিন্দুর নাম দিয়ে ৩.১২ চিত্রে পুনরায় আঁকা হয়েছে। ৩.১২ চিত্রের B বিন্দুতে বা F বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 + I_2 = I_3 \quad ... \quad (1)$

এখন $ABFGA$ বদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_3R_3 + I_1R_1 = E_1$

বা, $I_3 \times 5\Omega + I_1 \times 2\Omega = 3$ V ... (2)

আবার, $BCDFB$ বদ্ধ বর্তনীতে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-I_2R_2 - I_3R_3 = -E_2$$

বা, $I_2R_2 + I_3R_3 = E_2$

বা, $I_2 \times 1\Omega + I_3 \times 5\Omega = 1.5 \text{ V} \quad \ldots \quad (3)$

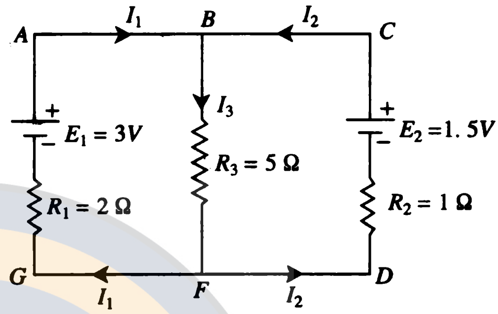
(2) এবং (3) সমীকরণে (1) সমীকরণ প্রয়োগ করে,

$$5\, I_1\, \Omega + 5 I_2\, \Omega + 2\, I_1\, \Omega = 3\text{V}$$

বা, $7I_1\, \Omega + 5I_2\, \Omega = 3\text{V} \quad \ldots \quad (4)$

এবং $I_2\, \Omega + 5I_1\, \Omega + 5\, I_2\, \Omega = 1.5 \text{ V}$

বা, $5I_1\, \Omega + 6I_2\, \Omega = 1.5 \text{ V} \quad \ldots \quad (5)$



চিত্র : ৩.১২

এখন (4) সমীকরণকে 6 দিয়ে এবং (5) সমীকরণকে 5 দিয়ে গুণ করে।

$$42\, I_1\Omega + 30I_2\Omega = 18V$$

এবং $25\, I_1\Omega + 30I_2\Omega = 7.5V$

বিয়োগ করে

$17I_1\Omega = 10.5V \;\therefore\; I_1 = 0.6176A$

এবং $I_2 = -\, 0.2647\text{A}$

সুতরাং $I_3 = I_1 + I_2 = 0.3529A$

উ: $I_1 = 0.6176\; A,\; I_2 = 0.2647\; A,\; I_3 = 0.3529\; A.$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১২। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 6, 18, 10 এবং 60 ও'মের রোধ যুক্ত আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের একটি রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে?

সাম্যাবস্থায় চতুর্থ বাহুর রোধ S হলে,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \text{বা, } S = \frac{Q}{P} R$$

$$= \frac{18\ \Omega}{6\ \Omega} \times 10\ \Omega \quad = 30\ \Omega$$

এখানে,
১ম বাহুতে রোধ, $P = 6\ \Omega$
২য় বাহুতে রোধ, $Q = 18\ \Omega$
৩য় বাহুতে রোধ, $R = 10\ \Omega$
চতুর্থ বাহুতে রোধ, $S_1 = 60\ \Omega$
চতুর্থ বাহুতে প্রয়োজনীয় অতিরিক্ত রোধ, $S_2 = ?$

এই রোধ S, চতুর্থ বাহুতে অবস্থিত S_1 এর চেয়ে ছোট। সুতরাং চতুর্থ বাহুতে সমান্তরালভাবে S_2 রোধ সংযুক্ত করতে হবে যাতে তুল্য রোধ S হয়।

$$\therefore \frac{1}{S} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}$$

বা, $\dfrac{1}{S_2} = \dfrac{1}{S} - \dfrac{1}{S_1}$

$$= \frac{1}{30\ \Omega} - \frac{1}{60\ \Omega}$$

$$= \frac{2-1}{60\ \Omega} = \frac{1}{60\ \Omega}$$

$$\therefore S_2 = 60\ \Omega$$

উ: সমান্তরালে $60\ \Omega$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১৩। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 4 Ω, 8 Ω, 12 Ω এবং 16 Ω রোধ আছে। ব্রিজটিকে সাম্যাবস্থায় রাখতে চতুর্থ বাহুতে কত মানের রোধ যুক্ত করতে হবে?

এখানে,

১ম বাহুতে রোধ, $P = 4\ \Omega$

২য় বাহুতে রোধ, $Q = 8\ \Omega$

৩য় বাহুতে রোধ, $R = 12\ \Omega$

চতুর্থ বাহুতে রোধ, $S_1 = 16\ \Omega$

চতুর্থ বাহুতে প্রয়োজনীয় অতিরিক্ত রোধ, $S_2 = ?$

সাম্যাবস্থায় চতুর্থ বাহুতে রোধ S হলে,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

বা, $S = \frac{Q}{P} R = \frac{8\ \Omega}{4\ \Omega} \times 12\ \Omega$

$= 24\ \Omega$

এই রোধ S, চতুর্থ বাহুতে অবস্থিত S_1 এর চেয়ে বড়। সুতরাং চতুর্থ বাহুতে শ্রেণিবদ্ধভাবে S_2 রোধ লাগিয়ে এই রোধের সমান করতে হবে।

: $S = S_1 + S_2$ বা, $S_2 = S - S_1 = 24\ \Omega - 16\ \Omega = 8\ \Omega$

উ: $8\ \Omega$ শ্রেণি সংযোগে

৩.৯। শান্ট (Shunt)

গ্যালভানোমিটার একটি সুবেদী যন্ত্র। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে বেশি পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলে এটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে, এর স্প্রিং ছিঁড়ে যেতে বা পুড়ে যেতে পারে। তাই গ্যালভানোমিটারকে রক্ষা করার জন্য এর সাথে সমান্তরাল সংযোগে একটি অল্পমানের রোধ সংযুক্ত করে একটি বিকল্প পথের সৃষ্টি করা হয়। সমান্তরাল সংযোগে লাগানো এই রোধকেই শান্ট বলা হয়। এর ফলে মূল প্রবাহ দু'ভাগে বিভক্ত হয়ে যায় এবং শান্টের রোধ কম হওয়ায় বেশি পরিমাণ প্রবাহ এর ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হয় এবং অল্প পরিমাণ প্রবাহ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। এতে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হওয়ার হাত থেকে রক্ষা পায়।

আবার গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে শ্রেণি সংযোগে যুক্ত করতে হয় তাই এর রোধ বর্তনীতে কার্যকর হয়, ফলে বর্তনীর প্রবাহের মান পরিবর্তিত হতে পারে। এর জন্যে গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সংযোগে একটি অল্প মানের রোধ সংযুক্ত করা হয়। ফলে যন্ত্রের তুল্য রোধ খুব কম হয়, তাই গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহ কার্যত অপরিবর্তিত থাকে।

অধিক পরিমাণ প্রবাহ গিয়ে যাতে গ্যালভানোমিটারকে নষ্ট করতে না পারে তার জন্য গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরাল সংযোগে যে অল্পমানের রোধ সংযুক্ত করা হয় তাকে শান্ট বলে।

বর্তনীর তুল্য রোধ কমানোর জন্যে বর্তনীতে অল্প মানের যে রোধ সমান্তরালে সংযুক্ত করা হয় তাকেই শান্ট বলা হয়।

দলীয় কার্যক্রম : তোমার অন্য তিনজন সহপাঠীকে নিয়ে একটি দল গঠন করে শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় নিচের কার্যক্রমটি পরিচালনা কর।

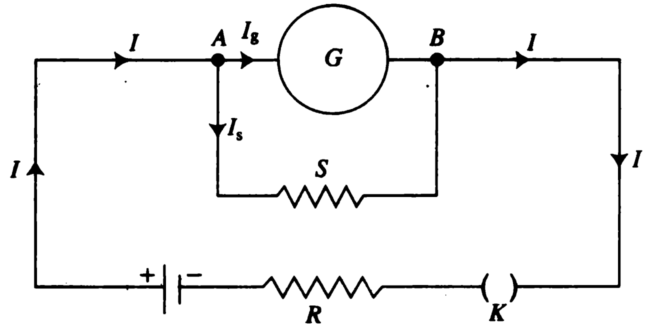
একটি গালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সংযোগে একটি কোষ, চাবি এবং একটি রোধক সংযুক্ত কর। চাবি বন্ধ করে গ্যালভানোমিটারের পাঠ লক্ষ্য কর।

এবার একটি স্বল্প রোধের তার দিয়ে গ্যালভানোমিটারের সংযোজক স্ক্রু দুটি যুক্ত করে চাবি বন্ধ কর এবং গ্যালভানোমিটারের পাঠ লক্ষ্য কর।

প্রথম ক্ষেত্রের চেয়ে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের পাঠ অনেক কম পাওয়া যাবে। কারণ গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে অল্প মানের একটি রোধ সংযুক্ত করে বিকল্প পথ তৈরি করে দেওয়ায় অধিকাংশ প্রবাহ বিকল্প পথ দিয়ে প্রবাহিত হবে। এই অল্প মানের রোধই হচ্ছে শান্ট।

গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ ও শান্টের প্রবাহের সাথে মূল প্রবাহের সম্পর্ক

ধরা যাক, গ্যালভানোমিটারের রোধ G। এর সাথে A ও B বিন্দুতে সমান্তরাল সংযোগে S মানের রোধ শান্ট হিসেবে যোগ করা হয়েছে। বর্তনীর মূল প্রবাহ I এসে A বিন্দুতে I_g ও I_s শাখায় বিভক্ত হয়ে যথাক্রমে গ্যালভানোমিটার ও শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৩·১৩]। অতএব $I = I_g + I_s$



চিত্র : ৩.১৩

A ও B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হলে আমরা জানি,

গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে, $V_A - V_B = I_g G$

এবং শান্টের ক্ষেত্রে, $V_A - V_B = I_s S$

এই দুই সমীকরণের তুলনা থেকে পাওয়া যায়,

$$I_s S = I_g G$$

বা, $\frac{I_s}{I_g} = \frac{G}{S}$

উভয় পক্ষে 1 যোগ করে অর্থাৎ যোজন করে,

$$\frac{I_s + I_g}{I_g} = \frac{G + S}{S}$$

বা, $\frac{I}{I_g} = \frac{G + S}{S}$ $[\because I_g + I_s = I]$

বা, $I_g = \frac{S}{G + S} I$ (3.28)

অনুরূপভাবে, $I_s = \frac{G}{G + S} I$ (3.29)

(3.30) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$I = \frac{G + S}{S} \times I_g$ … (3.30)

(3.30) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ I_g-কে $\frac{G + S}{S}$ দিয়ে গুণ করলে বর্তনীর মূল প্রবাহ I পাওয়া যায়। এ জন্য $\frac{G + S}{S}$ কে শান্টের **গুণন ক্ষমতা** বা **শান্টের গুণক** বলে।

শান্টের ব্যবহার :

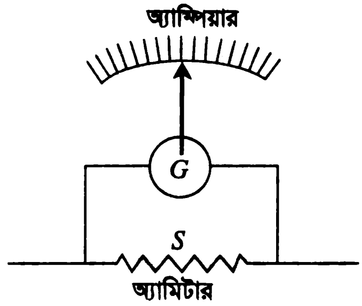
অ্যামিটার (Ammeter)

শান্টের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায় অ্যামিটারে। প্রবাহ পরিমাপের যন্ত্র হচ্ছে অ্যামিটার।

যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা যায় তাকে অ্যামিটার বলে। একে বর্তনীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হয়।

গঠনপ্রণালি : এই যন্ত্রে একটি চলকুণ্ডলী জাতীয় গ্যালভানোমিটার থাকে। কুণ্ডলীর বিক্ষেপ নির্ণয়ের জন্য কুণ্ডলী তলের সমকোণে একটি সূচক বা কাঁটা লাগানো থাকে। সূচকটি অ্যাম্পিয়ার এককে দাগকাটা একটি স্কেলের উপরে ঘুরতে পারে। কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে একটি অল্পমানের রোধ লাগানো থাকে [চিত্র ৩·১৪]।

কার্যপ্রণালি : যেহেতু অ্যামিটারটিকে বর্তনীতে শ্রেণি সমন্বয়ে যুক্ত করতে হয় তাই এর রোধ বর্তনীতে কার্যকর হয়, ফলে বর্তনীর প্রবাহের মান পরিবর্তিত হতে পারে। এর জন্য গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে একটি অল্পমানের রোধের তার শান্ট হিসেবে যুক্ত করা হয়। এতে যন্ত্রের তুল্য রোধ খুব কম হয়, ফলে অ্যামিটার বর্তনীতে যুক্ত করলে বর্তনীতে প্রবাহের কার্যত কোনো পরিবর্তন হয় না এবং প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ মাত্র কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হয় এবং যন্ত্রটি নষ্ট হওয়ার হাত থেকে রক্ষা পায়।



চিত্র : ৩.১৪

ধরা যাক, যে গ্যালভানোমিটার দ্বারা অ্যামিটার তৈরি করা হয়েছে তার রোধ G এবং গ্যালভানোমিটার সর্বাধিক যে প্রবাহ নিতে পারে তার মান I_g। একে সর্বাধিক I প্রবাহ পরিমাপের উপযোগী অ্যামিটারে পরিণত করতে হলে এর সাথে যদি S রোধের শান্ট ব্যবহার করতে হয়, তবে

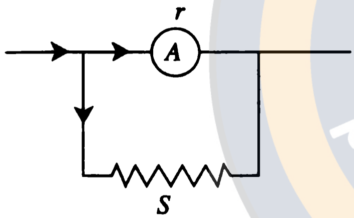
$$I_g = \frac{S}{G+S} \times I$$

বা, $(S+G)\, I_g = S\,I$ বা, $S\,(I - I_g) = I_g\, G$

$$\therefore \; S = \frac{I_g}{I - I_g}\, G \qquad (3.31)$$

কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে প্রবাহ চললে সূচকটি স্কেলের উপর ঘুরে যায়। প্রবাহ যত বেশি হবে সূচকের বিক্ষেপও তত বেশি হবে। একটি আদর্শ যন্ত্রের সাথে তুলনা করে এর স্কেল অ্যাম্পিয়ারে দাগ কাটা হয়।

অ্যামিটারকে একটি স্বল্প রোধের শান্ট যুক্ত অ্যাম্পিয়ারে দাগাঙ্কিত গ্যালভানোমিটার হিসেবে ধরা যেতে পারে।



চিত্র : ৩.১৫

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : একটি অ্যামিটার সর্বাধিক যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করতে পারে তাকে তার পাল্লা বলে। একটি অল্প পাল্লার অ্যামিটারকে সহজেই বেশি পাল্লার অ্যামিটারে পরিণত করা যায় অর্থাৎ কম প্রবাহ পরিমাপে সক্ষম অ্যামিটারকে বেশি প্রবাহ পরিমাপে সক্ষম যন্ত্রে পরিণত করা হয়। অ্যামিটারটি সর্বোচ্চ যে তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করতে পারে তার n গুণ প্রবাহ ঐ অ্যামিটার দিয়ে পরিমাপ করা সম্ভব। এর জন্য অ্যামিটারের সাথে সমান্তরাল সমন্বয়ে একটি অত্যন্ত অল্পমাত্রার রোধ যুক্ত করতে হয় অর্থাৎ একটি শান্ট ব্যবহার করতে হয় [চিত্র ৩·১৫]।

ধরা যাক, অ্যামিটারটির অভ্যন্তরীণ রোধলে S রোধ লাগাতে হবে। তাহলে,

$$I = \frac{S}{r+S} \times nI \qquad \left(\because I_g = \frac{S}{S+G} \times I\right)$$

বা, $nS = r + S$ বা, $(n-1)\,S = r$

$$\therefore \; S = \frac{r}{n-1} \qquad (3.32)$$

অর্থাৎ n গুণ তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করতে হলে অ্যামিটারের সাথে $\frac{r}{n-1}$ রোধ সমান্তরাল সমন্বয়ে যোগ করতে হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১৪। 100 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে কত রোধের একটি শান্ট জুড়ে দিলে মোট তড়িৎ প্রবাহের 10% গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত হবে?

আমরা জানি,

$$I_g = \frac{S}{G+S} I$$

এখানে,
গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 100\ \Omega$
মূল প্রবাহ, I

গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ, $I_g = I$ এর 10% $= \frac{10}{100} I$

শান্ট, $S = ?$

বা, $\frac{10 I}{100} = \frac{S}{100\,\Omega + S} \times I$

বা, $10S = 100\,\Omega + S$

বা, $9S = 100\,\Omega$

$\therefore S = \frac{100\,\Omega}{9}$

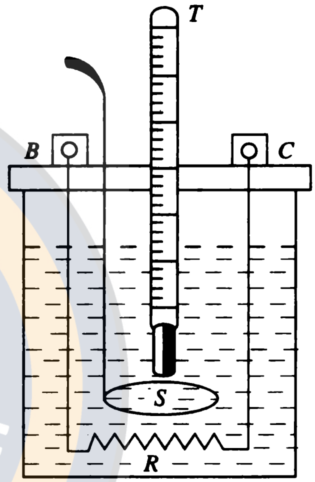
$= 11.11\,\Omega$

উ: 11.11 Ω

৩.১০ । ব্যবহারিক (Practical)

জুলের ক্যালরিমিটার (Joule's Calorimeter)

জুলের ক্যালরিমিটার একটি বিশেষ ধরনের ক্যালরিমিটার। এই ক্যালরিমিটারে চোঙাকৃতি তামার পাত্রে সাধারণত জার্মান সিলভারের তৈরি একটি তারের কুণ্ডলী R থাকে [চিত্রে ৩.১৬]। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত ক্যালরিমিটারের ঢাকনার উপরিস্থ দুটি সংযোজক স্ক্রুর (B, C) সাথে সংযুক্ত থাকে। ঢাকনার একটি ছিদ্রপথে একটি নাড়ানি S এবং অপর ছিদ্রপথে একটি থার্মোমিটার T পাত্রের মধ্যে রাখা হয়। ক্যালরিমিটারটি তুলা, ফেল্ট ইত্যাদি কুপরিবাহী পদার্থ ভর্তি একটি বাক্সে বসানো থাকে।



চিত্র : ৩.১৬

পরীক্ষার নাম	তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়
পিরিয়ড : ২	

মূলতত্ত্ব : এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করতে যত জুল কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বলা হয়।

কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য যদি V ভোল্ট হয় এবং এর ভিতর দিয়ে I অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ t সেকেন্ড চালালে ব্যয়িত তড়িৎশক্তি $W = VIt$ জুল।

এই তড়িৎ শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হলে যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয় তবে আমরা জানি,

$$W = JH$$

বা, $$J = \frac{W}{H} = \frac{VIt \text{ জুল}}{H \text{ ক্যালরি}} \quad (1)$$

এখানে, J = তাপের যান্ত্রিক সমতা

কুণ্ডলী আকারের পরিবাহী যদি ক্যালরিমিটারে রক্ষিত কোনো তরলের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে এবং তড়িৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ ক্যালরিমিটার ও তরল কর্তৃক শোষিত হওয়ার ফলে তাপমাত্রা θ_1 থেকে θ_2-এ উন্নীত হলে ক্যালরিমিটার ও তরল কর্তৃক শোষিত তাপ ক্যালরি এককে,

$$H = (m_1 s_1 + m_2 s_2)(\theta_2 - \theta_1) \quad \ldots \quad (2)$$

এখানে, m_1 = নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটারের ভর (গ্রাম এককে)

m_2 = তরলের ভর (গ্রাম এককে)

s_1 = ক্যালরিমিটারের উপাদানের আ: তাপ (cal $g^{-1}{}^\circ C^{-1}$ এককে)

s_2 = তরলের আপেক্ষিক তাপ (cal $g^{-1}{}^\circ C^{-1}$ এককে)

সমীকরণ, (1) ও (2) থেকে আমরা পাই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক,

$$J = \frac{VIt}{(m_1 s_1 + m_2 s_2)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ J cal}^{-1} \quad (3)$$

যন্ত্রপাতি : জুলের ক্যালরিমিটার, অ্যামিটার, ভোল্টমিটার, স্টপওয়াচ, থার্মোমিটার, পরিবর্তনশীল রোধ, ব্যাটারি, সংযোগকারী তার, চাবি, তার্পিন তেল।

বর্তনী সংযোগ : একটি জুলের ক্যালরিমিটার নিয়ে এর রোধ R-এর সাথে একটি ব্যাটারি E, পরিবর্তনশীল রোধ Rh, অ্যামিটার A, চাবি K শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করা হয়। ক্যালরিমিটারের রোধ R-এর দুই প্রান্ত B ও C এর সাথে বিভব পার্থক্য পরিমাপ করার জন্য একটি ভোল্টমিটার V সমান্তরাল সংযোগে যুক্ত করা হয়। (চিত্র : ৩.১৭)

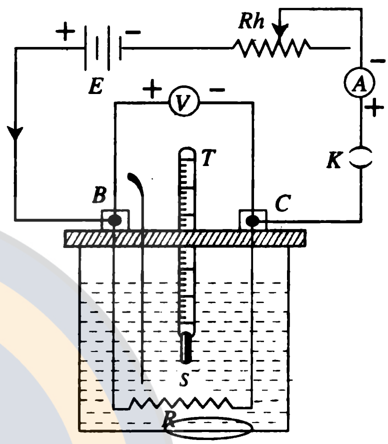
কাজের ধারা

১. বর্তনী সংযোগের পূর্বে নাড়ানিসহ জুলের ক্যালরিমিটার ধুয়ে মুছে শুকিয়ে ভর পরিমাপ করা হয়।

২. এবার ক্যালরিমিটারে কিছু তরল (যেমন তার্পিন তেল) পদার্থ নিয়ে পুনরায় ভর পরিমাপ করা হয়। দ্বিতীয় ভর থেকে প্রথম ভর বাদ দিলে তরল পদার্থের ভর পাওয়া হয়।

৩. একটি থার্মোমিটার Tএর সাহায্যে তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা θ_1 নির্ণয় করা হয়।

৪. চাবি বন্ধ করে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয় এবং এক মিনিট অন্তর অ্যামিটার থেকে I এবং ভোল্টমিটারের সাহায্যে R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V দেখে নেওয়া হয়। তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার সাথে সাথে স্টপওয়াচ চালু করা হয়। পরীক্ষা চলাকালে তড়িৎ প্রবাহের মান যদি উল্লেখযোগ্য পরিমাণে পরিবর্তিত হয় তাহলে পরিবর্তনশীল রোধ তথা রিয়োস্ট্যাটের সাহায্যে অ্যামিটারের পাঠ নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখা হয়।



চিত্র : ৩.১৭

৫. তরলের উষ্ণতা যখন প্রায় 10°C বেড়ে যায় তখন তড়িৎ প্রবাহ এবং স্টপওয়াচ বন্ধ করে সময় t এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রা θ_2 দেখে নেওয়া হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন

১. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটারের ভর, m_1 = ... g

২. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটার ও তরলের ভর m'_2 = ... g

৩. তরলের ভর $m_2 = m'_2 - m_1$ = ...g

৪. ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ, s_1 =........................ cal g^{-1} °C^{-1}

৫. তরলের আপেক্ষিক তাপ, s_2 = ... cal g^{-1}°C^{-1}

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা θ_1 ℃	অ্যামিটার পাঠ I A	গড় I A	ভোল্টমিটার পাঠ V V	গড় V V	তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা θ_2 ℃	তাপের যান্ত্রিক সমতা J Jcal^{-1}	গড় J Jcal^{-1}
1.	....	....	......	....	......			
2.	....	....	......	....	......			
3.	....	....	......	....	......			

হিসাব

$$J = \frac{VIt}{(m_1s_1 + m_2s_2)(\theta_2 - \theta_1)} \ \text{Jcal}^{-1} = \text{.......................................} \ \text{J cal}^{-1}$$

ফলাফল

তাপের যান্ত্রিক সমতা, J = ... J cal^{-1}

সতর্কতা

১. থার্মোমিটারের বাল্ব যাতে রোধ কুণ্ডলীকে স্পর্শ না করে সেদিকে খেয়াল রাখতে হবে।

২. তরলকে অবিরত নাড়তে হবে।

৩. প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য পরিবর্তন হতে পারে সে কারণে গড় প্রবাহ ও গড় বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে হবে।

৪. বিকিরণ সংশোধন করে সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় না করায় J এর সঠিক মান নাও পাওয়া যেতে পারে।

মিটার ব্রিজ (Meter Bridge)

যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের একটি তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রিজ বলে।

মিটার ব্রিজ হুইটস্টোন ব্রিজের একটি ব্যবহারিক রূপ। মিটার ব্রিজের সাহায্যে কোনো পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করা যায় এবং তা থেকে পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা : এই যন্ত্রে একটি কাঠের ফ্রেমের উপর তিনখানা নগণ্য রোধের তামার বা পিতলের পাত a, b ও c বসানো থাকে। এতে a ও b-এর মধ্যে একটি ফাঁক বা শূন্যস্থান এবং b ও c-এর মধ্যে একটি ফাঁক থাকে। a ও c পাতের যথাক্রমে A ও C বিন্দুর সাথে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের ম্যাঙ্গানিনের রোধ তার টানা দেওয়া থাকে [চিত্র ৩·১৯]। এই তারের পাশে বা নিচে একটি মিটার স্কেল বসানো থাকে যার সাহায্যে এই তারের যে কোনো অংশের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। এই তারের দৈর্ঘ্য ঠিক এক মিটার হওয়ায় এই যন্ত্রের নাম মিটার ব্রিজ হয়েছে।

পরীক্ষার নাম	মিটার ব্রিজের সাহায্যে একটি তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	

তত্ত্ব : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একক দৈর্ঘ্যের ও একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের কোনো পরিবাহীর রোধকে ঐ তাপমাত্রায় ঐ পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।

রোধের সূত্র থেকে আমরা জানি পরিবাহীর রোধ P হলে,

$$P = \rho \frac{L}{A}$$

$$\text{বা,}\ \rho = \frac{P\pi r^2}{L} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এখানে, ρ = তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ

P = তারের রোধ

L = তারের দৈর্ঘ্য

r = তারের ব্যাসার্ধ

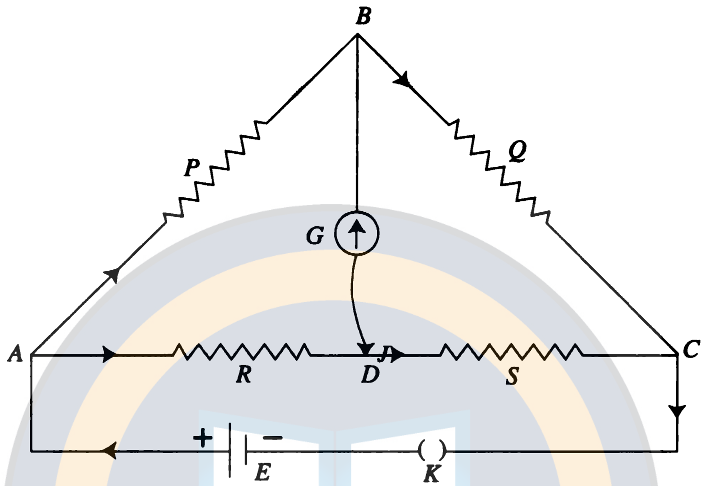
$\pi = 3.14$, ধ্রুবসংখ্যা।

তারের দৈর্ঘ্য মিটারে, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বর্গমিটারে এবং রোধ ও'ম-এ পরিমাপ করলে আপেক্ষিক রোধের একক হবে ও'ম -মিটার।

হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি থেকে আমরা জানি, গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ না হলে (চিত্র ৩.১৮),

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore P = \frac{R}{S} \times Q$$



চিত্র : ৩.১৮

হুইটস্টোন ব্রিজের নীতির উপর ভিত্তি করে মিটার ব্রিজ তৈরি করা হয়েছে।

যদি মিটার ব্রিজের তারের 1 সেমি দৈর্ঘ্যের রোধ σ হয় এবং নিস্পন্দ বিন্দু অর্থাৎ তারের যে বিন্দুতে গ্যালভানোমিটারের তারের উন্মুক্ত প্রান্ত স্পর্শ করালে শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া যায় তার বাম ও ডান দিকে তারটির দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l সেমি ও $(100 - l)$ সেমি হলে $R = l\sigma$ এবং $S = (100 - l)\,\sigma$ হয়। হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি থেকে আমরা পাই,

$$\frac{P}{Q} = \frac{l\sigma}{(100 - l)\,\sigma} \quad \text{বা,} \quad \frac{P}{Q} = \frac{l}{100 - l}$$

এখন মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে অজানা রোধ P এবং ডান ফাঁকে জানা রোধ Q হলে,

$$P = \frac{l}{100 - l}\, Q \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

আবার ডান ফাঁকে অজানা রোধ P এবং বাম ফাঁকে জানা রোধ Q হলে,

$$P = \frac{100 - l}{l}\, Q \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

সমীকরণ (2) ও (3) এর গড়ই হচ্ছে ও'ম (Ω) এককে তারের প্রকৃত রোধ।

যন্ত্রপাতি এবং প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি : মিটার ব্রিজ, পরীক্ষণীয় তার, তড়িৎ কোষ, রোধ বাক্স, গ্যালভানোমিটার, প্লাগ চাবি, শিরিষ কাগজ, স্ক্রু গজ, সংযোগকারী তার ইত্যাদি।

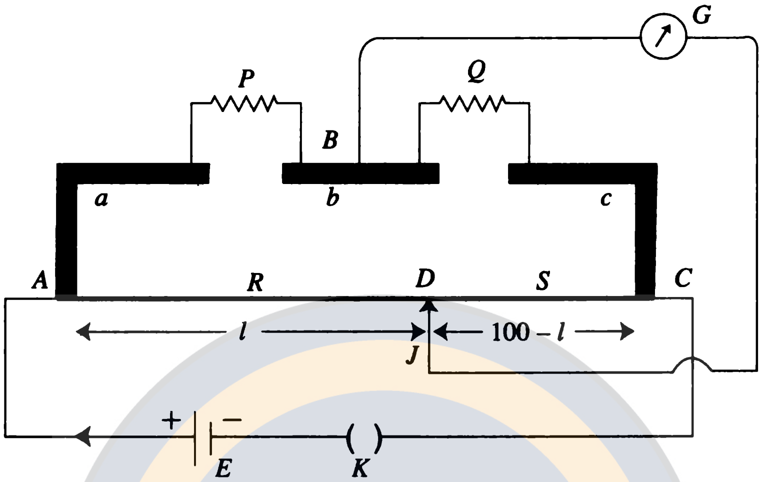
কাজের ধারা :

বর্তনী সংযোগ : ১. একটি মিটার ব্রিজের বামদিকের ফাঁকে যে তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বের করতে হবে সেটি এবং ডানদিকের ফাঁকে রোধ বাক্স[১] লাগানো হয় (চিত্র ৩.১৯)। মিটার ব্রিজের B বিন্দুর সাথে

---

[১] রোধ বাক্সের পরিবর্তে কোনো স্থির মানের জানা রোধক ব্যবহার করা যেতে পারে।

গ্যালভানোমিটারের এক প্রান্ত এবং গ্যালভানোমিটারের অপর প্রান্তের সাথে একটি জকি J সংযুক্ত করা হয়। একটি কোষ E এর এক প্রান্ত মিটার ব্রিজের A বিন্দুর স্ক্রুর সাথে এবং অপর প্রান্ত প্লাগ চাবি K-এর মধ্য দিয়ে মিটার ব্রিজের C বিন্দুর স্ক্রুর সাথে সংযুক্ত করা হয়।



চিত্র : ৩.১৯

পরীক্ষা : ২. পরীক্ষা শুরু করার আগে প্রথমে দেখে নিতে হবে বর্তনী সংযোগ ঠিক আছে কিনা। এজন্য প্রথমে রোধ বাক্স থেকে যে কোনো মানের ধরা যাক, 1Ω মানের প্লাগ তুলে নেয়া হয়। এতে বর্তনীতে জানা রোধের মান হবে এক ও'ম। এবার চাবি K বন্ধ করে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হয়। এখন গ্যালভানোমিটারের কাঁটার সাথে সংযুক্ত জকিটিকে মিটার ব্রিজের তারের এক প্রান্তে স্পর্শ করানো হয়।[১] ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা যাবে। এখন জকিটিকে মিটার ব্রিজের তারের অপর প্রান্তে স্পর্শ করানো হয়। যদি গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয় তাহলে বুঝতে হবে বর্তনীটি ঠিকভাবে সংযোজিত হয়েছে। যদি কাঁটার বিক্ষেপ একই দিকে দেখা যায় তাহলে বুঝতে হবে বর্তনী সংযোগে ত্রুটি আছে এবং ভালোভাবে পরীক্ষা করে সংযোগ ঠিক করে নিতে হবে।

৩. রোধ বাক্স থেকে যে অংকের রোধের প্লাগ তোলা হবে বর্তনীতে তত ও'ম হবে জানা রোধ, Q। এখন জকিটিকে মিটার ব্রিজের তারের এক প্রান্তে স্পর্শ করানো হয়। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ লক্ষ করে জকিটিকে তারের এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তের দিকে তারের ওপর বার বার স্পর্শ করিয়ে এমন এক বিন্দুতে আনা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ থাকবে না। জকির এই অবস্থানকে নিস্পন্দ বিন্দু বলে। ব্রিজ তারের বাম প্রান্ত থেকে এই বিন্দুর দূরত্ব সংযুক্ত মিটার স্কেলের সাহায্যে দেখে নেয়া হয়। এই দূরত্ব l।

৪. রোধ বাক্স থেকে জানা রোধ অর্থাৎ Q-এর মান পরিবর্তন করে l-এর পাঠ নেয়া এবং (2) নং সমীকরণের সাহায্যে অজানা রোধ P নির্ণয় করা হয়।

৫. ডান ফাঁকে অজানা রোধ এবং বাম ফাঁকে রোধ বাক্স স্থাপন করা হয়।

৬. উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় l নির্ণয় করে (3) সমীকরণের সাহায্যে অজানা রোধ P নির্ণয় করা হয়। সবগুলো P-এর গড় হবে পরীক্ষণীয় তারের রোধ।

৭. মিটার স্কেলের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য এবং স্ক্রুগজের সাহায্যে এর ব্যাসার্ধ মেপে নেয়া হয়।

৯. পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত ছকে বসিয়ে (1) সমীকরণের সাহায্যে তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন :

১. পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য, $L =$ ... cm

২. স্ক্রু গজের পিচ = ... mm

---

[১] জকি না থাকলে গ্যালভানোমিটারের সাথে সংযুক্ত তারের মুক্ত প্রান্ত ব্রিজ তারের সাথে সরাসরি স্পর্শ করানো যেতে পারে।

৩. স্ক্রুগজের বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা =

৪. স্ক্রুগজের লঘিষ্ঠ গণন = $\frac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেল ভাগ সংখ্যা}}$ = ...mm ... . cm

৫. যান্ত্রিক ত্রুটি e =..........cm

রোধ নির্ণয়ের ছক

অজানা রোধ P এর অবস্থান	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ Q Ω	নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব l cm	অজানা রোধ $P = \frac{l}{100-l} Q$ Ω	গড় P Ω
বাম ফাঁকে	1				
	2				
	3				
ডান ফাঁকে				$P = \frac{100-l}{l} Q$	
	1				
	2				
	3				

তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ	বৃত্তাকার স্কেলভাগ সংখ্যা	লঘিষ্ঠ গণন	আপাত ব্যাস	যান্ত্রিক ত্রুটি	প্রকৃত ব্যাস	গড়ব্যাস	ব্যাসার্ধ	ব্যাসার্ধ
	L cm	C	$L.C$ cm	$d' = L + C \times L.C$ cm	$\pm e$	$d = d' - (\pm e)$ cm	d cm	$r = \frac{d}{2}$ cm	r m
1									
2									
3									

হিসাব : $\rho = \frac{P\pi r^2}{L}$ Ω m

ফলাফল : প্রদত্ত তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ, ρ =......... Ω m

সতর্কতা :

১. সংযোগ তারের প্রান্ত এবং সংযোগ স্ক্রু শিরিষ কাগজ দিয়ে ভালো করে পরিষ্কার করে নেয়া হয়।

২. নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয়ের আগে গ্যালভানোমিটার কাঁটার বিপরীত বিক্ষেপ দেখে নেয়া হয়।

৩. তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ পরিহারের জন্য আগে কোষ বর্তনী বন্ধ করে পরে জকিটি ব্রিজ তারে স্পর্শ করানো হয়।

pdfcorner.com

৪. রোধ বাক্সের প্লাগগুলো শক্ত করে লাগানো হয়।

৫. সমান চাপে জকিটি তারে স্পর্শ করানো হয়।

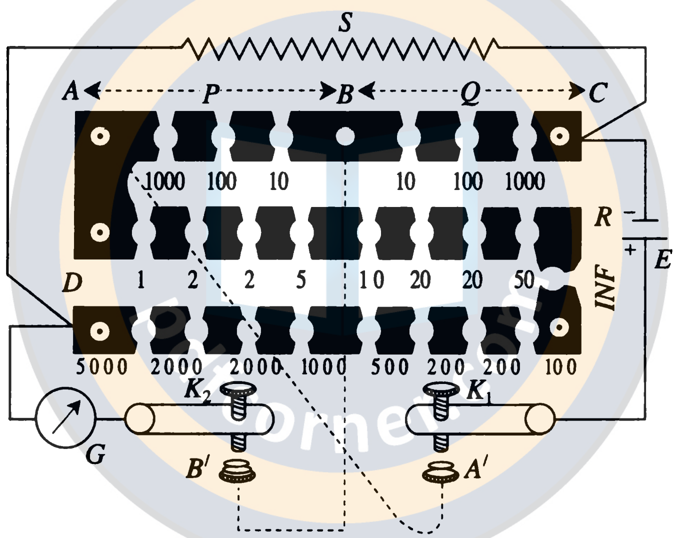
৬. নিস্পদ বিন্দু সতর্কতার সাথে লক্ষ করা হয়।

৭. অতিরিক্ত প্রবাহের জন্য গ্যালভানোমিটার যাতে নষ্ট না হয় সে জন্য শান্ট ব্যবহার করা যেতে পারে।

পোস্ট অফিস বক্স (Post Office Box)

যে রোধ বাক্সের রোধগুলোকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু হিসেবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোন অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়, তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলে।

পোস্ট অফিস বক্স হুইটস্টোন ব্রিজের আরেকটি ব্যবহারিক রূপ। পূর্বে পোস্ট অফিসের লোকজন টেলিগ্রাম, টেলিফোন লাইনের তারের রোধ নির্ণয়ের জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করতেন বলে একে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

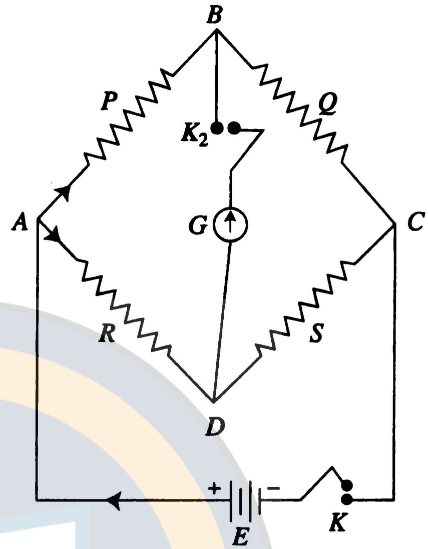


চিত্র : ৩.২০

যন্ত্রের বর্ণনা : পোস্ট অফিস বক্স একটি বিশেষ ধরনের রোধ বাক্স। ৩·২০ চিত্রে এই যন্ত্রের একটি নক্শা দেখানো হলো। ৩·২২ চিত্রে যন্ত্রের মূল বিষয়গুলো সহজ করে দেখানো হয়েছে। এই বাক্সে তিন লাইনে রোধ সাজানো থাকে। এই রোধগুলো তিনটি অংশে বিভক্ত থাকে। যন্ত্রের প্রথম লাইন AC দুটি অংশ AB ও BC-তে বিভক্ত। প্রতিটি অংশে 10, 100 ও 1000 ও'মের তিনটি করে রোধ কুণ্ডলী থাকে। এই অংশ দুটি হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম ও দ্বিতীয় বাহুর অর্থাৎ P ও Q রোধের কাজ করে এবং এদের বলা হয় অনুপাত বাহু। তৃতীয় অংশ যন্ত্রের দ্বিতীয় ও তৃতীয় লাইন মিলে A থেকে D পর্যন্ত বিস্তৃত এবং এটি হুইটস্টোন ব্রিজের তৃতীয় বাহুর অর্থাৎ R রোধের কাজ করে, এতে সাধারণত 1 থেকে 5000 ও'মের বিভিন্ন রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমন্বয়ে যুক্ত থাকে। যে কোন কুণ্ডলীর প্লাগ তুললে ঐ রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। এভাবে 11110 ও'ম পর্যন্ত অন্তর্ভুক্ত করা যায়। প্রকৃতপক্ষে এই বাহুর রোধ নিয়ন্ত্রণ করেই ভারসাম্য অবস্থার সৃষ্টি করা হয়।

পরীক্ষার নাম	পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে অজানা রোধ নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	

তত্ত্ব : পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয় তাকে রোধ বলে। হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর যে কোনো তিনটি বাহুর রোধ জানা থাকলে চতুর্থ বাহুর রোধ নির্ণয় করা যায়।



চিত্র : ৩.২১

হুইটস্টোন ব্রিজের নীতির ওপর ভিত্তি করে পোস্ট অফিস বাক্স তৈরি করা হয়েছে। পোস্ট অফিস বাক্সের অনুপাত বাহুদ্বয় P ও Q যথাক্রমে হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম ও দ্বিতীয় বাহু (চিত্র ৩.২১)। বাক্সের R বাহু হুইটস্টোন ব্রিজের তৃতীয় বাহু। যে পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করতে হবে সেটি C ও D এর মধ্যে সংযুক্ত করা হয় এবং এটি হুইটস্টোন ব্রিজের চতুর্থ বাহু S গঠন করে। এখন P, Q এবং R বাহুর রোধের মান যদি এমন করা হয় যেন গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না চলে তাহলে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি থেকে আমরা জানি,

$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ এখানে $S =$ অজানা রোধ।

$$\therefore S = \frac{Q}{P} \times R \quad \ldots \quad (1)$$

P, Q ও R-এর মান জেনে অজানা রোধ S নির্ণয় করা হয়।

যন্ত্রপাতি ও প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি : পোস্ট অফিস বক্স, ব্যাটারি, গ্যালভানোমিটার, সংযোগকারী তার, পরীক্ষণীয় রোধ, শিরিষ কাগজ ইত্যাদি।

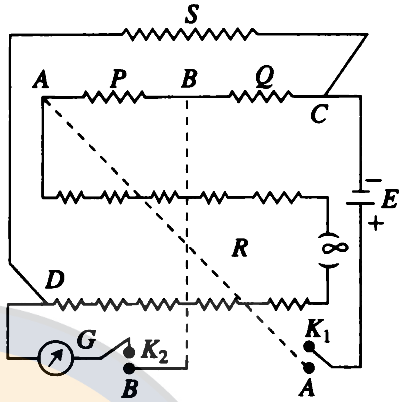
কাজের ধারা :

১. যে পরিবাহীর রোধ S নির্ণয় করতে হবে তাকে এই যন্ত্রের C ও D বিন্দুর মধ্যে সংযুক্ত করা হয় (চিত্র ৩.২২)। একটি টেপা চাবি (যা পোস্ট অফিস বাক্সের সাথে লাগানো থাকে) K_1-এর মাধ্যমে A ও C বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারি E এবং অপর টেপা চাবি K_2 এর মাধ্যমে B ও D বিন্দুর মধ্যে গ্যালভানোমিটারে যুক্ত করা হয়।

২. পরীক্ষা শুরু করার আগে প্রথমে দেখে নিতে হবে বর্তনী সংযোগ ঠিক আছে কিনা। এজন্য P ও Q অনুপাত বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি থেকে $10\ \Omega$ প্লাগ তোলা হয়। R-বাহু থেকে কোন প্লাগ তোলা হয় না অর্থাৎ R বাহুর রোধ শূন্য। এখন আগে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি K_1 এবং পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি K_2 চাপা হয়।

এতে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। এখন K_1 ও K_2 চাবি ছেড়ে দিয়ে R-বাহু থেকে *"INF"* (অসীম) চিহ্নিত প্লাগটি তুলে প্রথমে K_1 ও পরে K_2 চাপলে যদি গ্যালভানোমিটারে বিপরীত দিকে বিক্ষেপ দেখা যায় তাহলে বুঝতে হবে বর্তনী সংযোগ ঠিক আছে। আর যদি একই দিকে বিক্ষেপ দেখা যায় তাহলে বুঝতে হবে সংযোগে ত্রুটি আছে এবং সতর্কতার সাথে ত্রুটি সংশোধন করতে হবে।

৩. এখন অজানা রোধ S নির্ণয়ের জন্য অনুপাত বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি থেকে $10\ \Omega$ প্লাগ তোলা অবস্থায় প্রথমে K_1 ও পরে K_2 চেপে ধরে R বাহু থেকে ক্রমাগত পর্যায়ক্রমে নিম্নমান ও উচ্চমানের রোধের প্লাগ তোলা হয় এবং গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। R বাহুর রোধ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন $R\ \Omega$ এবং $(R+1)\ \Omega$ মানের রোধে গ্যালভানোমিটারে বিপরীত বিক্ষেপ পাওয়া যায়। এই অবস্থানে অজানা রোধের মান হবে R ও $(R+1)$ এর মধ্যে।



চিত্র : ৩.২২

কিন্তু R বাহুতে $R\ \Omega$ মানের রোধের জন্য যদি গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ না হয় অর্থাৎ "শূন্য বিক্ষেপ" পাওয়া যায় তাহলে অজানা রোধ $S = R\ \Omega$ হবে। [$P : Q = 10 : 10$ রোধ নিয়ে 1Ω পর্যন্ত রোধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায়। 1Ω-এর ভগ্নাংশ সঠিকভাবে নির্ণয় করতে হলে অনুপাত বাহুর রোধের মান পরিবর্তন করতে হয়।]

৪. কাজের ধারা (৩)-এ গ্যালভানোমিটারে শূন্য বিক্ষেপ না পাওয়া গেলে P বাহুতে $100\ \Omega$ এবং Q বাহুতে $10\ \Omega$ প্লাগ তোলা হয়। এই অবস্থায় R গ্যালভানোমিটারে 'শূন্য বিক্ষেপ' পাওয়ার জন্য R-এর মান পরিবর্তন করা হয়। R বাহুতে $R\ \Omega$ রোধের জন্য গ্যালভানোমিটারে 'শূন্য বিক্ষেপ' পাওয়া গেলে অজানা রোধ $S = \frac{R}{10}\ \Omega$। [$P : Q = 100 : 10$ রোধ নিয়ে $0.1\ \Omega$ পর্যন্ত রোধ সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। $0.1\ \Omega$-এর ভগ্নাংশ সঠিকভাবে নির্ণয় করতে হলে অনুপাত বাহুর রোধের মান পরিবর্তন করতে হবে।]

৫. কাজের ধারা (৪)-এ গ্যালভানোমিটারে শূন্য বিক্ষেপ' না পাওয়া গেলে P বাহুতে $1000\ \Omega$ এবং Q বাহুতে $10\ \Omega$ প্লাগ তোলা হয়। এই অবস্থায় গ্যালভানোমিটারে 'শূন্য বিক্ষেপ' পাওয়ার জন্য R বাহুর রোধের মান পরিবর্তন করা হয়। R বাহুতে $R\ \Omega$ রোধের জন্য গ্যালভানোমিটারে 'শূন্য বিক্ষেপ' পাওয়া গেল। অজানা রোধ $S = \frac{R}{100}\ \Omega$।

[$P : Q = 1000 : 10$ রোধ নিয়ে $0.01\ \Omega$ পর্যন্ত রোধ সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়।]

৬. কাজের ধারা (৫)-এ যদি শূন্য বিক্ষেপ না পাওয়া যায় তাহলে R বাহুতে রোধের মান এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন $R\ \Omega$ ও $(R+1)\Omega$ মানের রোধে গ্যালভানোমিটারে বিপরীত বিক্ষেপ পাওয়া যায়। এখন $R\ \Omega$ মানের রোধের জন্য গ্যালভানোমিটার কাঁটার বামদিকে বিক্ষেপ d_1 ঘর এবং $(R + 1)\Omega$ মানের রোধের জন্য ডান দিকে বিক্ষেপ d_2 হলে R বাহুতে যে মানের রোধের জন্য শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া যাবে তার মান $= \left(R + \frac{d_1}{d_1 + d_2}\right)\Omega$ সুতরাং অজানা রোধ,

$$S = \frac{1}{100}\left\{R + \frac{d_1}{d_1 + d_2}\right\}\Omega$$

ছক

অজানা রোধ নির্ণয়

অজানা রোধ	অনুপাত বাহুদ্বয়ের রোধ		তৃতীয় বাহুতে রোধ	গ্যালভানোমিটার কাঁটার বিক্ষেপ	অজানা রোধের মান সম্পর্কে মন্তব্য	অজানা রোধ
	P Ω	Q Ω	R Ω			
S	10	10				
	100	10				
	1000	10				

ফলাফল :

প্রদত্ত রোধের পরীক্ষালব্ধ মান :

$S =$ ... ... Ω

সতর্কতা :

১. সংযোগকারী তার ও সংযোগ স্ক্রু শিরিষ কাগজ দিয়ে ভালো করে পরিষ্কার করে নেয়া হয় এবং সংযোগ দৃঢ়ভাবে করা হয়।

২. রোধবাক্সের এবং পোস্ট অফিস বাক্সের প্লাগগুলো খুব শক্তভাবে লাগানো হয়।

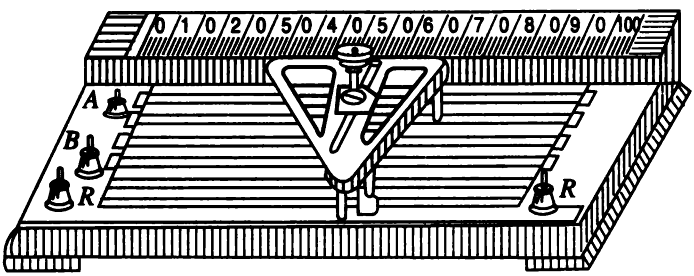
৩. স্বকীয় আবেশ পরিহারের জন্য ব্যাটারি বর্তনীর চাবি আগে এবং পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি বন্ধ করা হয়।

৪. নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয়ের পূর্বে বিপরীত বিক্ষেপ দেখে নেয়া হয়।

পটেনশিওমিটার (Potentiometer)

যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভব পতন পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য ও তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা হয় তাকে পটেনশিওমিটার বলে।

যন্ত্রের বর্ণনা : এই যন্ত্রে সাধারণত 10 মিটার লম্বা একটি তার কাঠের ফ্রেমের উপর একটি মিটার স্কেলের গা বরাবর আটকানো থাকে। এই তারটিকে প্রতিটি 1 মিটার দীর্ঘ এরূপ 10টি ভাগে ভাগ করে শ্রেণি সংযোগে যুক্ত করা হয় এবং এগুলোকে পর পর সংযুক্ত করে A ও B বিন্দুর মধ্যে যুক্ত করা হয় [চিত্র ৩.২৩]। এমন পদার্থের তার নেয়া হয় যার রোধের উষ্ণতা সহগ খুব কম। সাধারণত ম্যাঙ্গানিন বা কনস্ট্যানটানের তার নেয়া হয়। একটি পিতলের তৈরি তিন পায়া জকি তারগুলোর দৈর্ঘ্য বরাবর বামে বা ডানে চলাচল করতে পারে এবং চলাচল করার সময়



চিত্র : ৩.২৩

এর একটি পা (L) সব সময় পিতলের পাত R, R-কে স্পর্শ করে থাকে। এই পাতের সাথে যুক্ত সংযোজক স্ক্রুর সাথে গ্যালভানোমিটারকে সংযুক্ত করা হয়। জকির মাঝ বরাবর একটি চাবির সাথে আরেকটি পা থাকে, চাবি টেপা হলে এই পা তার স্পর্শ করে। চাবিকে সামনে পেছনে সরিয়ে যে কোনো তারের সাথে এই পাকে স্পর্শ করানো যায়।

পরীক্ষার নাম	পটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনা।
পিরিয়ড : ২	

তত্ত্ব : ধরা যাক, পটেনশিওমিটারের তারের প্রতি সেন্টিমিটারের দৈর্ঘ্যের রোধ $\sigma\,\Omega$ এবং এর ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চলছে I অ্যাম্পিয়ার। এখন E_1 তড়িচ্চালক শক্তির কোষ বর্তনীতে সংযুক্ত করলে যদি পটেনশিওমিটারের তারের l_1 দৈর্ঘ্যে গ্যালভানোমিটারে শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া যায় তাহলে,

$E_1 = l_1$ cm তারের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য

$= I \times l_1$ cm তারের রোধ

$= I\, l_1 \sigma$

একইভাবে E_2 তড়িচ্চালক শক্তির কোষের জন্য যদি l_2 দৈর্ঘ্যে শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া যায় তাহলে,

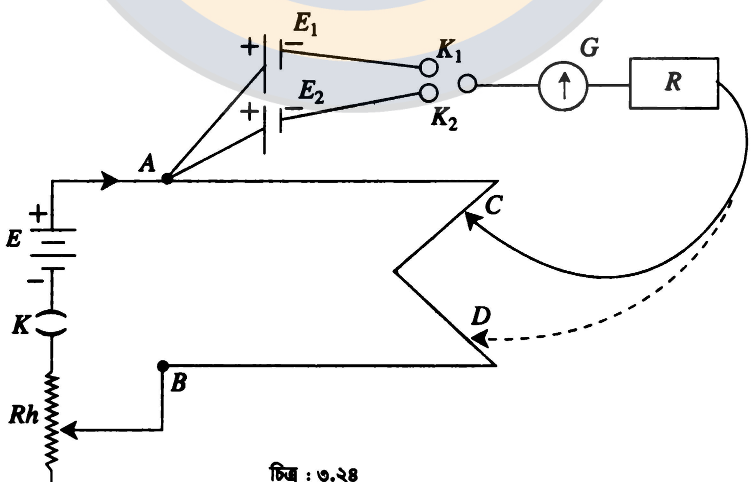
$E_2 = I\, l_2\, \sigma$

সুতরাং $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$

যন্ত্রপাতি ও অন্যান্য দ্রব্যাদি : পটেনশিওমিটার, ব্যাটারি, রিয়োস্ট্যাট, দুটি কোষ যাদের তড়িচ্চালক শক্তি তুলনা করতে হবে, দ্বিমুখী চাবি, প্লাগচাবি, জকি, গ্যালভানোমিটার, সংযোগকারী তার, শিরিষ কাগজ।

কাজের ধারা :

১. ৩.২৪ চিত্রানুযায়ী A ও B বিন্দুর মধ্যে একটি ব্যাটারি E (যার তড়িচ্চালক শক্তি পরীক্ষণীয় কোষদ্বয়ের প্রত্যেকটির তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে বেশি), চাবি, K রিয়োস্ট্যাট Rh শ্রেণি সমবায়ে সাজানো হয়। ব্যাটারি E-এর ধনাত্মক পাত A-বিন্দুর সাথে যুক্ত থাকে। যে কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক শক্তি E_1 ও E_2 এর তুলনা করতে হবে তাদের ধনাত্মক পাতদ্বয়কেও A বিন্দুর সাথে এবং ঋণাত্মক পাতদ্বয়কে একটি দ্বিমুখী চাবি K_1K_2 এর মাধ্যমে একটি গ্যালভানোমিটার ও রোধ বাক্সের মধ্য দিয়ে জকিতে যুক্ত করা হয়। [লক্ষণীয় সবগুলো ব্যাটারি ও কোষের ধনাত্মক পাত A বিন্দুতে সংযুক্ত।]



চিত্র : ৩.২৪

২. রোধ বাক্সে বেশ বড় মানের রোধ নেয়া হয় যাতে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে বেশি মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত না হয়। এখন K চাবি বন্ধ করে পটেনশিওমিটারের তারের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হয়।

৩. এখন পরিবর্তনশীল রোধ এমনভাবে সমন্বিত করা হয় যাতে, K_1 বা K_2 চাবি বন্ধ করে জকিকে A বিন্দুতে স্পর্শ করালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা যে দিকে বিক্ষিপ্ত হয় B বিন্দুতে স্পর্শ করালে তার বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়।

৪. এবার K_1 চাবি বন্ধ করে E_1 কোষটিকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে আনা হয়। জকিটিকে পটেনশিওমিটারের A প্রান্ত থেকে B প্রান্তের তারের ওপর বার বার স্পর্শ করিয়ে এমন এক বিন্দু C-তে আনা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। A থেকে এই বিন্দুর দূরত্ব l_1 নির্ণয় করা হয়।

৫. এরপর K_2 চাবি বন্ধ করে E_2 কোষটিকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে এনে উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় E_2 কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দু D-এর দূরত্ব l_2 নির্ণয় করা হয়।

৬. (৪) ও (৫) প্রক্রিয়া অন্তত তিনবার পুনরাবৃত্তি করে গড় l_1 ও l_2 নির্ণয় করা হয়।

৭. পরিবর্তনশীল রোধের বিভিন্ন মানের জন্য উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় কমপক্ষে তিন বার l_1 ও l_2 এর গড় মান নির্ণয় করা হয়।

৮. প্রাপ্ত উপাত্তসমূহ ছকে বসিয়ে প্রয়োজনীয় হিসাবের সাহায্যে E_1/E_2 নির্ণয় করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন :

দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি তুলনা করার ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পরিবর্তনশীল রোধ	প্রথম কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব l_1 cm	গড় l_1 cm	দ্বিতীয় কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব l_2 cm	গড় l_2 cm	$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$	গড় $\frac{E_1}{E_2}$
1.	১ম অবস্থান						
2.	২য় অবস্থান						
3.	৩য় অবস্থান						

ফলাফল : প্রদত্ত কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক শক্তি অনুপাত, $E_1 : E_2 = ...\ : 1$

সতর্কতা :

১. সংযোগকারী তারের প্রান্ত শিরিষ কাগজ দ্বারা ভালোভাবে পরিষ্কার করে নেয়া হয় এবং সংযোগ দৃঢ়ভাবে করা হয়।

২. চাবির প্লাগগুলোকে খুব দৃঢ়ভাবে লাগানো হয়।

৩. ব্যাটারির তড়িচ্চালক শক্তি পরীক্ষণীয় কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক শক্তি থেকে বেশি হতে হবে।

সার-সংক্ষেপ

রোধের উষ্ণতা সহগ : 0°C তাপমাত্রার একক রোধের কোনো পরিবাহীর তাপমাত্রা প্রতি একক বৃদ্ধিতে তার রোধের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে ঐ পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা সহগ বলে।

অতিপরিবাহিতা : অতি নিম্ন তাপমাত্রায় কিছু কিছু পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে। এ সকল পদার্থকে অতি পরিবাহী বা Super Conductor বলে। পদার্থের এ ধর্মকে অতিপরিবাহিতা বলে।

pdfcorner.com

জুলের তাপীয় ক্রিয়া : কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকলে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তির কিছু অংশ পরিবাহীর রোধ অতিক্রম করার কাজে ব্যাহত হয়। এই ব্যয়িত শক্তি পরিবাহীতে তাপশক্তিরূপে প্রকাশ পায় এবং পরিবাহী উত্তপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বা জুলের তাপীয় ক্রিয়া বলে।

জুলের সূত্র : জুলের তিনটি সূত্র হলো :

প্রথম সূত্র—প্রবাহের সূত্র : পরিবাহীর রোধ (R) এবং প্রবাহকাল (t) অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎপ্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহের (I) বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $H \propto I^2$, যখন R ও t ধ্রুব।

দ্বিতীয় সূত্র—রোধের সূত্র : প্রবাহ (I) এবং প্রবাহকাল t অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎপ্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) পরিবাহীর রোধের (R) সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $H \propto R$, যখন I ও t ধ্রুব।

তৃতীয় সূত্র—সময়ের সূত্র : প্রবাহ (I) এবং পরিবাহীর রোধ (R) অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎপ্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহকালের (t) সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ, $H \propto t$, যখন I ও R ধ্রুব।

ক্যালরি : এক গ্রাম (1g) বিশুদ্ধ পানির তাপমাত্রা এক ডিগ্রি সেলসিয়াস (1°C) বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে এক ক্যালরি (1 cal) বলে।

তাপের যান্ত্রিক সমতা : এক একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, বা এক একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বলে।

ক্যালরি ও জুলের সম্পর্ক : 1 cal = 4.2 J

কির্শফের সূত্র

প্রথম সূত্র : তড়িৎ বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহগুলোর বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য হয়। $\sum I = 0$।

দ্বিতীয় সূত্র : কোনো আবদ্ধ তড়িৎ বর্তনীর বিভিন্ন অংশগুলোর রোধ এবং তাদের আনুষঙ্গিক প্রবাহের গুণফলের বীজগাণিতিক সমষ্টি ঐ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান। $\sum Ir = \sum E$।

হুইটস্টোন ব্রিজ : চারটি রোধ পর পর শ্রেণিবদ্ধভাবে যদি এমনভাবে সাজানো হয় যে, প্রথমটির প্রথম প্রান্তের সাথে শেষটির শেষ প্রান্ত মিলে একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি হয় এবং যে কোনো দুটি রোধের সংযোগস্থল ও অপর দুটি রোধের সংযোগস্থলের মধ্যে একটি কোষ ও অন্য দুটি সংযোগস্থলের মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত থাকে তবে সেই বর্তনীকে হুইটস্টোন ব্রিজ বলে।

হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর রোধ P, Q, R ও S হলে সাম্যাবস্থায়

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

শান্ট : অধিক পরিমাণ প্রবাহ গিয়ে যাতে গ্যালভানোমিটারকে নষ্ট করতে না পারে তার জন্য গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে যে অল্পমানের রোধ সংযুক্ত করা হয় তাকে শান্ট বলে।

মিটার ব্রিজ : যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের রোধ সম্পন্ন একটি তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রিজ বলে।

পোস্ট অফিস বক্স : যে রোধ বাক্সের রোধগুলোকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু হিসেবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়, তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলে।

পটেনশিওমিটার : যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভব পতন পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য ও তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা হয় তাকে পটেনশিওমিটার বলে। পটেনশিওমিটারের তারের মধ্য দিয়ে ধ্রুব মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চললে তারের যে কোনো দুই অংশের বিভব পার্থক্য ঐ অংশের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হয়।

অনুশীলনী

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। 0°C-তাপমাত্রার একক রোধের কোনো পরিবাহীর তাপমাত্রা প্রতি একক বৃদ্ধিতে তার রোধের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে ঐ পরিবাহীর উপাদানের কী বলে?

(ক) আপেক্ষিক রোধ ○ (খ) রোধাঙ্ক ○
(গ) রোধের উষ্ণতা সহগ ○ (ঘ) পরিবাহিতা সহগ ○

২। "তড়িৎ বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহগুলোর বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য"—এই সূত্রটি কে প্রদান করেন?

(ক) ও'ম ○ (খ) ভোল্ট ○
(গ) কির্শফ ○ (ঘ) অ্যাম্পিয়ার ○

৩। কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের রাশিমালা নিচের কোনটি?

(ক) $H = V^2Rt$ ○ (খ) $H = I^2Rt$ ○
(গ) $H = R^2Vt$ ○ (ঘ) সবকটি ○

৪। 100 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার 10 mA তড়িৎ প্রবাহ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। 10 A তড়িৎ প্রবাহ মাপের জন্য কত রোধের শান্ট দরকার?

(ক) 0.4 Ω ○ (খ) 0.3 Ω ○
(গ) 0.2 Ω ○ (ঘ) 0.1 Ω ○

৫। হুইটস্টোন ব্রিজ কী?

(ক) একটি ব্রিজ ○ (খ) একটি যন্ত্র ○
(গ) একটি বর্তনী ○ (ঘ) একটি তড়িৎ উপাদান ○

৬। হুইটস্টোন ব্রিজের সাহায্যে কী পরিমাপ করা হয়?

(ক) প্রবাহ ○ (খ) বিভব পার্থক্য ○
(গ) তড়িচ্চালক শক্তি ○ (ঘ) রোধ ○

৭। নিচের কোন সূত্র ব্যবহার করে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রতিপাদন করা যায়?

(ক) কুলম্বের সূত্র ○ (খ) কির্শফের সূত্র ○
(গ) অ্যাম্পিয়ারের সূত্র ○ (ঘ) ফ্যারাডের সূত্র ○

৮। কোন নীতির উপর ভিত্তি করে মিটার ব্রিজ তৈরি করা হয়?

(ক) শক্তি সংরক্ষণ নীতি ○ (খ) ভরবেগের সংরক্ষণ নীতি ○
(গ) আধানের সংরক্ষণ নীতি ○ (ঘ) হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি ○

৯। পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে কী পরিমাপ করা হয়?

(ক) চার্জ ○ (খ) প্রবাহ ○
(গ) রোধ ○ (ঘ) বিভব পার্থক্য ○

১০। নিচের কোন যন্ত্রের সাহায্যে একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় করা যায়?

(ক) অ্যামিটার ○ (খ) গ্যালভানোমিটার ○
(গ) ও'মমিটার ○ (ঘ) পটেনশিওমিটার ○

pdfcorner.com

১১। রোধ মাপার যন্ত্র হলো—
(i) মিটার ব্রিজ
(ii) পোস্ট অফিস বক্স
(iii) পটেনশিওমিটার
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১২। তিনটি তথ্য দেওয়া আছে—
(i) প্রবাহ ও প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।
(ii) এক কিলোগ্রাম বিশুদ্ধ পানির তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ এক জুল।
(iii) যখন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের তুলনায় বাইরের রোধ অনেক বড় হয় তখন শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য কোষের শ্রেণি সমন্বয় ব্যবহার করা হয়।
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৩। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 100, 300, 24 এবং 60 ও'মের রোধ আছে। ১নং ও ২নং প্রশ্নের উত্তর দাও।
(১) চতুর্থ বাহুর রোধ কত হলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় আসবে?
(ক) 80 Ω ○ (খ) 90 Ω ○
(গ) 110 Ω ○ (ঘ) 120 Ω ○
(২) চতুর্থ বাহুতে কত রোধ কীভাবে সংযুক্ত করলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় আসবে?
(ক) সমান্তরাল সংযোগে 12 Ω ○ (খ) শ্রেণি সংযোগে 12 Ω ○
(গ) সমান্তরাল সংযোগে 100 Ω ○ (ঘ) শ্রেণি সংযোগে 100 Ω ○

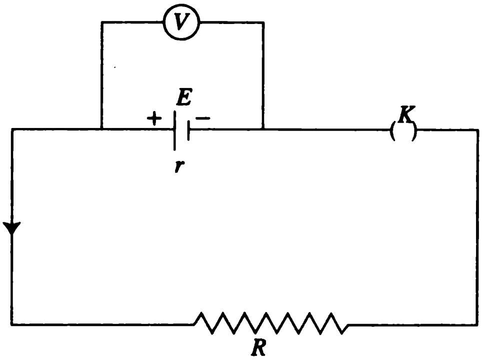
বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :
১.(গ) ২.(গ) ৩.(খ) ৪.(ঘ) ৫. (গ) ৬. (ঘ) ৭. (খ) ৮. (ঘ) ৯. (গ) ১০. (ঘ) ১১.(ক) ১২. (গ) ১৩. (ঘ) (খ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকলে এর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তির কিছু পরিবাহীর রোধ অতিক্রম করার কাজে ব্যয়িত হয়। এই ব্যয়িত শক্তি পরিবাহীতে তাপশক্তি রূপে প্রকাশ পায় এবং এর ফলে পরিবাহী উত্তপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বা জুলের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়।

(ক) তাপের যান্ত্রিক সমতা কাকে বলে?
(খ) ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের কারণ ব্যাখ্যা কর।
(গ) 25°C তাপমাত্রার টাংস্টেন তারের রোধ 75 Ω। 100°C তাপমাত্রায় এর রোধ কত? টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা সহগ, $\alpha = 5 \times 10^{-3}{}^{\circ}C^{-1}$
(ঘ) দুটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অপরটির চারগুণ। প্রতিটি তারের দুপ্রান্তের বিভব পার্থক্য সমান হলে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও যে, দ্বিতীয় তারে প্রথম তারের চেয়ে ষোলগুণ বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।

২। বর্তনী চিত্রটি লক্ষ কর এবং নিচের প্রশ্নগুলোর জবাব দাও।



(ক) তড়িচ্চালক শক্তি কাকে বলে?

(খ) যখন চাবি খোলা থাকে তখন ভোল্টমিটারে যে পাঠ পাওয়া যায় তাকে কী বলে? চাবি বন্ধ করলে ভোল্টমিটারের পাঠের কী ঘটবে এবং কেন?

(গ) উদ্দীপকের কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 2 Ω। R এর মান 10 Ω। চাবি K বন্ধ থাকলে ভোল্টমিটারের পাঠ কত হবে নির্ণয় কর।

(ঘ) গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উদ্দীপকে উল্লেখিত বর্তনীর প্রবাহ I এর জন্য একটি রাশিমালা নির্ণয় করে দেখাও যে, E যত বেশি হবে I ও তত বেশি হবে।

৩। অনিকের কাছে একটি গ্যালভানোমিটার আছে যা 10 mA পর্যন্ত তড়িৎ প্রবাহ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। কিন্তু অনিকের প্রয়োজন 10 A প্রবাহ পরিমাপ করা। কী করা যায় জানতে চাইলে অর্জন বললো গ্যালভানোমিটারের সমান্তরালে 0.1 Ω এর একটি তার লাগিয়ে নাও তাহলেই তুমি 10 A মাপতে পারবে।

(ক) শান্ট কাকে বলে?

(খ) শান্ট কেন ব্যবহার করা হয় এবং এটি কীভাবে কাজ করে ব্যাখ্যা কর।

(গ) গাণিতিকভাবে প্রমাণ কর যে, অর্জনের পরামর্শ সঠিক।

(ঘ) গ্যালভানোমিটারের সাথে শান্ট যুক্ত করলে প্রবাহ গ্যালভানোমিটার ও শান্টের মধ্য দিয়ে বিভক্ত হয়ে যায় কেন? সান্ট ও গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের রাশিমালা নির্ণয় করে শান্ট ব্যবহারের যৌক্তিকতা ব্যাখ্যা কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ায় কাকে বলে?

২। রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা কর।

৩। তাপ উৎপাদনে জুলের সূত্রগুলো বিবৃত কর এবং সেখান থেকে উৎপন্ন তাপের রাশিমালা নির্ণয় কর।

৪। তাপের সাবেক ও বর্তমান এককের মধ্যে সম্পর্ক কী?

৫। তাপের যান্ত্রিক সমতা কাকে বলে?

৬। তাপের যান্ত্রিক সমতা 4.2 Jcal^{-1} বলতে কী বুঝ?

৭। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ ও তড়িচ্চালক শক্তির গাণিতিক সম্পর্ক বিশ্লেষণ কর।

৮। তড়িচ্চালক শক্তি ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য দেখাও।

৯। কোষের শ্রেণি সমন্বয়ে বাইরের রোধের মধ্যদিয়ে প্রবাহের জন্য রাশিমালা নির্ণয় কর।

১০। কোষের সমান্তরাল সমন্বয়ে বাইরের রোধের ভিতর দিয়ে প্রবাহের জন্য রাশিমালা নির্ণয় কর।

১১। কির্শফের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

১২। কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রতিপাদন কর।

১৩। বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।

১৪। অ্যামিটার তৈরিতে শান্ট কীভাবে ব্যবহৃত হয়েছে ব্যাখ্যা কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। 25°C তাপমাত্রার টাংস্টেন তারের রোধ 75 Ω। 100°C তাপমাত্রায় এর রোধ কত? টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা সহগ, $\alpha = 5 \times 10^{-3}/°C$। [উ: 100$\Omega$]

২। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.8 V। এর মেরুদ্বয়ের সাথে 12 Ω–এর একটি রোধ যুক্ত করলে প্রবাহ 0.12 A হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বের কর। [উ: 3 Ω]

৩। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2 V। যখন কোষটি 5 A তড়িৎ প্রবাহ গ্রহণ করে তখন এর প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য 1.8 V নেমে আসে। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত? [উ: 0.04 Ω]

৪। 2 V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি তড়িৎ কোষকে 9 Ω রোধের একটি তারের সাথে সংযুক্ত করা হলো। রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ ও এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ: 0.2 A;1.8 V]

৫। 1.2 A তড়িৎ প্রবাহ ধারণ ক্ষমতার একটি বৈদ্যুতিক হিটারের রোধ 140 Ω। একে 210 V এর একমুখী তড়িৎ সরবরাহ লাইনে চালাতে হলে বর্তনীর ভেতর ন্যূনপক্ষে আরও কত রোধ দিতে হবে? [উ: 35 Ω]

৬। কোনো একটি রোধকের মধ্য দিয়ে নির্দিষ্ট মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ চলছে। এর সাথে 120 Ω রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা পূর্বের এক-তৃতীয়াংশ হয়। রোধকের রোধ নির্ণয় কর। [উ: 60 Ω]

৭। 3.5 Ω এবং 12 Ω রোধবিশিষ্ট দুটি তার শ্রেণিবদ্ধভাবে সংযুক্ত করে 4 V তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট একটি ব্যাটারির সাথে সংযুক্ত করা হলো। ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 0.5 Ω হলে প্রত্যেক তারের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ: 0·875 V, 3 V]

৮। 2 V তড়িচ্চালক শক্তি 0.2 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের দু প্রান্তে সমান্তরাল সংযোগে 10 Ω ও 20 Ω রোধের দুটি তার যুক্ত আছে। প্রতিটি তারের প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [উ: 0.19 A; 0.1 A]

৯। 2 V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 0.5 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের দুই প্রান্ত সমান্তরাল সংযোগে সজ্জিত 20 Ω এবং 30 Ω রোধের দুটি তারের সাথে যুক্ত আছে। প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উ: 0.096 A, 0.064 A]

১০। 2 V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 0.5 Ω অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি কোষের দুই প্রান্ত 10 Ω ও 20 Ω রোধের দুটি সমান্তরাল তারের সাথে যুক্ত আছে। 20 Ω রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উ:0.093 A]

১১। সমান্তরাল সংযোগে যুক্ত 5 Ω এবং 20 Ω রোধ দুটিকে 4V এর একটি তড়িৎ কোষের সাথে যুক্ত করা হলো প্রথম রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উ: 0.8 A]

১২। খোলা বর্তনীতে কোনো একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V এবং এর অভ্যন্তরীণ রোধ 0.5 Ω । 3 Ω ও 6 Ω রোধবিশিষ্ট দুটি তারকে উক্ত কোষের সাথে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হল। প্রত্যেক তারের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িতের মান নির্ণয় কর। [উ: 0.4 A, 0.2 A]

১৩। কোন তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি ও অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে 2 V ও 0.5 Ω। একে 1, 2 এবং 4 Ω রোধের তিনটি রোধকের সাথে সমান্তরাল সংযোগে সাজানো হলো। মধ্যবর্তী রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য বের কর। [উ: 1.07 V]

১৪। 2 Ω ও 3 Ω দুটি রোধকে শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করে 3 V তড়িচ্চালক শক্তির একটি কোষের সাথে সংযুক্ত করা হলো। প্রত্যেক রোধের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ: 1.2 V ও 1.8 V]

১৫। 5 Ω ও 7 Ω এর দুটি রোধককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়টিকে 2.6 V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 1 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের সাথে যুক্ত করে বর্তনী পূর্ণ করা হলো। প্রত্যেকটি রোধকের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ: 1 V; 1.4 V]

১৬। কোনো কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.2 Ω। এরূপ 4টি কোষের শ্রেণি সংযোগে গঠিত একটি ব্যাটারির বাইরের কোনো রোধকের মধ্য দিয়ে 0.4 A প্রবাহ চালাতে পারে। বাইরের রোধকের রোধ এবং রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ: 14.2 Ω 5.68 V]

১৭। 1.5 V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 0.1 Ω অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট 10টি কোষকে সমান্তরালে সাজিয়ে 10 Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হলো। বর্তনীর প্রবাহ নির্ণয় কর। [উ: 0.15 A]

১৮। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম, দ্বিতীয় ও চতুর্থ বাহুর রোধ যথাক্রমে 5, 20 এবং 64 Ω। তৃতীয় বাহুর রোধ কত হলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে নির্ণয় কর। [উ: 16 Ω]

১৯। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 15, 45, 5 এবং 24 Ω রোধ যুক্ত আছে। তৃতীয় বাহুতে কত মানের রোধ শ্রেণি সংযোগে যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে? [উ: 3 Ω]

২০। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 6, 3, 4 ও 6 ও'মের চারটি রোধ আছে। চতুর্থ বাহুর রোধের সাথে কত রোধের একটি শান্ট ব্যবহার করলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থা লাভ করবে? [উ: 3 Ω]

২১। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুতে যথাক্রমে 5, 15, 20 এবং 100 ও'মের রোধ আছে। চতুর্থ বাহুতে কত রোধ কীভাবে সংযুক্ত করলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় আসবে নির্ণয় কর। [উ: সমান্তরাল সংযোগে 150 Ω]

২২। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 100, 300, 24 এবং 60 ও'মের রোধ আছে। প্রথম বাহুতে কত রোধ কীভাবে সংযুক্ত করলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় আসবে নির্ণয় কর। [উ: শ্রেণি সংযোগে 20 Ω]

২৩। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 2 Ω, 4 Ω, 3 Ω এবং 9 Ω রোধ আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রিজটি ভারসাম্য লাভ করবে? [উ: 18 Ω সমান্তরালে]

২৪। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 10 Ω, 30 Ω, 6 Ω এবং 30 Ω রোধ যুক্ত আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের রোধ কীভাবে যুক্ত করলে উক্ত ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে? [উ: 45 Ω সমান্তরালে]

২৫। একটি মিটার ব্রিজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে 8 Ω এবং অন্যটিতে 10 Ω রোধ যুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় হবে? [উ: বাম প্রান্ত হতে 44.44 cm দূরে]

২৬। একটি মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে 12 Ω এর একটি আদর্শ রোধ এবং ডান ফাঁকে অজ্ঞাত রোধ যুক্ত করলে তারের বাম প্রান্ত থেকে 37.5 cm দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেল। অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় কর। [উ: 20 Ω]

২৭। 20 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে কত রোধের শান্ট যুক্ত করলে মোট তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার 0.5% গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে? [উ: 0.1005 Ω]

২৮। 20 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে 1 A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। একটি শান্ট ব্যবহারের ফলে এই প্রবাহ কমে 0.01 A হয়। শান্টের রোধ কত? [উ. 0.2 Ω]

২৯। $G\,\Omega$ রোধের কোনো গ্যালভানোমিটারের সাথে একটি শান্ট যুক্ত করায় যদি গ্যালভানোমিটারের ভেতর দিয়ে মূল প্রবাহের $\frac{1}{n}$ অংশ প্রবাহ চলে তবে প্রমাণ কর যে, শান্টের রোধ $\frac{G}{n-1}\,\Omega$।

৩০। একটি গ্যালভানোমিটারের রোধ 102 Ω। এর সাথে কত শান্ট যুক্ত করলে মূল তড়িৎ প্রবাহের 99% শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে? [উ. 1.03Ω]

চতুর্থ অধ্যায়

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব

MAGNETIC EFFECTS OF ELECTRIC CURRENT & MAGNETISM

আমরা জানি যে, স্থায়ী চুম্বকের চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্র থাকে। আমরা এই অধ্যায়ে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র, এর অভিমুখ, বিভিন্ন পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র, বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র, হল প্রভাব, চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর বল, চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত কোনো পরিবাহী কুণ্ডলীর উপর টর্ক ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো। এ ছাড়াও এ অধ্যায়ে আমরা পদার্থের চৌম্বক ধর্ম নিয়ে আলোচনা করবো। নানাবিধ পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ থেকে দেখা যায়, পৃথিবী পৃষ্ঠে একটি চৌম্বকক্ষেত্র বিদ্যমান। এ অধ্যায়ে এই চৌম্বকক্ষেত্র এবং তার বিভিন্ন উপাদান নিয়েও আলোচনা হবে।

প্রধান শব্দসমূহ :

চৌম্বকক্ষেত্র, টেসলা, তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া, ফ্লেমিং-এর ডান হস্তসূত্র, বিঁয়ো-স্যাঁভার সূত্র, অ্যাম্পিয়ারের সূত্র, হল প্রভাব, ফ্লেমিং এর বামহস্ত সূত্র, ভূ-চুম্বকত্বের মৌলিক উপাদান, বিচ্যুতি, বিনতি, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ H, ডায়াচৌম্বক পদার্থ, প্যারাচৌম্বক পদার্থ, ফেরোচৌম্বক পদার্থ, এন্টি ফেরোচৌম্বক পদার্থ, ফেরিচৌম্বক পদার্থ।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখন ফল	অনুচ্ছেদ
১	পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.১
২	বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.৪
৩	অ্যাম্পিয়ারের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.৬
৪	গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মান ও দিক নির্ণয় করতে পারবে।	৪.২
৫	পরিবাহী তারের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের বল নির্ণয় করতে পারবে।	৪.৮
৬	হল প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.৭
৭	চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবাহী লুপের ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক (ঘূর্ণন বল) ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.৯
৮	কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র বর্ণনা করতে পারবে।	৪.১০
৯	ইলেক্ট্রনের স্পিনের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র বর্ণনা করতে পারবে।	৪.১১
১০	পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর চৌম্বক উপাদান ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.১২; ৪.১৩
১১	বিভিন্ন প্রকার চৌম্বকত্ব বর্ণনা করতে পারবে।	৪.১৪
১২	চৌম্বক ডোমেইনের ধারণা বর্ণনা করতে পারবে।	৪.১৫
১৩	হিস্টোরিসিসের লেখচিত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.১৬
১৪	অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৪.১৭, ৪.১৮

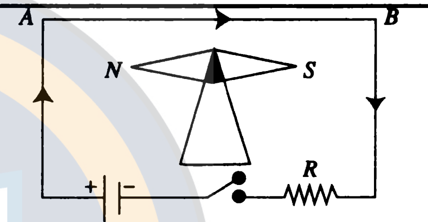
৪.১। চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা : ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা
Concept of Magnetic Field : Oersted's Experiment

নিজে কর : বাজারে পাওয়া যায় এমন একটি দিক নির্দেশক কম্পাস নাও। একটি পরিবাহী তার দিয়ে একে কয়েক পাক জড়িয়ে নাও। এখন তারের দুই প্রান্ত একটি শুষ্ক কোষের দুই প্রান্তে স্পর্শ করাও। পরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কী দেখলে ?

কম্পাসের চুম্বক শলাকাটি তার আগের উত্তর-দক্ষিণ অবস্থান থেকে ঘুরে গেল। আমরা জানি কোনো চুম্বক শলাকা তার সাম্যাবস্থান থেকে তখনই বিচ্যুত হয় যখন এটি একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে থাকে।

ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা

কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। একে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে। প্রবাহের এই চৌম্বক ক্রিয়া **ওয়েরস্টেড** 1819 সালে নিম্নোক্ত পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেন।



চিত্র : ৪.১

পরীক্ষা : মুক্তভাবে স্থাপিত একটি চুম্বক শলাকা NS-এর কিছু ওপরে এর দৈর্ঘ্য বরাবর পরিবাহী তার AB স্থাপন করে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হলে চুম্বক শলাকাটি তার সাম্যাবস্থান থেকে বিচ্যুত হয় [চিত্র ৪.১]।

পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ বাড়ালে চুম্বক শলাকার বিচ্যুতির পরিমাণও বেড়ে যায়। যদি পরিবাহীটিতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করে দেওয়া হয়, সেক্ষেত্রেও চুম্বক শলাকার বিচ্যুতি ঘটে—তবে এর ঘুরার দিক আগের ঘুরার দিকের বিপরীত হয়। আবার পরিবাহী তারটি চুম্বক শলাকার নিচে রেখে পরীক্ষাটি সম্পন্ন করাহলেও চুম্বক শলাকার বিচ্যুতি ঘটে। প্রবাহের দিক একই রেখে পরিবাহীটি শলাকার ওপরে রাখলে শলাকাটি যে দিকে ঘুরে এক্ষেত্রে তার বিপরীত দিকে ঘুরে। পরিবাহীতে প্রবাহ চালনা বন্ধ করা হলে শলাকাটি তার পূর্বের অবস্থানে ফিরে আসে।

আমরা জানি, মুক্ত অবস্থায় চুম্বক শলাকা ভূ-চুম্বকত্বের প্রভাবে সাম্যাবস্থায় উত্তর-দক্ষিণ বরাবর থাকে। এই চুম্বক শলাকার ওপর যদি অন্য কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাব থাকে তাহলেই সেটি তার সাম্যাবস্থান থেকে বিচ্যুত হয়। পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে চুম্বক শলাকাটি বিচ্যুত হয়—এর থেকে বোঝা যায় চুম্বক শলাকা যে স্থানে আছে সেখানে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়েছে। যতক্ষণ প্রবাহ থাকে ততক্ষণই এই চৌম্বক ক্ষেত্র থাকে। সুতরাং ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয় যে, তড়িৎপ্রবাহের ফলে এর চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই পরীক্ষা থেকে আরো বোঝা যায় যে, বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক বিভিন্ন হয়।

৪.২। চৌম্বক ক্ষেত্র : গতিশীল আধানের উপর বল
Magnetic Field : Force on a Moving Charge

আমরা জানি, একটি আহিত স্থির কণা তার চারপাশে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে।

স্থির তড়িতের আলোচনায় আমরা তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এর ব্যাপক ব্যবহার করেছি। আমরা দেখেছি একটি পরীক্ষণীয় আধান q কোনো স্থানে স্থাপন করলে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ তার ওপর $\vec{F} = q\vec{E}$ তড়িৎ বল (কুলম্ব বল) প্রয়োগ করে। তেমনিভাবে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অবতারণা করে আমরা চৌম্বক ঘটনাবলি আলোচনা করতে পারি। একটি গতিশীল আধান তার চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। একটি গতিশীল আধান অন্য একটি গতিশীল আধানের ওপর তড়িৎ বল (কুলম্ব বল) ছাড়াও অন্য বল প্রয়োগ করে। আধানসমূহের ওপর এই বেগনির্ভর বলই হচ্ছে চৌম্বক বল।

ধরা যাক, কোনো স্থানে একটি ধ্রুব চৌম্বকক্ষেত্র বিদ্যমান। কীভাবে এ চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হলো তা এখন আমাদের

বিবেচ্য নয়। সে বিষয়ে আমরা পরে আলোচনা করব। এ চৌম্বকক্ষেত্রের এবং সেই সাথে চৌম্বক বলের প্রকৃতি অনুসন্ধানের জন্য আমরা পরীক্ষণীয় বস্তু হিসেবে একটি গতিশীল আধান বিবেচনা করছি। একটি চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো গতিশীল আধান যে বল লাভ করে তা নিম্নোক্ত বিষয়গুলোর উপর নির্ভর করে :

১। আধানের পরিমাণ;

২। আধানের বেগ;

৩। চৌম্বকক্ষেত্রের মান;

৪। আধানের বেগের দিক এবং চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের অন্তর্ভুক্ত কোণ।

পরীক্ষা থেকে পাওয়া যায়, চৌম্বকক্ষেত্রে গতিশীল আধানের উপর বল (F) সর্বদা আধানের বেগের দিকের সাথে লম্ব বরাবর ক্রিয়া করে। এই বলের মান–

(ক) আধানের মানের (q) সমানুপাতিক;

(খ) আধানের বেগের (v) সমানুপাতিক;

(গ) চৌম্বকক্ষেত্রের মানের (B) সমানুপাতিক;

(ঘ) আধানের বেগের দিক চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে যে কোণ (θ) উৎপন্ন করে তার sin এর সমানুপাতিক।

সুতরাং $F \propto qvB \sin\theta$

কোনো স্থানে চৌম্বকক্ষেত্রের মান নির্দিষ্ট হলে এই বলের মান নির্ভর করবে কেবল আধানের মান, আধানের বেগ এবং আধানের বেগের দিক চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে তার ওপর।

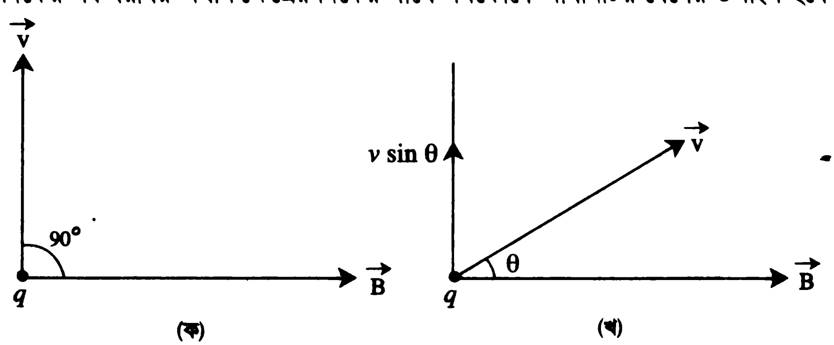
এখন একটি একক আধানকে কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে একক বেগে গতিশীল করলে ঐ আধানটি যে বল লাভ করে তাই হবে ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের মান।

একটি গতিশীল আধান বা স্থায়ী চুম্বক তার চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে একক বেগে চলমান একটি একক আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মানকে ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের মান বলে।

কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে q আধান v বেগে গতিশীল [চিত্র ৪·২ক] হলে ঐ আধানটি যদি F বল লাভ করে তাহলে একক আধান একক বেগে গতিশীল হলে $\frac{F}{qv}$ বল লাভ করবে। সুতরাং চৌম্বকক্ষেত্রের মান B হবে

$$B = \frac{F}{qv} \qquad (4.1)$$

কিন্তু যদি আধানটি চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল না হয়ে θ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪·২খ], তাহলে চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের লম্ব বরাবর অর্থাৎ ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে আধানটির বেগের উপাংশ হবে $v \sin\theta$ এবং



চিত্র : ৪.২

চৌম্বকক্ষেত্রের মান হবে,

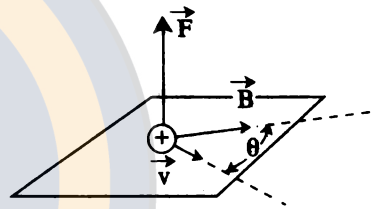
$$B = \frac{F}{qv \sin\theta} \qquad (4.2)$$

বা, $F = qvB \sin\theta$ (4.3)

পরীক্ষার মাধ্যমে প্রাপ্ত চৌম্বক বল $\vec{F}$ এর মান ও দিক আধানের বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর সাথে নিম্নোক্ত ভেক্টর সমীকরণ দ্বারা সঠিকভাবে সম্পর্কিত।

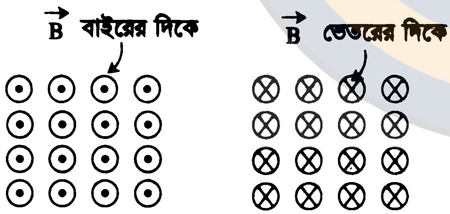
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \ldots \qquad (4.4)$$

বলের দিক : একটি ডানহাতি স্ক্রুকে বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর সমতলে লম্বভাবে স্থাপন করে $\vec{v}$ থেকে $\vec{B}$ এর দিকে ক্ষুদ্রতর কোণে ঘুরালে যে দিকে অগ্রসর হবে সে দিক গতিশীল ধনাত্মক আধানের ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের ($\vec{F}$) দিক নির্দেশ করে [চিত্র ৪.৩]। চৌম্বকক্ষেত্রে একটি ক্ষুদ্র চুম্বক শলাকা স্থাপন করলে এটি যে দিক বরাবর অবস্থান করে চৌম্বকক্ষেত্রের দিক হয় সেদিকে।



চিত্র : ৪.৩

আমরা যেমন তড়িৎক্ষেত্রকে তড়িৎ ক্ষেত্ররেখা বা বলরেখা দ্বারা নির্দেশ করতে পারি যার দিক এবং ঘনত্ব তড়িৎক্ষেত্রের দিক ও মান নির্দেশ করে, তেমনি আমরা চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ কে চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা দ্বারা নির্দেশ করতে পারি। **চৌম্বকক্ষেত্র রেখা হচ্ছে সেই সকল রেখা, যে বরাবর কোনো আহিত কণা যে কোনো বেগেই চলুক না কেন সেটি কোনো চৌম্বক বল অনুভব করে না।** কোনো স্থানে যেখানে চৌম্বক ক্ষেত্ররেখাগুলো ঘন সন্নিবিষ্ট সেখানে চৌম্বকক্ষেত্র প্রবল আর যেখানে রেখাগুলো দূরে দূরে অবস্থিত সেখানে চৌম্বকক্ষেত্র দুর্বল। একটি সুষম বা ধ্রুব চৌম্বকক্ষেত্রকে সুষম ব্যবধানের অনেকগুলো সমান্তরাল সরলরেখা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।



চিত্র : ৪.৪

অনেক সময় আমাদেরকে চৌম্বকক্ষেত্র রেখা যা এই কাগজের সমতলের লম্ব বরাবর ভেতর দিকে যাচ্ছে বা কাগজের সমতলের লম্ব বরাবর বেরিয়ে আসছে– চিত্রিত করতে হয়। চৌম্বকক্ষেত্র রেখার দিক কাগজের সাথে লম্ব বরাবর বাইরের দিক বোঝাতে (·) সংকেতটি এবং ভেতরের দিক বোঝাতে (×) সংকেতটি ব্যবহার করা হয় [চিত্র ৪.৪]। এই সংকেতগুলো আমাদেরকে যথাক্রমে কাগজ থেকে বেরিয়ে আসতে উদ্যত একটি তীরের অগ্রভাগকে এবং কাগজের মধ্যে ঢুকে যাওয়া একটি তীরের পেছনের পালকগুচ্ছকে মনে করিয়ে দেয়।

চৌম্বক ক্ষেত্রের একক : (4.2) সমীকরণের ডানপাশের রাশিগুলোর একক বসালে চৌম্বকক্ষেত্র B এর একক পাওয়া যায়। এ একক হলো $\frac{\text{N}}{\text{C ms}^{-1}}$। ক্রোয়েশিয়ার বিজ্ঞানী নিকোলা টেসলা এর নামানুসারে একে **টেসলা** (T) বলে।

$$1\text{T} = \frac{1\text{N}}{\text{C ms}^{-1}} = \frac{1\text{N}}{\text{C s}^{-1}\text{m}} = \frac{1\text{N}}{\text{Am}} = 1\ \text{NA}^{-1}\text{m}^{-1}$$

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১। কোনো স্থানে পূর্বমুখী চৌম্বকক্ষেত্রের মান 5 T। একটি ইলেকট্রন ঐ স্থানে 10^7 ms^{-1} বেগে উত্তরদিকে গতিশীল হলে এর ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের আধান 1.6×10^{-19} C।

আমরা জানি,

$F = qvB \sin \theta$

$= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \times 5 \text{ T} \times \sin 90°$

$= 8 \times 10^{-12}$ N

উ: 8×10^{-12} N

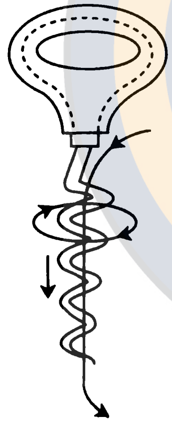
এখানে,
চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 5$ T
ইলেকট্রনের বেগ, $v = 10^7$ ms^{-1}
আধান, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C
চৌম্বকক্ষেত্র ও আধানের বেগের মধ্যবর্তী কোণ, $\theta = 90°$
বল, $F = ?$

৪·৩। তড়িৎপ্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান ও দিক

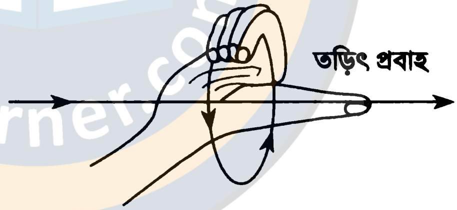
Magnitude and Direction of the Magnetic Field Produced by Electric Current

আমরা আগেই উল্লেখ করেছি যে, কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। কোনো বিন্দুতে এই চৌম্বকক্ষেত্রের মান কত হবে তা বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের সাহায্যে পাওয়া যায়। চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ নিম্নের দুটি সূত্রের যে কোনোটি ব্যবহার করে পাওয়া যায়।

১. ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে একটি ডানপাকের কর্ক স্ক্রুকে ঘুরালে হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী যেদিকে ঘুরে চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু সেদিকে বিক্ষিপ্ত হবে অর্থাৎ ঐ দিকই হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ। [চিত্র ৪·৫]।



চিত্র : ৪.৫



চিত্র : ৪.৬

২. ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তারকে প্রবাহের অভিমুখে বৃদ্ধাঙ্গুলী প্রসারিত করে ডান হাত দিয়ে মুষ্টিবদ্ধ করে ধরলে অন্য আঙ্গুলগুলোর মাথা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করে [চিত্র ৪·৬]।

৪·৪। বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র (The Biot-Savart's Law)

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চললে এর আশেপাশে কোনো বিন্দুর চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মান বের করার জন্য লাপ্লাস একটি সূত্র প্রদান করেন যা লাপ্লাসের সূত্র নামে পরিচিত। জীন ব্যাপ্টিস্ট বিয়োঁ এবং ফেলিক্স স্যাভাঁ সর্বপ্রথম পরীক্ষার মাধ্যমে লাপ্লাসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করেন বলে এই সূত্রটিকে বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রও বলা হয়।

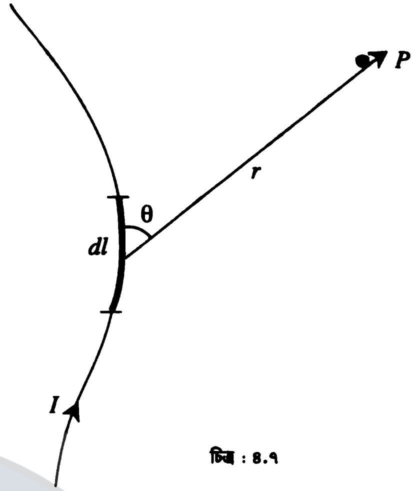
সূত্র : *নির্দিষ্ট মাধ্যমে কোনো পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলার ফলে এর আশেপাশে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, তড়িৎপ্রবাহের সমানুপাতিক,*

পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু থেকে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক, পরিবাহী এবং পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু ও ঐ বিবেচিত বিন্দুর সংযোজক সরলরেখার অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক।

কোনো পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য dl এর ভেতর দিয়ে যদি I তড়িৎ প্রবাহ চলে তাহলে পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু থেকে θ কোণে r দূরত্বে অবস্থিত কোনো বিন্দু P তে [চিত্র ৪·৭] চৌম্বক ক্ষেত্র $\overrightarrow{dB}$ এর মান হবে

$$dB \propto \frac{I\,dl\sin\theta}{r^2}$$

বা, $$dB = K\frac{I\,dl\sin\theta}{r^2} \quad (4.5)$$



চিত্র : ৪.৭

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এর মান রাশিগুলোর একক ও মাধ্যমের চৌম্বক ধর্মের উপর নির্ভর করে।

শূন্যস্থানে বিঁয়ো-স্যাভাঁর সূত্র :

এস. আই এককে চৌম্বকক্ষেত্রকে টেসলা (T), তড়িৎপ্রবাহকে অ্যাম্পিয়ার (A) এবং দৈর্ঘ্য ও দূরত্বকে মিটার (m)-এ পরিমাপ করলে শূন্যস্থানে বিঁয়ো-স্যাভাঁর সূত্রের সমানুপাতিক ধ্রুবক K-এর মান পাওয়া যায় $10^{-7}\,\text{TmA}^{-1}$।

এস. আই পদ্ধতিতে এই সমানুপাতিক ধ্রুবককে লেখা হয়,

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

এখানে μ_0 হচ্ছে একটি ধ্রুব সংখ্যা যাকে শূন্যস্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (permeability of free space or vacuum) বলে। এর মান হচ্ছে,

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$$

সুতরাং শূন্যস্থানে বিঁয়ো-স্যাভাঁর সূত্রের রূপ হলো,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \quad (4.6)$$

যে কোনো মাধ্যমে বিঁয়ো-স্যাভাঁর সূত্র :

তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান মাধ্যমের ওপর তথা মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার ওপর নির্ভর করে। μ চৌম্বক প্রবেশ্যতাবিশিষ্ট মাধ্যমে বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের রূপ হলো,

$$dB = \frac{\mu}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \quad (4.7)$$

সম্পূর্ণ তড়িৎবাহী পরিবাহীর জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মান হিসাব করতে হলে (4.6) বা (4.7) সমীকরণকে যোগজীকরণ করতে হবে। সুতরাং শূন্য স্থানের জন্য বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র

$$B = \int\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.7a)$$

এখানে যোগজীকরণের সীমা এমনভাবে নির্ধারণ করতে হবে যেন যোগজীকরণ পরিবাহীর সম্পূর্ণ দৈর্ঘ্য ব্যাপী হয়।

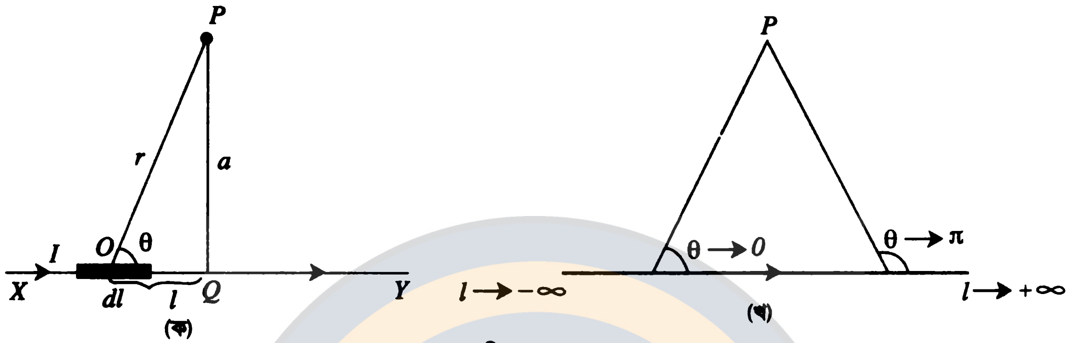
বিঁয়ো-স্যাভাঁর সূত্রের ভেক্টর রূপ হচ্ছে,

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int\frac{\mu_o I}{4\pi}\frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_o I}{4\pi}\int\frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3} \quad (4.7b)$$

৪.৫। বিয়োঁ-স্যাঁভার সূত্রের প্রয়োগ (Applications of Biot-Savart's Law)

(ক) অসীম দৈর্ঘ্যের তড়িৎবাহী সরল তারের দরুন চৌম্বকক্ষেত্র

বায়ু বা শূন্যস্থানে একটি দীর্ঘ ও সোজা পরিবাহী তার XY বিবেচনা করা যাক [চিত্র ৪·৮]। এর ভেতর দিয়ে X থেকে Y এর দিকে I প্রবাহ চলছে। এই তড়িৎ প্রবাহের ফলে P বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র B হিসাব করতে হবে।



চিত্র : ৪.৮

ধরি,

$QP = a =$ পরিবাহীর মধ্যবিন্দু থেকে P বিন্দুর দূরত্ব।

$dl =$ পরিবাহীর মধ্যবিন্দু থেকে l দূরত্বে অবস্থিত পরিবাহীর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য।

$r = dl$ এর মধ্যবিন্দু থেকে P বিন্দুর দূরত্ব।

$I =$ পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ।

$\theta =$ তড়িৎপ্রবাহ I বা dl এবং OP এর মধ্যবর্তী কোণ।

এখন বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র থেকে আমরা ক্ষুদ্র প্রবাহ উপাদানের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান পাই,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,dl\sin\theta}{r^2}$$

এই সমীকরণকে যোগজীকরণ করে অসীম দৈর্ঘ্যের সরল পরিবাহীর জন্য P বিন্দুতে মোট চৌম্বকক্ষেত্রের মান পাওয়া যাবে। যেহেতু পরিবাহীটি অসীম দৈর্ঘ্যের, সুতরাং যোগজীকরণের সীমা হবে $l = -\infty$ থেকে $l = \infty$ পর্যন্ত।

$$\therefore \quad B = \int dB = \int_{l=-\infty}^{l=\infty} \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{I\,dl\sin\theta}{r^2}$$

pdfcorner.com

$$\text{বা, } B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{l=-\infty}^{l=\infty} \frac{dl\sin\theta}{r^2} \quad \ldots \quad (4.8)$$

এই সমীকরণের r, θ এবং dl পরস্পর সম্পর্কযুক্ত হওয়ায় এই যোগজীকরণ সম্পন্ন করার জন্য এগুলোকে একটি মাত্র চলকের মাধ্যমে প্রকাশ করতে হবে। এখন ৪·৮ (ক) চিত্র থেকে-

$\cot\theta = \frac{-l}{a}$ [$\because$ l হচ্ছে Q বিন্দুর বাম দিকে]

$$\therefore -l = a\cot\theta \quad (4.9)$$

অন্তরীকরণ করে,

$dl = a \operatorname{cosec}^2\theta \, d\theta$

আবার, $\operatorname{cosec}\theta = \frac{r}{a}$

বা, $r = a \operatorname{cosec}\theta$

যোগজীকরণের সীমা নির্ধারণের জন্য (4.9) সমীকরণ বা ৪.৮খ চিত্র থেকে আমরা পাই,

যখন $l = -\infty$, তখন $\theta = 0$

এবং যখন $l = \infty$, তখন $\theta = \pi$

সুতরাং (4.8) সমীকরণ দাঁড়ায়

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{\pi} \frac{(a \operatorname{cosec}^2\theta \, d\theta)\sin\theta}{a^2 \operatorname{cosec}^2\theta}$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta \quad = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \Big[\cos\theta \Big]_0^{\pi}$$

$$= -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \Big[\cos\pi - \cos 0 \Big] = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \Big[-2 \Big]$$

$$\therefore \; B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

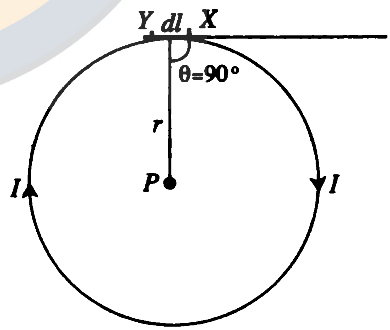
সুতরাং অসীম দৈর্ঘ্যের সরল তড়িৎবাহী তারের জন্য চৌম্বকক্ষেত্রের মান,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \qquad (4.10)$$

(খ) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র

একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী বিবেচনা করা যাক, যার ব্যাসার্ধ r। এই কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্র P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মান নির্ণয় করতে হবে।

ধরা যাক, YX হচ্ছে কুণ্ডলীর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য dl [চিত্র ৪.৯]।



চিত্র : ৪.৯

এখন বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র থেকে আমরা কুণ্ডলীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য dl এর জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্র P তে চৌম্বকক্ষেত্রের মান পাই,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin\theta}{r^2} \qquad (4.11)$$

এখানে θ হচ্ছে $\vec{dl}$ এবং $\vec{r}$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ। এখন (4.11) সমীকরণকে যোগজীকরণ করে সমগ্র কুণ্ডলীর জন্য P তে চৌম্বকক্ষেত্রের মান পাওয়া যায়। যেহেতু বৃত্তাকার পরিবাহীর দৈর্ঘ্য হচ্ছে কুণ্ডলীর পরিধির দৈর্ঘ্য অর্থাৎ $2\pi r$, সুতরাং যোগজীকরণের সীমা হবে $l = 0$ থেকে $l = 2\pi r$ পর্যন্ত।

$$\therefore \; B = \int dB = \int_{l=o}^{l=2\pi r} \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I dl \sin\theta}{r^2}$$

যেহেতু কুণ্ডলীর সকল বিন্দু থেকে বৃত্তের কেন্দ্র P এর দূরত্ব r সমান এবং কুণ্ডলীর যে কোনো অংশ dl এবং r এর অন্তর্ভুক্ত কোণ সর্বদা $\theta = 90°$; সুতরাং

$$B = \int_{l=o}^{l=2\pi r} \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idl \sin 90°}{r^2} = \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} \int_{l=o}^{l=2\pi r} dl$$

$$= \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} \left[l \right]_o^{2\pi r} = \frac{\mu_o I \times 2\pi r}{4\pi r^2}$$

$$\therefore B = \frac{\mu_o I}{2r}$$

কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N হলে,

$$B = \frac{\mu_o NI}{2r} \qquad (4.12)$$

দিক : ৪·৩ অনুচ্ছেদে বর্ণিত যে কোনো সূত্র ব্যবহার করে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক পাওয়া যায়। বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্ব। যদি কুণ্ডলীর দিকে তাকালে প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে হয় তবে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে আর প্রবাহের অভিমুখ যদি ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকে হয় তবে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর বাইরের দিকে।

গাণিতিক উদহারণ : ৪.২। একটি বিদ্যুৎ সরবরাহ লাইন 80 A তড়িৎ প্রবাহ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে প্রেরণ করছে। এই তড়িৎ প্রবাহের দরুন লাইনের 1.5 m নিচে চৌম্বকক্ষেত্রের মান কত হবে?]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi a}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 80\ \text{A}}{2\pi \times 1.5\ \text{m}}$$

$$= 1.07 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

উ: 1.07×10^{-5} T

এখানে,
তড়িৎ প্রবাহ, $I = 80$ A
বিন্দুর দূরত্ব, $a = 1.5$ m
$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$
চৌম্বকক্ষেত্র, $B = ?$

গাণিতিক উদহারণ : ৪.৩। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 32 cm এবং পাকসংখ্যা 40। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে 100 μT [বা μWbm⁻²] এর চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হয়?

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_o NI}{2r}$$

বা, $I = \dfrac{B2r}{\mu_o N}$

$$= \frac{100 \times 10^{-6}\text{T} \times 2 \times 16 \times 10^{-2}\text{m}}{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 40}$$

$$= 0.64\ \text{A}$$

উ: 0.64 A.

এখানে,
কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ, $r = \frac{32\ \text{cm}}{2}$ 16 cm = 16×10^{-2} m
কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা, $N = 40$
চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 100\ \mu\text{T}$ [বা, $\mu\text{Wb m}^{-2}$]
$= 100 \times 10^{-6}$ T
তড়িৎ প্রবাহ, $I = ?$
$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$

চৌম্বকক্ষেত্রে আধানের গতি
Charge Moving in a Magnetic field

আগেই আলোচনা করা হয়েছে যে, কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে একটি গতিশীল আধান একটি বল লাভ করে। এই বলকে বলা হয় **লরেঞ্জ চৌম্বক বল**। ধরা যাক, $+q$ আধানবিশিষ্ট কোনো কণা সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ তে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল। এখন চৌম্বকক্ষেত্র কর্তৃক এর উপর প্রযুক্ত বল,

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) \qquad (4.13)$$

মান : এই বলের মান হলো,

$$F_m = qvB \sin\theta \qquad (4.14)$$

এখানে θ হচ্ছে বেগ $\vec{v}$ এবং ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী ক্ষুদ্রতর কোণ।

বিশেষ ক্ষেত্র :

১. আধানটি যদি স্থির হয় অর্থাৎ যদি $v = 0$ হয় তাহলে $F_m = 0$।
সুতরাং কোনো স্থির আধান কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক বল অনুভব করে না।

২. যদি $\theta = 0^\circ$ বা 180° হয়, অর্থাৎ আধানটি যদি চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল হয়, তাহলে $F_m = 0$
সুতরাং চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সমান্তরালে গতিশীল কোনো আধান চৌম্বক বল অনুভব করে না।

৩. যদি $\theta = 90^\circ$ হয়, অর্থাৎ আধানটি যদি চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে গতিশীল হয়, তাহলে $F_m = qvB$

একটি গতিশীল আধান কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে সর্বোচ্চ এই পরিমাণ বল অনুভব করতে পারে। এই ক্ষেত্রে $\vec{F}_m$ এর অভিমুখ ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্র থেকে পাওয়া যায়।

বাম হাতের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলী পরস্পর সমকোণে প্রসারিত করে তর্জনীকে চৌম্বকক্ষেত্রের ($\vec{B}$) অভিমুখে এবং মধ্যমাকে ধনাত্মক আধানের বেগের ($\vec{v}$) দিকে স্থাপন করলে বৃদ্ধাঙ্গুলী বলের ($\vec{F}_m$) দিক নির্দেশ করে। আধানটি ঋণাত্মক হলে বলের দিক বিপরীতমুখী হয়ে যাবে।

৪. যখন q আধানটি এমন একটি স্থানে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল হয় যেখানে একই সময়ে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ বিদ্যমান, তখন এর উপর ক্রিয়াশীল বল হয়–

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\text{বা, } \vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \qquad (4.15)$$

এই বলকে বলা হয় লরেঞ্জ বল।

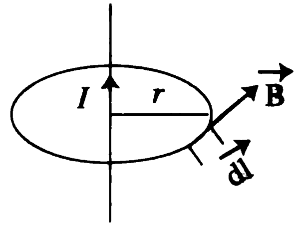
লরেঞ্জ বলের সংজ্ঞা : ***কোনো স্থানে একই সময়ে একটি তড়িৎক্ষেত্র ও একটি চৌম্বকক্ষেত্র বিদ্যমান থাকলে সেখানে একটি গতিশীল আধান যে লব্ধি বল অনুভব করে তাকে লরেঞ্জ বল বলে।***

৪.৬। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র (Ampere's Law)

স্থির তড়িতে কুলম্ব সূত্রের সাহায্যে স্থির তড়িৎক্ষেত্র সংক্রান্ত সহজ সমস্যার সমাধান করা সম্ভব। কিন্তু জটিল সমস্যার সমাধানের জন্যে গাউস-এর সূত্রের প্রয়োজন পড়ে। তেমন তড়িতচৌম্বকত্বের ক্ষেত্রে বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের সাহায্যে সমস্যার সমাধান করা হয়। সমস্যা সমাধানের সময় জটিল যোগজীকরণ পরিহার করার জন্য অ্যাম্পিয়ারের সূত্রের অবতারণা করা হয়।

ধরা যাক, একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে I প্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে। পরিবাহীটিকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটা বৃত্তাকার পথ কল্পনা করা যাক (চিত্র ৪.১০)। এই বৃত্তের পরিধির উপর সকল বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ হলে, পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে পাওয়া যায়,

$$B \propto \frac{I}{r} \text{ বা, } B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$



চিত্র : ৪.১০

এখানে, $\frac{\mu_o}{2\pi}$ হচ্ছে সমানুপাতিক ধ্রুবক।

অতএব, $B\, 2\pi\, r = \mu_o I$

বামপক্ষকে লেখা যায়, $\oint \vec{B} . d\vec{l}$

এখানে $d\vec{l}$, বৃত্তাকার যোগজীকরণ পথের সাথে স্পর্শক বরাবর বিরাজ করে।

অতএব, $\oint \vec{B} . d\vec{l} = \oint Bdl \cos 0° = B\oint dl = B\, 2\pi r$ [$\because$ $\vec{B}$ এবং $d\vec{l}$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ $0°$]

সুতরাং B এবং I এর মধ্যকার পরীক্ষালব্ধ সম্পর্ক হচ্ছে,

$$\oint \vec{B} . d\vec{l} = \mu_o I$$

সূত্রের বিবৃতি : ***কোনো বদ্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের রৈখিক যোগজীকরণ, পথটি দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রফলের মধ্যে প্রবাহিত মোট তড়িৎ প্রবাহের μ_o গুণ।***

$$\oint \vec{B} . d\vec{l} = \mu_o I \tag{4.16}$$

এখানে, μ_o = শূন্যস্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা

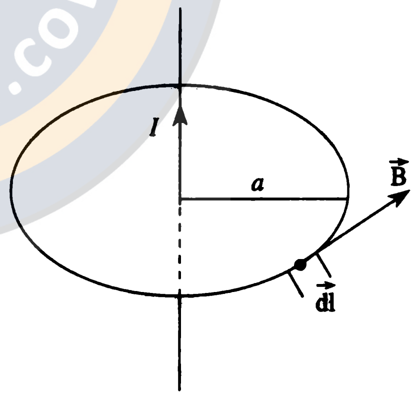
$d\vec{l}$ = পথের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র ভেক্টর উপাদান

$\oint$ = প্রতীক দ্বারা বদ্ধ পথে যোগজীকরণ বোঝানো হচ্ছে।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্রের প্রয়োগ

দীর্ঘ ও সোজা তড়িৎবাহী পরিবাহীর নিকটে কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র

ধরা যাক, একটি দীর্ঘ সোজা পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I সুষম তড়িৎ প্রবাহ চলছে। পরিবাহীটি থেকে a দূরত্বে কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মান নির্ণয় করতে হবে। [চিত্র ৪.১১]। পরিবাহীটিকে কেন্দ্র করে a ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথ অঙ্কন করা হলো। একে অ্যাম্পিয়ারের পথ বলে। এই পথের সকল বিন্দুতে $\vec{B}$ এর মান সমান। এই পথের উপর একটি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য $d\vec{l}$ নিলে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ সর্বত্র $d\vec{l}$ এর সমান্তরাল হয় অর্থাৎ এদের মধ্যবর্তী কোণ $0°$।



চিত্র : ৪.১১

এখন অ্যাম্পিয়ারের সূত্র প্রয়োগ করে,

$$\oint \vec{B} . d\vec{l} = \mu_o I$$

বা, $\oint Bdl\cos 0° = = \mu_o I$

বা, $B \oint dl = \mu_o I$

বা, $B\, 2\pi a = = \mu_o I$

$$\therefore B = \frac{\mu_o I}{2\pi a} \tag{4.16a}$$

লক্ষণীয় যে, বিয়োঁ-স্যাভার সূত্র প্রয়োগ করেও এই চুম্বকক্ষেত্রের জন্য একই রাশিমালা পাওয়া যায়। সমীকরণ (4.10) দ্রষ্টব্য।

৪·৭। হল প্রভাব (Hall Effect)

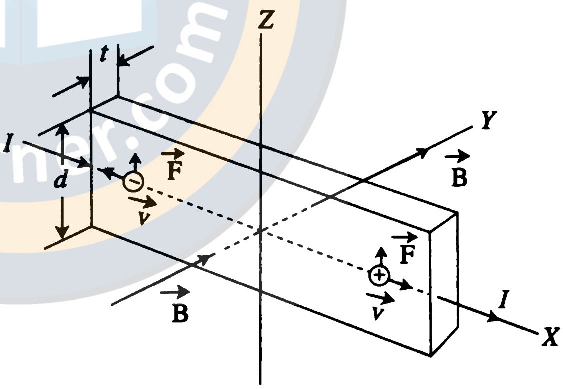
আমরা জানি, চৌম্বকক্ষেত্রে গতিশীল আধান চৌম্বক বল লাভ করে। ফলে আধানটি তার গতিপথ থেকে বিচ্যুত হয়। ১৮৭৯ সালে এডুইন হল দেখান যে, বায়ু বা শূন্যস্থানের মতো কঠিন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে চলমান আধানেরও চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুতি ঘটে। হল আবিষ্কার করেন যে, যখন কোনো প্রবাহবাহী পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হয়, তখন প্রবাহ্‌ এবং চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্বভাবে একটি ভোল্টেজ উৎপন্ন হয় অর্থাৎ বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে হল প্রভাব বলা হয়।

আমরা জানি, যে সকল আহিত কণা এক স্থান থেকে অন্যস্থানে যায়, অর্থাৎ যাদের মাধ্যমে আধান স্থানান্তরিত হয় তাদেরকে আধান বাহক (Charge carrier) বলে। যেমন ইলেকট্রন হচ্ছে ঋণাত্মক আধান বাহক। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে যখন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় অর্থাৎ আধান বাহক চলে তখন আধান বাহকগুলো চৌম্বক বল লাভ করে, ফলে এগুলো তাদের গতিপথ থেকে বিচ্যুত হয়ে এক পাশে জমা হয়। এতে পরিবাহীর দুই পাশের মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত বিশ্লেষণ করে এই আধান বাহকের প্রকৃতি তথা চিহ্ন অর্থাৎ আধান বাহক ধনাত্মক না ঋণাত্মক এবং তাদের সংখ্যা ঘনত্ব (একক আয়তনে আধান বাহকের সংখ্যা) সম্পর্কে জানা যায়। এই প্রভাব থেকে চৌম্বকক্ষেত্রও পরিমাপ করা যায়। হল প্রভাব যখন আবিষ্কৃত হয় তখনও ইলেকট্রন আবিষ্কৃত হয়নি। ফলে তড়িৎ প্রবাহ যে ইলেকট্রনের প্রবাহ বিজ্ঞানীদের তা জানা ছিল না।

সংজ্ঞা : কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয়। এ ঘটনাকে হল প্রভাব বলে।

হল প্রভাবের সাহায্যে আধানের প্রকৃতি নির্ণয়

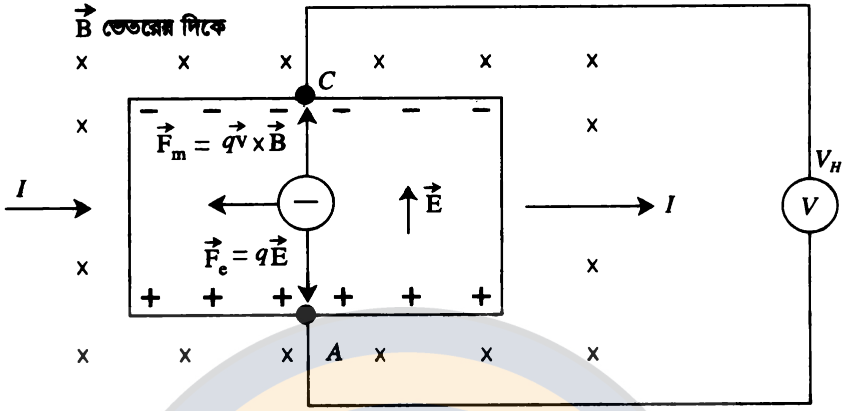
৪·১২ চিত্রে একটি পাতলা পাত আকৃতির পরিবাহী দেখানো হলো। এর মধ্য দিয়ে ধনাত্মক X অক্ষ বরাবর I তড়িৎ প্রবাহ চলছে। ধনাত্মক Y অক্ষ বরাবর একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ করা হলো। যদি আধান বাহক ইলেকট্রন হয়, তাহলে সেগুলো তড়িৎ প্রবাহের প্রচলিত দিকের বিপরীত দিকে অর্থাৎ ঋণাত্মক X-অক্ষ বরাবর গতিশীল হবে। ধরা যাক, এদের সঞ্চরণ (drift) বেগ $\vec{v}$। এগুলো একটি চৌম্বক বল $\vec{F}$ লাভ করবে। ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্রানুসারে (অনুচ্ছেদ ৪.৮) এ বলের দিক হবে ধনাত্মক Z-অক্ষ বরাবর অর্থাৎ ওপরের দিকে। সুতরাং ইলেকট্রনগুলো ওপরের দিকে বিক্ষিপ্ত হবে এবং ওপরের প্রান্তে এসে ইলেকট্রন জমা হবে, ফলে নিচের প্রান্তে অতিরিক্ত ধনাত্মক আধান জমা হবে [চিত্র ৪·১৩ ক]।



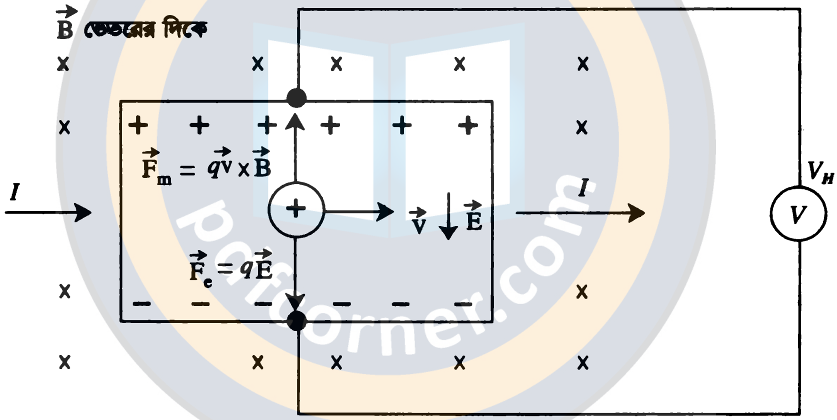
চিত্র : ৪.১২

পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিপরীত জাতীয় আধান জমা হওয়ায় দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হবে এবং তড়িৎক্ষেত্রের উদ্ভব হবে। এই তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ দিক তথা তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে ধনাত্মক আধান থেকে ঋণাত্মক আধানের দিকে অর্থাৎ পরিবাহীর নিচের প্রান্ত থেকে ওপরের প্রান্তের দিকে। এ তড়িৎক্ষেত্রের দরুন ঋণাত্মক আধান বাহক ইলেকট্রনগুলো তড়িৎক্ষেত্রের বিপরীত দিকে অর্থাৎ পরিবাহীর ওপরের প্রান্ত থেকে নিচের প্রান্তের দিকে বল লাভ করবে এবং নিচের প্রান্তের দিকে বিক্ষিপ্ত হতে চেষ্টা করবে। এতে ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল ($\vec{F}_m$) এবং তড়িৎক্ষেত্রের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ বল ($\vec{F}_e$) পরস্পর বিপরীতমুখী হয়। এদের মান সমান হলে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হবে, ফলে

ইলেকট্রনগুলো আর ওপরের দিকে বিক্ষিপ্ত হবে না। একটি ভোল্টমিটার দ্বারা পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা যেতে পারে। এই বিভব পার্থক্যকে **হল ভোল্টেজ** বলা হয়।



(ক)



(খ)

চিত্র : ৪.১৩

আর আধান বাহক ধনাত্মক হলে সেগুলো প্রবাহের অভিমুখে অর্থাৎ ধনাত্মক X-অক্ষ বরাবর $\vec{v}$ বেগে গতিশীল হবে [চিত্র ৪·১৩ খ]। ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্রানুসারে (অনুচ্ছেদ ৪.৮) এগুলোও ঊর্ধ্বমুখী $q\vec{v} \times \vec{B}$ বল অনুভব করে। এর ফলে পরিবাহীর ওপরের প্রান্তে ধনাত্মক আধান জমা হবে এবং নিচের প্রান্তে অতিরিক্ত ঋণাত্মক আধান জমা হবে। সুতরাং এ ক্ষেত্রে পরিবাহীতে উদ্ভূত হল ভোল্টেজের চিহ্ন ইলেকট্রনের বিক্ষেপের ফলে উদ্ভূত হল ভোল্টেজের চিহ্নের বিপরীত হবে। সুতরাং হল ভোল্টেজের চিহ্ন থেকে আধান বাহকের চিহ্ন তথা প্রকৃতি অর্থাৎ আধান বাহক ধনাত্মক না ঋণাত্মক তা জানা যায়।

কোনো পদার্থের মধ্য দিয়ে ধনাত্মক X-অক্ষ বরাবর তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে যদি ধনাত্মক Y-অক্ষ বরাবর একটি চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়, তাহলে Z-অক্ষ বরাবর হল ভোল্টেজের বা বিভব পার্থক্যের উদ্ভব হবে। এখন ভোল্টমিটার বা পটেনশিওমিটার দ্বারা এই বিভব পার্থক্য পরিমাপ করলে যদি দেখা যায় ওপরের প্রান্তের বিভব নিচের প্রান্তের বিভবের চেয়ে বেশি তাহলে বুঝতে হবে আধান বাহক ধনাত্মক। আর যদি দেখা যায় পদার্থটির নিচের প্রান্তের বিভব ওপরের প্রান্তের চেয়ে বেশি তাহলে বুঝতে হবে আধান বাহক ঋণাত্মক।

সেমিকন্ডাক্টরে যেমন সিলিকন, জার্মেনিয়াম প্রভৃতিতে যে আধান বাহকের গতির জন্য তড়িৎ প্রবাহ চলে তা ধনাত্মক (হোল) বা ঋণাত্মক (ইলেকট্রন) উভয়ই হতে পারে। সুতরাং হল প্রভাব থেকে দেখা যায় যে, সেমিকন্ডাক্টরের ক্ষেত্রে দুই ধরনের আধান বাহকের জন্যই তড়িৎ প্রবাহ চলে।

হল ভোল্টেজ : কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর যে বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয় তাকে হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ বলে।

হল ভোল্টেজের রাশিমালা

৪·১২ চিত্রে একটি চ্যাপ্টা পাত আকৃতির পরিবাহী দেখানো হয়েছে। এর মধ্যদিয়ে ধনাত্মক X-অক্ষ বরাবর তড়িৎ প্রবাহ I চলছে। এর সমকোণে অর্থাৎ ধনাত্মক Y অক্ষ বরাবর একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ করা হলো।

ধরা যাক,

A = পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল

d = পরিবাহীর প্রস্থ অর্থাৎ এর ওপর ও নিচের এই দুই প্রান্তের দূরত্ব

t = পরিবাহীর পুরুত্ব

B = চৌম্বকক্ষেত্র

q = প্রতিটি আধান বাহকের আধান

v = আধান বাহকের সঞ্চরণ বেগ

n = পরিবাহীর প্রতি একক আয়তনে আধান বাহকের সংখ্যা

I = তড়িৎ প্রবাহ

V_H = হল ভোল্টেজ

E = হল তড়িৎক্ষেত্র তীব্রতা বা প্রাবল্য

এখন আধান বাহকের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল,

$F_m = qvB$ (যেহেতু v এবং B সমকোণে $\therefore \theta = 90^\circ$)

আবার, পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য তথা তড়িৎক্ষেত্রের দরুন আধান বাহকের ওপর তড়িৎ বল

$F_e = qE = q\dfrac{V_H}{d}$ $[\because V_H = Ed]$

সাম্যাবস্থায়,

$F_m = F_e$

বা, $qv\,B = q\dfrac{V_H}{d}$

বা, $V_H = Bvd$ ... (4.17)

সুতরাং দেখা যায়, যদি পরিবাহীর প্রস্থ d এবং চৌম্বকক্ষেত্র জানা থাকে, তাহলে হল ভোল্টেজ V_H পরিমাপ করে আমরা আধান বাহকের সঞ্চরণ বেগ বের করতে পারি।

আবার, সঞ্চরণ বেগের সাথে তড়িৎ প্রবাহের সম্পর্ক হলো

$I = nAvq$

বা, $v = \dfrac{I}{nAq}$

এবং ৪·১২ চিত্র থেকে $A = d \times t = dt$

$\therefore v = \dfrac{I}{ndtq}$

(4.17) সমীকরণে v এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$V_H = \frac{BI}{ntq} \qquad (4.18)$$

এখন B, I, t, q ধ্রুব হলে

$$V_H \propto \frac{1}{n}$$

অর্থাৎ হল ভোল্টেজ প্রতি একক আয়তনে আধান বাহকের ব্যস্তানুপাতিক।

(4.18) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$n = \frac{BI}{tqV_H}$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায়, হল ভোল্টেজ পরিমাপ করে একক আয়তনের আধান বাহকের সংখ্যা n নির্ণয় করা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৪। একটি 2.0 cm চওড়া এবং 1.0 mm পুরু ধাতব পাতকে 1.5 T এর চৌম্বকক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন পাতের সমতল চৌম্বকক্ষেত্রের লম্বভাবে থাকে। পাতের মধ্য দিয়ে 200 A এর তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে উদ্ভূত হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর। পাতের প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা 8.4×10^{28} m^{-3}।

আমরা জানি,

$$V_H = \frac{BI}{ntq}$$

$$= \frac{1.5\text{T} \times 200\text{ A}}{8.4 \times 10^{28}\text{ m}^{-3} \times 1 \times 10^{-3}\text{ m} \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}}$$

$$= 22.32 \times 10^{-6}\text{ V}$$

উ: 22.32×10^{-6} V

এখানে,

পাতের প্রস্থ, $d = 2.0$ cm $= 2 \times 10^{-2}$ m

পাতের পুরুত্ব, $t = 1.0$ mm $= 1 \times 10^{-3}$ m

চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 1.5$ T

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 200$ A

একক আয়তনে আধান বাহকের সংখ্যা,

$n = 8.4 \times 10^{28}$ m^{-3}

আধান, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

হল ভোল্টেজ, $V_H = ?$

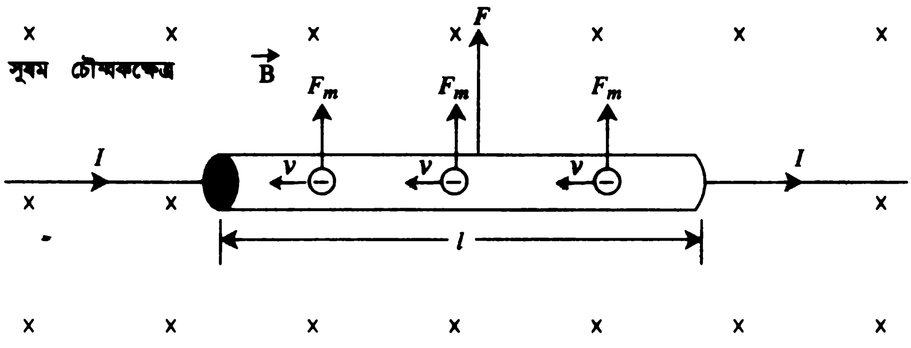
pdfcorner.com

৪.৮। চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহীর ওপর বল
Force on a Current Carrying Conductor in a Magnetic Field

> নিজে কর :
> একটি দণ্ড চুম্বককে খাড়া করে বা অন্যভাবে এমন করে রাখো যেন এর যে কোনো একটি মেরুর পাশে একটি পরিবাহী তার মোটামুটি মুক্তভাবে ঝুলতে পারে। এখন এই তারের দুই মাথা একটি শুষ্ক কোষের দুই প্রান্তের সাথে সংযুক্ত কর। কী দেখলে?

ঝুলানো তারটি তার অবস্থান থেকে সরে গেল। তড়িৎবাহী তারটি একটি বল লাভ করে বলে এটি স্থানচ্যুত হয়।

আমরা জানি, চৌম্বকক্ষেত্র গতিশীল আধানের ওপর বল প্রয়োগ করে। সুতরাং চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎবাহী পরিবাহীর গতিশীল আধানগুলোর ওপর তথা পরিবাহীর উপর অবশ্যই বল প্রয়োগ করবে। আমরা এখন তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর চৌম্বকক্ষেত্রের প্রযুক্ত এই বল নির্ণয় করব। ৪·১৪ চিত্রে একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত



চিত্র : ৪.১৪

একটি পরিবাহীকে দেখা যাচ্ছে। চিত্রে × চিহ্ন থেকে বোঝা যাচ্ছে সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অভিমুখ হচ্ছে কাগজের তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ I বামদিক থেকে ডানদিকে প্রবাহিত হচ্ছে। সুতরাং আধান বাহক ইলেকট্রন ডানদিক থেকে বামদিকে গতিশীল।

ধরা যাক,

l = পরিবাহীর দৈর্ঘ্য

A = পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল

n = পরিবাহীর প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা

q = প্রতিটি ইলেকট্রনের আধান

v = ইলেকট্রনের সঞ্চরণ বা তাড়ন বেগ

B = চৌম্বকক্ষেত্রের মান

I = পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ

যেহেতু তড়িৎবাহী পরিবাহীটি চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয়েছে, তাই পরিবাহীর প্রতিটি ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল,

$F_m = qvB \sin 90^\circ = qvB$

এখন পরিবাহীতে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা N হলে পরিবাহীর সকল ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়াশীল বল তথা পরিবাহীর ওপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = NF_m$

কিন্তু $N = n \times$ পরিবাহীর আয়তন

$= nAl$

$\therefore F = nAl\ F_m = nAlqvB$

কিন্তু $I = nAqv$

$$\therefore F = IlB \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.19)$$

কিন্তু তড়িৎবাহী পরিবাহী যদি চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে না থেকে θ কোণ উৎপন্ন করে তাহলে একটি ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল হবে,

$F_m = qvB \sin\theta$ এবং সমগ্র পরিবাহীর ওপর বল হবে

$$F = IlB \sin\theta \quad (4.20)$$

এই সমীকরণকে ভেক্টররূপে নিম্নোক্তভাবে দুটি ভেক্টরের ভেক্টর গুণফল হিসেবে লিখলে ঐ সমীকরণ থেকে প্রযুক্ত বলের মান ও দিক উভয়ই পাওয়া যায়।

$$\vec{F} = I\,\vec{l} \times \vec{B} \qquad (4.21)$$

এখানে ভেক্টর $\vec{l}$ এর মান পরিবাহীর দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে। $\vec{l}$ এর দিক ধরা হয় ধনাত্মক আধানের গতির দিকে তথা তড়িৎ প্রবাহের দিকে।

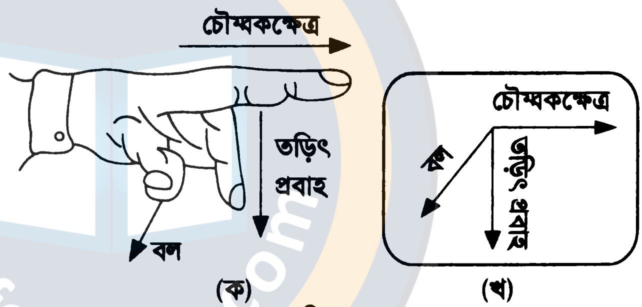
N পাকের কোনো কুণ্ডলী হলে তার ওপর প্রযুক্ত বল

$$\vec{F} = NI\,\vec{l} \times \vec{B}$$

বলের দিক : তড়িৎবাহী পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বল $\vec{F}$ এর দিক সর্বদাই তড়িৎ প্রবাহ এবং $\vec{B}$ এর অভিমুখের সাথে লম্ব। ভেক্টর গুণনের দিক সম্পর্কিত ডানপাকের স্ক্রুর নিয়ম থেকে এর দিক পাওয়া যায়। তড়িৎ প্রবাহ তথা পরিবাহী এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর সমতলে একটি ডান পাকের স্ক্রুকে লম্বভাবে স্থাপন করে তড়িৎ প্রবাহের দিক থেকে $\vec{B}$ এর দিকে ক্ষুদ্রতর কোণে ঘুরালে স্ক্রুটি যে দিকে অগ্রসর হবে বল $\vec{F}$ এর দিক হবে সেদিকে।

বিশেষ ক্ষেত্র I : যদি তড়িৎ প্রবাহ তথা পরিবাহী চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে থাকে, তাহলে বলের দিক ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্র থেকে পাওয়া যায়।

ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্র : বাম হাতের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলী পরস্পর সমকোণে প্রসারিত করে তর্জনীকে চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে এবং মধ্যমাকে প্রবাহের অভিমুখে স্থাপন করলে বৃদ্ধাঙ্গুলী পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ তথা পরিবাহীর গতির বা বিক্ষেপের দিক নির্দেশ করে [চিত্র ৪·১৫]।



চিত্র : ৪.১৫

বিশেষ ক্ষেত্র II : যদি তড়িৎবাহী পরিবাহীটি চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকে অর্থাৎ প্রবাহ ও চৌম্বকক্ষেত্রের অন্তর্ভুক্ত কোণ $\theta = 0°$ বা $180°$ হয়, তাহলে (4.17) সমীকরণ অনুসারে পরিবাহীর ওপর বল হবে,

$$F = IlB \sin 0° = 0$$

সুতরাং চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপিত তড়িৎবাহী পরিবাহী কোনো বল অনুভব করে না।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৫। কোনো স্থানে 10^{-2} T এর চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে $60°$ কোণ করে একটি তার স্থাপন করে এর ভেতর দিয়ে 2 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলো। তারটির দৈর্ঘ্য 50 cm হলে এটি কত বল অনুভব করবে?

আমরা জানি,

$F = Il\,B \sin\theta$

$= 2\text{A} \times 0.5\text{ m} \times 10^{-2}\text{ T} \times \sin 60°$

$= 8.66 \times 10^{-3}$ N

উ: 8.66×10^{-3} N

এখানে,

চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 10^{-2}$ T

চৌম্বকক্ষেত্র ও পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণ, $\theta = 60°$

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 2$ A

তারের দৈর্ঘ্য, $l = 50$ cm $= 0.5$ m

বল, $F = ?$

pdfcorner.com

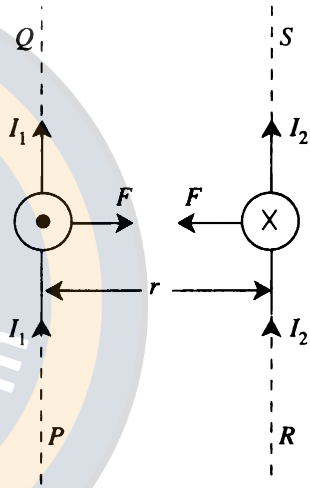
সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : তড়িৎবাহী দুটি সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা বের কর এবং সেখান থেকে অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

আমরা জানি, কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহক তার আশেপাশে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সুতরাং এর কাছাকাছি অন্য কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহক আনলে সেটি চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য একটি বল অনুভব করবে। অনুরূপভাবে দ্বিতীয় তড়িৎবাহী পরিবাহকও একটি চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করবে এবং এর দরুন প্রথম পরিবাহক বল অনুভব করবে। সুতরাং দুটি তড়িৎবাহী পরিবাহক পাশাপাশি স্থাপন করলে উভয়ই বল অনুভব করে।

ধরা যাক, PQ এবং RS দুটি সরল সমান্তরাল পরিবাহক শূন্যস্থানে অবস্থিত [চিত্র ৪.১৬]। এদের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে I_1 এবং I_2 প্রবাহ একই দিকে প্রবাহিত হচ্ছে। ধরা যাক, পরিবাহক দুটির মধ্যকার দূরত্ব r। সুতরাং PQ পরিবাহকের I_1 তড়িৎ প্রবাহের জন্য RS পরিবাহকের যে কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র

$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r}$$

B_1 এর অভিমুখ পরিবাহকদ্বয়ের সমতলের সাথে লম্ব এবং তা সমতলের ভেতরের দিকে। × চিহ্ন দ্বারা এই দিক নির্দেশ করা হয়েছে। সুতরাং RS পরিবাহকটি চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। ধরা যাক, RS পরিবাহকের l দৈর্ঘ্যের ওপর প্রযুক্ত বল F'।



চিত্র : ৪.১৬

সুতরাং $F' = B_1 I_2 l \sin 90° = B_1 I_2 l$

বা, $F' = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r} l$

এখন RS এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বল,

$$F = \frac{F'}{l} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্র প্রয়োগ করে আমরা এই বলের দিক পাই PQ এর দিকে। অনুরূপভাবে দেখা যায় যে, PQ পরিবাহকটিও RS এর দিকে এই পরিমাণ বল অনুভব করে।

দুটি সরল সমান্তরাল তড়িৎবাহী পরিবাহকের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল নিম্নোক্ত দুটি সূত্র মেনে চলে।

১. দুটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং দুটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

২. দুটি সরল সমান্তরাল তড়িৎবাহী পরিবাহকের মধ্যকার ক্রিয়াশীল বল প্রবাহদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক, বিবেচিত পরিবাহকের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক এবং পরিবাহকদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক।

অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা : 1 সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

যখন $r = 1\text{m}, I_1 = I_2 = 1\text{A}$

তখন $F = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 1\text{A} \times 1\text{A}}{2\pi \times 1\text{m}} = 2 \times 10^{-7}\ \text{TA}$

$= 2 \times 10^{-7}\ \text{NA}^{-1}\ \text{m}^{-1}\ \text{A} = 2 \times 10^{-7}\ \text{Nm}^{-1}$

এর থেকে নিম্নোক্ত উপায়ে অ্যাম্পিয়ারের (A) সংজ্ঞা দেওয়া হয়।

সংজ্ঞা : ***শূন্যস্থানে এক মিটার দূরত্বে অবস্থিত অসীম দৈর্ঘ্যের এবং উপেক্ষণীয় প্রস্থচ্ছেদের দুটি সমান্তরাল সরল পরিবাহকের প্রত্যেকটিতে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চললে পরস্পরের মধ্যে প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2×10^{-7} নিউটন বল উৎপন্ন হয় তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।***

গাণিতিক উদাহরণ : ৪.৬। 15 m এবং 20 m দৈর্ঘ্যের দুটি তারের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে 5.0 A এবং 7.0 A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। তারদ্বয় 4.0 cm ব্যবধানে অবস্থিত হলে এদের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 5.0\ \text{A} \times 7.0\ \text{A}}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}\ \text{m}}$$

$$= 1.75 \times 10^{-4}\ \text{Nm}^{-1}$$

উ: $1.75 \times 10^{-4}\ \text{Nm}^{-1}$

এখানে,

প্রথম তারের দৈর্ঘ্য, $l_1 = 15$ m

প্রথম তারে প্রবাহ, $I_1 = 5.0$ A

দ্বিতীয় তারের দৈর্ঘ্য, $l_2 = 20$ m

দ্বিতীয় তারে প্রবাহ, $I_2 = 7.0$ A

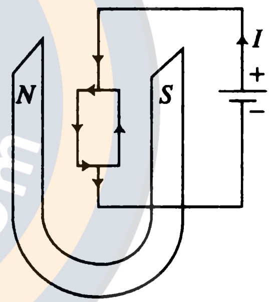
তারদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $r = 4.0$ cm $= 4 \times 10^{-2}$ m

একক দৈর্ঘ্যে বল, $F = ?$ $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ TmA^{-1}

৪.৯। চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো ক্ষুদ্র লুপের ওপর টর্ক
The Torque on a Coil in a Magnetic Field

নিজে কর :

একটি লম্বা পরিবাহী তার নিয়ে এটিকে ভাঁজ করে একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর আকৃতি দাও (চিত্র ৪.১৭)। সম্ভব হলে কয়েক পাকের কুণ্ডলী তৈরি করতে পারো। একে মোটামুটি মুক্তভাবে একটি U আকৃতির বা অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেরুর মাঝখানে এমনভাবে স্থাপন কর যেন এর সমতল ও চুম্বকের মেরুদ্বয় একই সমতলে অবস্থান করে। এখন এই কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি তড়িৎ কোষের দুই প্রান্তে সংযুক্ত কর। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। কী দেখলে?



চিত্র : ৪.১৭

কুণ্ডলীটি তার সাম্যাবস্থান থেকে ঘুরে গেল। কারণ চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত এই প্রবাহবাহী কুণ্ডলী বা লুপ একটি টর্ক লাভ করে ফলে ঘুরে যায়।

টর্কের রাশিমালা

একটি আয়তাকার অন্তরিত তামার কুণ্ডলী আকৃতির ক্ষুদ্র বর্তনী WXYZ বিবেচনা করা যাক [চিত্র ৪·১৮]। এ কুণ্ডলীটিকে সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের কোনো স্থানে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন কুণ্ডলীতল চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকে।

ধরা যাক,

L = কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য

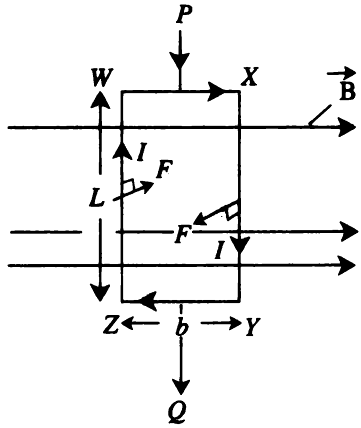
b = কুণ্ডলীর প্রস্থ

$\therefore A = L \times b$ = কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল

N = কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা

B = সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের মান

I = কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ



চিত্র : ৪.১৮

কুণ্ডলীর দুই বিপরীত বাহু WX এবং YZ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকায় এদের ওপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না, কেননা বল,

$F = NIbB \sin 0^\circ = 0$ $\quad [\because \theta = 0^\circ$ বা, $180^\circ]$

কিন্তু ZWএবং XY বাহু দুটি চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে থাকায় এদের প্রত্যেকের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান

$F = NILB \sin 90^\circ = NILB$

কিন্তু বাহু দুটিতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীতমুখী হওয়ায় ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্রানুযায়ী বাহু দুটির ওপর ক্রিয়াশীল বল দুটির দিকও বিপরীতমুখী হবে। সুতরাং কুণ্ডলীর দুই বাহুর ওপর দুটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করে এবং এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় এরা একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে এবং এ দ্বন্দ্ব কুণ্ডলীটিকে এর মধ্যবিন্দু দিয়ে দৈর্ঘ্যের সাথে সমান্তরালে অতিক্রমকারী অক্ষ PQ এর সাপেক্ষে ঘুরাতে চেষ্টা করে। এ দ্বন্দ্বের ভ্রামক তথা টর্ক হলো,

τ = বল $\times$ বলদ্বয়ের তথা বাহু দুটির মধ্যকার লম্ব দূরত্ব

$= Fb$

$= NILBb = NILbB$

$\therefore \tau = NIAB$ ... ... (4.22)

যদি চৌম্বকক্ষেত্র কুণ্ডলী তলের সমান্তরাল না হয়ে কুণ্ডলী তলের সাথে φ কোণে ক্রিয়া করে তাহলে কুণ্ডলী তল বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশ হবে $B \cos \varphi$ এবং টর্ক হবে,

$\tau = NIAB \cos \varphi$ (4.22 ক)

যেহেতু $\vec{B}$ কুণ্ডলী তলের সাথে φ কোণ উৎপন্ন করে, সুতরাং $\vec{B}$ কুণ্ডলী তলের লম্বের সাথে $90^\circ - \varphi = \theta$ কোণ উৎপন্ন করবে।

$\therefore \varphi = 90^\circ - \theta$ সুতরাং (4.22 ক) সমীকরণ দাঁড়ায়

$\tau = NIAB \cos (90^\circ - \theta)$

বা, $\tau = NIAB \sin \theta$ ... (4.22 খ)

এখন A কে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর একটি ভেক্টর $\vec{A}$ হিসেবে গণ্য করলে $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ হয় θ। যেহেতু টর্ক একটি ভেক্টর রাশি তাই (4.22খ) সমীকরণকে নিম্নোক্তভাবে দুটি ভেক্টরের ভেক্টর গুণফল হিসেবে প্রকাশ করলে ঐ সমীকরণ থেকে টর্কের মান ও দিক পাওয়া যায়।

$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$ (4.23)

এই $NI\vec{A}$ কে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক M বলে।

$\therefore \vec{M} = NI\vec{A}$ (4.24)

এখন (4.26) কে আমরা লিখতে পারি,

$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$ (4.25)

প্রবাহবাহী কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টর, $\vec{A}$

তড়িৎ প্রবাহবাহী কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল A কে একটি ভেক্টর $\vec{A}$ হিসেবে গণ্য করা হয় যার মান কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের সমান এবং এর দিক কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্ব। $\vec{A}$ এর দিক ডানহস্ত নিয়ম থেকে পাওয়া যায়। ডানহাতের চারটি আঙ্গুল কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবাহ যে দিকে চলছে সে দিকে মুষ্টিবদ্ধ করলে প্রসারিত বৃদ্ধাঙ্গুলী $\vec{A}$ এর দিক নির্দেশ করে। এই নিয়মানুসারে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে চললে $\vec{A}$ এর দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে, আর ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে হলে $\vec{A}$ এর দিক হবে লম্ব বরাবর বাইরের দিকে।

প্রবাহবাহী কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক, $\vec{M}$

সংজ্ঞা : ***কোনো প্রবাহবাহী কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ এবং কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টরের গুণফলকে ঐ কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বলে।***

কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N, তড়িৎপ্রবাহ I এবং ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{A}$ হলে, চৌম্বক ভ্রামক $\vec{M}$ হবে

$$\vec{M} = NI\vec{A}$$

দিক : চৌম্বক ভ্রামকের দিক হলো ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{A}$ এর দিকে। উপরে বর্ণিত ডানহস্ত নিয়ম থেকে এই দিক পাওয়া যায়।

একক : চৌম্বক ভ্রামকের একক হচ্ছে অ্যাম্পিয়ার-মিটার২ (Am^2)।

বি: দ্র: ১। যদিও কুণ্ডলীর সাপেক্ষে $\vec{B}$ এর একটি বিশেষ দিকের জন্য এই টর্ক হিসেবে করা হয়েছে, কিন্তু টর্কের উপরিউক্ত সমীকরণ $\vec{B}$ এর যে কোনো দিকের জন্য প্রযোজ্য।

২। টর্কের উপরিউক্ত সমীকরণ যদিও আয়তাকার কুণ্ডলীর জন্য প্রতিপাদন করা হয়েছে, কিন্তু এটি যে কোনো আকৃতির বর্তনীর জন্য প্রযোজ্য।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৭। একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 15 cm এবং প্রস্থ 10 cm। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500। কুণ্ডলীর তলকে 5×10^{-3} T এর চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপন করে এর ভেতর 5 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলো। কুণ্ডলীর ওপর প্রযুক্ত টর্কের মান নির্ণয় কর।

কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল A হলে,

আমরা জানি,

$\tau = NIAB$

$= NILbB$

$= 500 \times 5\text{A} \times 15 \times 10^{-2}\text{m} \times 10 \times 10^{-2}\text{m} \times 5 \times 10^{-3}\text{T}$

$= 0.1875$ Nm

উ: 0.1875 Nm

এখানে,

কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য, $L = 15$ cm $= 15 \times 10^{-2}$ m

কুণ্ডলীর প্রস্থ, $b = 10$ cm $= 10 \times 10^{-2}$ m

পাকসংখ্যা, $N = 500$

চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 5 \times 10^{-3}$ T

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 5$ A

টর্ক, $\tau = ?$

৪·১০। কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র
Magnetic Field Due to Orbital Motion of Electron

পদার্থের সাথে সংশ্লিষ্ট বিভিন্ন চৌম্বক ঘটনা পর্যালোচনা করে দেখা যায় যে, চৌম্বকত্ব হচ্ছে পদার্থের পারমাণবিক ধর্ম, পদার্থের অন্তর্জাত (intrinsic) কোনো ধর্ম নয়। এই ধারণার ওপর ভিত্তি করে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, পদার্থের সকল চৌম্বক ধর্ম ইলেকট্রনের গতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। সকল পরমাণুতে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে নির্দিষ্ট কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে যেখানে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ হচ্ছে $\frac{h}{2\pi}$ এর সরল গুণিতক। ইলেকট্রন যখন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘুরে তখন তা একটি প্রবাহ লুপ তৈরি করে। আমরা জানি যে, কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে

তড়িৎ প্রবাহিত হলে তার চারদিকে একটা চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির ফলে যে প্রবাহ লুপ তৈরি হয় তা পারমাণবিক প্রবাহ সৃষ্টি করে। একে কখনো কখনো অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ বলা হয়ে থাকে। এই পারমাণবিক প্রবাহ বা অ্যাম্পিয়ার প্রবাহের জন্যে কক্ষীয় চৌম্বক ভ্রামকের উদ্ভব হয় যা পদার্থে চৌম্বকত্ব সৃষ্টির জন্য মূলত দায়ী।

যেহেতু সকল পদার্থেই ইলেকট্রন থাকে তাহলে মনে হতে পারে সকল পদার্থ চুম্বক নয় কেন? শুধু চুম্বকিত লোহা বা সামান্য গুটিকয়েক বস্তু লোহা জাতীয় বস্তুকে আকর্ষণ করতে পারে কেন? এর উত্তরে বলা যায়, বেশিরভাগ পদার্থের বিপরীতমুখী চৌম্বক ভ্রামক জোড়ায় জোড়ায় বিরাজ করে একে অপরের প্রভাব নাকচ করে দেয়। ফলে কোনো লব্ধি চৌম্বকত্ব পরিলক্ষিত হয় না। পদার্থে শক্তিশালী চুম্বকত্বের উদ্ভব তখন ঘটে যখন পরমাণুতে বিজোড় সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে এবং কক্ষীয় চৌম্বক ভ্রামক বিশেষভাবে বিন্যস্ত থাকে। আবার এভাবেও বলা যায় যে, প্রকৃতপক্ষে সকল পদার্থই চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে। চুম্বক বলতে আমরা ফেরোচৌম্বক পদার্থ যেমন দণ্ড চুম্বক বা কম্পাস কাঁটাকে বুঝে থাকি যাদের চৌম্বক ধর্ম যথেষ্ট শক্তিশালী, সে রকম না হলেও প্রত্যেক পদার্থেই খুব ক্ষীণ কিছু না কিছু চৌম্বকত্ব থাকে যেগুলো নিয়ে আমরা পরে আলোচনা করবো।

কক্ষপথে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র ও চৌম্বক ভ্রামক

বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র থেকে আমরা জানি, একটি প্রবাহবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র পাওয়া যায়

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

এখন e আধানবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনের যদি তার কক্ষপথে একবার আবর্তন করতে T সময় লাগে তাহলে তড়িৎ প্রবাহ হবে $I = \frac{e}{T}$। কিন্তু কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r এবং ইলেকট্রনের বেগ v হলে

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad \text{সুতরাং} \quad I = \frac{e \times v}{2\pi r} \qquad (4.26)$$

$$\therefore \; B = \frac{\mu_0}{2r}\frac{e}{T} = \frac{\mu_0}{2r}\frac{ev}{2\pi r} \quad \text{বা,}\; B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{ev}{r^2} \qquad (4.27)$$

কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের কক্ষীয় চৌম্বক ভ্রামক

$$M_{orb} = IA = \frac{ev}{2\pi r} \times \pi r^2 = \frac{evr}{2} \quad \text{বা,}\; M_{orb} = \frac{e}{2m} \times mvr$$

এখানে m = ইলেকট্রনের ভর। কিন্তু বোরের তত্ত্ব থেকে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, $L = mvr = \frac{nh}{2\pi}$

সুতরাং $M_{orb} = \frac{e}{2m} \times L = \frac{n\,eh}{4\pi m}$ (4.28)

প্রথম কক্ষের জন্য $n = 1$।

সুতরাং প্রথম বোর কক্ষের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামকের মান $M_{orb} = \frac{eh}{4\pi m}$। একে বোর ম্যাগনেটোন বলা হয়।

(4.28) সমীকরণের ভেক্টর রূপ হচ্ছে,

$$\vec{M}_{orb} = -\frac{e\vec{L}}{2m} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8.29)$$

এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও চৌম্বক ভ্রামকের বিপরীতমুখিতা বোঝায়। ইলেকট্রনের চার্জ ঋণাত্মক হওয়ায় এরকমটি হয়।

৪.১১। ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র (Electron Spin and Magnetic field)

ইলেকট্রন হচ্ছে আধানযুক্ত কণা। একটি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে যেমন ঘুরতে থাকে তেমনি লাটিমের মতো নিজের অক্ষের চারদিকেও পাক খায়। নিজের অক্ষের ওপর এ ঘূর্ণনকে বলে স্পিন (spin)।

এই স্পিন বা ঘূর্ণনের জন্য কৌণিক ভরবেগ সৃষ্টি হয় এবং ইলেকট্রনের ঋণাত্মক চার্জের জন্য একটি চৌম্বক মোমেন্ট M_S বা μ_s সৃষ্টি হয়, যার দিক স্পিনের কারণে সৃষ্ট কৌণিক ভরবেগ $\vec{S}$ এর বিপরীত। ইলেকট্রনের এই স্পিনের জন্য চৌম্বক মোমেন্ট ও কৌণিক ভরবেগের মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে,

$$\vec{\mu_s} = -\frac{e}{m}\vec{S}$$

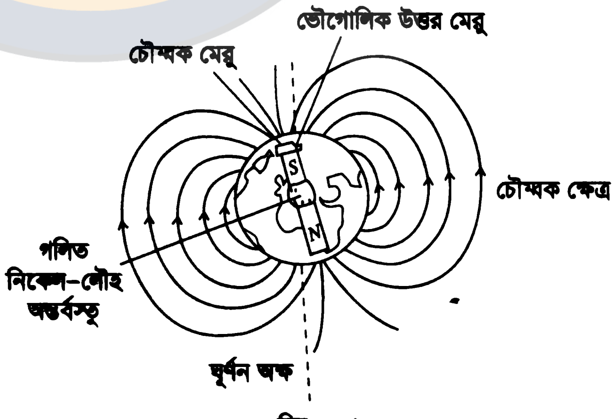
আমরা জানি, আধানযুক্ত কণার গতির জন্যে পরমাণুর মধ্যে প্রত্যেক ইলেকট্রন স্বতন্ত্র চৌম্বকক্ষেত্র তৈরি করে। পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনগুলো যে কোনো অভিমুখে ঘূর্ণায়মান থাকে। কোনো পরমাণুতে যদি সমান সংখ্যক ইলেকট্রন বিপরীত অভিমুখে ঘূর্ণনরত থাকে তাহলে একটি ইলেকট্রন দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র বিপরীত অভিমুখে ঘূর্ণায়মান অপর ইলেকট্রনের চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা নাকচ হয়ে যায়। অর্থাৎ ঐ পরমাণুতে কোনো লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র থাকে না। এ ধরনের পরমাণু দ্বারা গঠিত পদার্থই হচ্ছে **অচৌম্বক পদার্থ**। এ সকল পদার্থকে খুব শক্তিশালী কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে এই পদার্থের পরমাণুর ইলেকট্রনের ঘূর্ণন সামান্য প্রভাবিত হয়ে এ সকল পদার্থে খুবই ক্ষীণ চৌম্বকত্ব দেখা যেতে পারে যাকে **ডায়াচৌম্বকত্ব** (Diamagnetism) বলে। এ ধরনের অচৌম্বক পদার্থকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে। পানি, তামা, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি ইত্যাদি ডায়াচৌম্বক পদার্থ।

পক্ষান্তরে কোনো পরমাণুতে যদি বিপরীত অভিমুখে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান না হয় তাহলে প্রত্যেক ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র পরস্পরের ক্রিয়া নাকচ করতে পারে না। ফলে পরমাণুটি একটি লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র লাভ করে এবং পরমাণুটি একটি ক্ষুদ্র চুম্বক হিসেবে আচরণ করে, যাকে **চৌম্বক দ্বিমেরু বা চৌম্বক দ্বিপোল** (magnetic dipole) বলে। এরকম পরমাণু চুম্বক দ্বারা গঠিত পদার্থের ওপর যদি কোনো চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা না হয় তাহলে চৌম্বক দ্বিপোলগুলো বিক্ষিপ্তভাবে ছড়িয়ে থাকে বলে পদার্থটিতে কোনো লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র পরিলক্ষিত হয় না। কিন্তু যদি কোনো চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তাহলে এই চুম্বক দ্বিপোলগুলো আংশিকভাবে বিন্যস্ত হয়ে সামান্য পরিমাণ চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে। এদেরকে **প্যারাচৌম্বক পদার্থ** (Paramagnetic material) বলে।

৪.১২। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব (Earth's Magnetism)

কোনো চুম্বক শলাকা বা দণ্ড চুম্বককে অনুভূমিকভাবে এর ভারকেন্দ্রে মুক্ত অবস্থায় স্থাপন করলে এটি সব সময়ই মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণ দিক বরাবর অবস্থান করে। এ থেকে বোঝা যায় যে, ভূপৃষ্ঠে একটি চৌম্বকক্ষেত্র বিদ্যমান। 1600 খ্রিস্টাব্দে চিকিৎসাবিজ্ঞানী ডা. গিলবার্ট বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, পৃথিবী একটি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে।

চিত্র ৪.১৯ হতে পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্র সম্পর্কে মোটামুটি ধারণা করা যেতে পারে। একটি চুম্বক শলাকাকে বা একটি দণ্ড চুম্বককে কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে সম্পূর্ণ মুক্তভাবে স্থাপন করলে তার অক্ষ ঐ চৌম্বকক্ষেত্র বরাবর স্থাপিত হয়। কোনো চুম্বক শলাকাকে তার ভারকেন্দ্রে যদি সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় এমনভাবে স্থাপন করা হয় যে এটি উলম্ব তল বরাবর মুক্তভাবে ঘুরতে পারে এবং এই চুম্বক শলাকাকে যদি পৃথিবীর এক মেরু থেকে অন্য মেরুর দিকে সরিয়ে নেয়া হয় তবে দেখা যায় যে চুম্বক শলাকার অক্ষ এবং অনুভূমিকের অন্তর্ভুক্ত কোণ ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হয়। এ থেকে বোঝা যায় যে, ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্রের দিক বিভিন্ন। ঐ

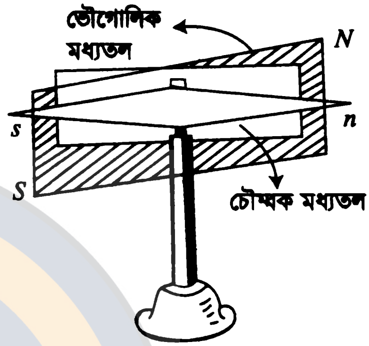


চিত্র : ৪.১৯

কোণকেই বিনতি কোণ বলা হয়। বিষুব রেখার নিকট এর মান শূন্য এবং ভূ-পৃষ্ঠের দুটি স্থানে এর মান 90° হয়। একটি স্থান উত্তর কানাডার হাডসন বে এলাকায় এবং অপর স্থানটি অ্যান্টার্কটিকার নিকটে। ভূ-পৃষ্ঠের এই দুই বিন্দুকে তাই পৃথিবীর চৌম্বক মেরু বলা হয়। এগুলো ভৌগোলিক মেরু নয়। পৃথিবীর চৌম্বক মেরু দুটির সংযোজক সরলরেখা এবং ভৌগোলিক মেরু দুটির সংযোজক সরলরেখার অন্তর্গত কোণ অর্থাৎ পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষ এবং ভৌগোলিক অক্ষের অন্তর্গত কোণ প্রায় 11.5°। পৃথিবীর চৌম্বক দক্ষিণ মেরু ভৌগোলিক উত্তর মেরু থেকে প্রায় 1750 km পশ্চিমে এবং চৌম্বক উত্তর মেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর পূর্বে অবস্থিত।

ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographic Meridian) : পৃথিবীর কোনো স্থানে ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরু বরাবর কল্পিত উল্লম্বতলকে ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল বলে [চিত্র ৪.২০]।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic Meridian) : মুক্তভাবে সাম্যাবস্থায় অবস্থিত কোনো চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ বরাবর কল্পিত উল্লম্ব তলকে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলে [চিত্র ৪·২০]।



চিত্র : ৪.২০

মুক্তভাবে সাম্যাবস্থায় অবস্থিত কোনো চুম্বক ঠিক ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ বরাবর থাকে না। তাই ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল এক নয়। ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের মধ্যে কিছু কৌণিক ব্যবধান থাকে। ঢাকায় এই ব্যবধান 0.5°।

কোনো স্থানে ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের অন্তর্ভুক্ত কোণকে ঐ স্থানের বিচ্যুতি বলে।

৪·১৩। পৃথিবীর চৌম্বক উপাদান (Magnetic Elements of Earth)

কোনো স্থানে পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রকে সম্পূর্ণরূপে বর্ণনা করার জন্য সাধারণত নিম্নোক্ত রাশি তিনটি নির্ণয় করা হয়।

(ক) বিচ্যুতি, θ (খ) বিনতি, δ

(গ) ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ, B_H বা, H

এ তিনটি রাশি পছন্দ করার কারণ হচ্ছে এগুলো সহজেই পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। এগুলোকে কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকের মৌলিক উপাদান বলা হয়।

যে সকল রাশির সাহায্যে কোনো স্থানে ভূ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রকে সম্পূর্ণরূপে বর্ণনা করা যায় তাদেরকে পৃথিবীর চৌম্বক উপাদান বা ভূ-চুম্বকের মৌলিক উপাদান বলে।

(ক) বিচ্যুতি, θ (Declination)

উল্লম্ব অক্ষের চারদিকে মুক্তভাবে অনুভূমিক তলে ঘূর্ণনক্ষম কোনো চুম্বক শলাকা পৃথিবীর সব স্থানে সম্পূর্ণ ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ বরাবর থাকে না–কোনো স্থানে চুম্বক শলাকা ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ থেকে যে কোণে বিচ্যুত হয় তাই ঐ স্থানের বিচ্যুতি।

কোনো স্থানে মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকা ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ থেকে যে কোণে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের অন্তর্ভুক্ত কোণকে ঐ স্থানের বিচ্যুতি বলে।

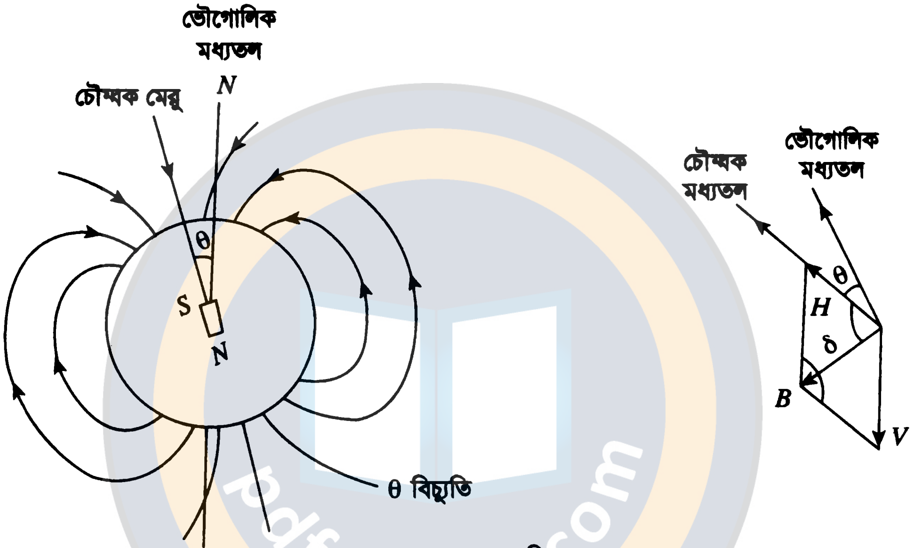
কোনো স্থানের বিচ্যুতিকে সাধারণত θ দ্বারা প্রকাশ করা হয় (চিত্র ৪.২১)। ঐ স্থানে যদি চৌম্বক মধ্যতল ভৌগোলিক মধ্যতলের পূর্ব পাশে থাকে তবে বিচ্যুতিকে θ° পূর্ব বা $\theta° E$ এবং যদি পশ্চিম পাশে থাকে তবে θ° পশ্চিম বা $\theta° W$ বলা হয়।

অর্থাৎ মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু যদি ভৌগোলিক মধ্যতলের পূর্ব পাশে থাকে তবে ঐ স্থানের বিচ্যুতিকে θ° পূর্ব আর পশ্চিম পাশে থাকলে θ° পশ্চিম বলা হয়।

ঢাকার বিচ্যুতি $\frac{1^\circ}{2}$ পূর্ব বলতে বোঝায় ঢাকায় মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকা ভৌগোলিক উত্তর দক্ষিণের সাথে $\frac{1^\circ}{2}$ কোণ করে অবস্থান করে এবং চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু ভৌগোলিক পূর্ব পাশে অবস্থান করে।

(খ) বিনতি, δ (Dip)

কোনো চুম্বক শলাকাকে এর ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়ে অনুভূমিক অক্ষের চারদিকে উল্লম্বতলে ঘুরতে দিলে এটি ভূ-পৃষ্ঠের সব স্থানে ভূমির সমান্তরালে অবস্থান করে না বরং ভূ-চুম্বকের সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর অবস্থান করে। চৌম্বক মধ্যতলে স্থাপিত চুম্বক শলাকা অনুভূমিক তল থেকে যে কোণে নত বা কাত হয়ে থাকে তাকে ঐ স্থানের বিনতি বলে।



চিত্র : ৪.২১

কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে অর্থাৎ চৌম্বক মধ্যতলে মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকা অনুভূমিক তল থেকে যে কোণে নত অবস্থায় থাকে তাকে ঐ স্থানের বিনতি বলে।

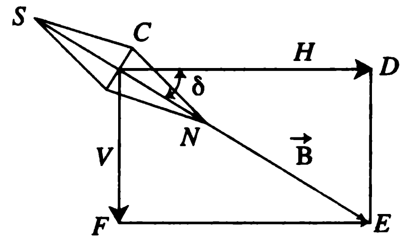
অনুভূমিক অক্ষের চারদিকে উল্লম্ব তলে ঘূর্ণনক্ষম কোনো চুম্বক শলাকাকে কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতলে এনে স্থাপন করলে এর চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক বরাবর না থেকে অনুভূমিকের সাথে কোণ উৎপন্ন করে। এই কোণই বিনতি। বিনতিকে δ দ্বারা প্রকাশ করা হয় (চিত্র ৪.২২)। কোনো স্থানের বিনতিকে δ° উত্তর বা δ° দক্ষিণ হিসেবে উল্লেখ করা হয়। δ° উত্তর বলতে বোঝায় ঐ স্থান পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে অবস্থিত এবং চৌম্বক মধ্যতলে স্থাপিত চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু δ° কোণে অনুভূমিক থেকে নত থাকে। অপরদিকে δ° দক্ষিণ বলতে বোঝায় ঐ স্থান পৃথিবীর দক্ষিণ গোলার্ধে অবস্থিত এবং চৌম্বক মধ্যতলে স্থাপিত চুম্বক শলাকার দক্ষিণ মেরু δ° কোণে নত থাকে।

ঢাকার বিনতি $31^\circ N$ বলতে বোঝায় ঢাকায় ভূ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র অনুভূমিক তলের সাথে 31° কোণ উৎপন্ন করে অর্থাৎ মুক্তভাবে চৌম্বক মধ্যতলে স্থাপিত চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু 31° কোণে অনুভূমিক তল থেকে নত থাকে।

(গ) ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ B_H বা H

Horizontal Component of Earth's Magnetic Field

পৃথিবীর সব স্থানে ভূ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র অনুভূমিকে বরাবর ক্রিয়া করে না। অনেক স্থানে অনুভূমিকের সাথে কোণ করে ক্রিয়া করে। এই লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র যদি চৌম্বক মধ্যতল বরাবর অনুভূমিক ও উল্লম্ব এই দুটি উপাংশে ভাগ করা যায় তবে অনুভূমিক বরাবর যে উপাংশ পাওয়া যায় তাই চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ।



চিত্র : ৪.২২

সংজ্ঞা : কোনো স্থানে অনুভূমিক বরাবর ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের যে উপাংশ থাকে তাকে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ বলে। ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশকে B_H বা শুধু H দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

ধরা যাক, কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$। এই ক্ষেত্র CE বরাবর ক্রিয়া করে [চিত্র ৪.২২]। ঐ স্থানে চৌম্বক মধ্যতল বরাবর অনুভূমিক তল CD-এর সাথে মোট চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ যদি δ কোণ উৎপন্ন করে অর্থাৎ ঐ স্থানের বিনতি δ হলে, ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ H হবে,

$$H = B\cos\delta \quad \ldots \quad (4.24)$$

এবং ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ V হবে

$$V = B\sin\delta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.25)$$

ঢাকায় ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 34×10^{-6} T বলতে বোঝায় ঢাকায় যে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র ক্রিয়া করে চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক বরাবর তার উপাংশের মান 34×10^{-6} T।

অনুভূমিক উপাংশ এবং উল্লম্ব উপাংশের মধ্যকার সম্পর্ক

সমীকরণ (4.24) ও (4.25) থেকে,

$$\tan\delta = \frac{V}{H} \quad (4.26)$$

সমীকরণ (4·26) থেকে,

উল্লম্ব উপাংশ, $V = H\tan\delta \quad (4.27)$

এবং অনুভূমিক উপাংশ, $H = V\cot\delta \quad \ldots \quad (4.28)$

আবার, সমীকরণ (4.24) ও (4.25) থেকে,

ভূ-চুম্বকের মোট চৌম্বকক্ষেত্র, $B = \sqrt{H^2 + V^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.29)$

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৮। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 22.5 μT এবং বিনতি 30°। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান বের কর।

আমরা জানি,

$H = B\cos\delta$	এখানে,
$= 22.5\ \mu\text{T} \times \cos 30°$	ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = 22.5\ \mu$T
$= 19.5\ \mu$T	বিনতি, $\delta = 30°$
উ: 19.5 μT	অনুভূমিক উপাংশ, $H = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৯। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 27.87×10^{-6}T এবং বিনতি 30° হলে, ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান কত?

আমরা জানি,	এখানে,
$H = B\cos\delta$	অনুভূমিক উপাংশ, $H = 27.87 \times 10^{-6}$ T
বা, $B = \dfrac{H}{\cos\delta}$	বিনতি, $\delta = 30°$
$= \dfrac{27.87 \times 10^{-6}\ \text{T}}{\cos 30°}$	ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র, $B = ?$

$= 3.22 \times 10^{-5}$ T

উ: 32.2×10^{-6} T

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১০। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 30 μT এবং এর অনুভূমিক উপাংশের মান 26 μT হলে ঐ স্থানের বিনতি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$H = B \cos \delta$

বা, $\cos \delta = \frac{H}{B}$

$= \frac{26\ \mu T}{30\ \mu T} = 0{\cdot}866$

$\therefore\ \delta = \cos^{-1}(0{\cdot}866) = 30°$

উ: 30°

এখানে,

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = 30\ \mu$T

অনুভূমিক উপাংশ, $H = 26\ \mu$T

বিনতি, $\delta = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১১। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 30 μT এবং বিনতি 60°। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$V = H \tan \delta$

$= 30\ \mu T \times \tan 60°$

$= 51.96\ \mu T$

উ: 51.96 μT

এখানে,

অনুভূমিক উপাংশ, $H = 30\ \mu$T

বিনতি, $\delta = 60°$

উল্লম্ব উপাংশ $V = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১২। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে 31.85 μT এবং 47.77 μT। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মোট মান ও বিনতি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$B = \sqrt{H^2 + V^2}$

$= \sqrt{(31.85\ \mu T)^2 + (47.77\ \mu T)^2} = 57.41\ \mu T$

আবার, $\tan\delta = \frac{V}{H} = \frac{47.77\ \mu T}{31.85\ \mu T} = 1.4998$

$\therefore\ \delta = \tan^{-1}(1.4998) = 56.31°$

উ : 57.41 μT; 56.31°

এখানে,

অনুভূমিক উপাংশ, $H = 31.85\ \mu$T

উল্লম্ব উপাংশ, $V = 47.77\mu$ T

মোট চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = ?$

বিনতি, $\delta = ?$

৪.১৪। চৌম্বক পদার্থের শ্রেণিবিভাগ (Classification of Magnetic Materials)

লোহা বা ইস্পাতই যে কেবল চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় বা এদেরকেই যে কেবল চুম্বকায়িত করা যায়, তা নয়। সকল পদার্থেরই চৌম্বক ধর্ম আছে এবং সকল পদার্থই চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা কম বেশি প্রভাবিত হয়। চৌম্বক আচরণের ওপর ভিত্তি করে পদার্থসমূহকে ডায়াচৌম্বক, প্যারাচৌম্বক, ফেরোচৌম্বক, এন্টিফেরোচৌম্বক ও ফেরিচৌম্বক পদার্থ হিসেবে শ্রেণিবিভাগ করা হয়।

১. ডায়াচৌম্বক পদার্থ (Diamagnetic Substance) : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।

যখন কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থকে বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করা হয়, তখন দেখা যায় ডায়াচৌম্বক পদার্থটির অভ্যন্তরে চৌম্বকক্ষেত্র বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের চেয়ে সামান্য কম হয়। কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থকে কোনো অসম চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে, এটি চৌম্বকক্ষেত্রের সবলতর অঞ্চল থেকে দুর্বলতর অঞ্চলের দিকে গতিশীল হতে চায়। প্রযুক্ত চৌম্বকক্ষেত্র খুবই শক্তিশালী না হলে ডায়াচৌম্বক প্রভাব এত অল্প হয় যে তা ধরাই যায় না। ডায়াচৌম্বক পদার্থের আচরণ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। তামা, দস্তা, বিসমাথ, রুপা, সোনা, সীসা, কাচ, মার্বেল, পানি, হিলিয়াম, আর্গন, সোডিয়াম ক্লোরাইড প্রভৃতি ডায়াচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ।

২. প্যারাচৌম্বক পদার্থ (Paramagnetic Substance) : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।

যখন কোনো প্যারাচৌম্বক পদার্থকে বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করা হয়, তখন দেখা যায় প্যারাচৌম্বক পদার্থটির অভ্যন্তরে চৌম্বকক্ষেত্র বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের চেয়ে সামান্য বড় হয়। কোনো প্যারাচৌম্বক পদার্থকে অসম চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে সেটি চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতর অঞ্চল থেকে সবলতর অঞ্চলের দিকে গতিশীল হতে চায়—যা ডায়াচৌম্বক পদার্থের উল্টো। প্যারাচৌম্বক পদার্থের আচরণ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। এক্ষেত্রেও কেবল শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র প্রযুক্ত হলেই প্যারাচৌম্বক প্রভাব দৃশ্যমান হয়। কয়েকটি প্যারাচৌম্বক পদার্থ হচ্ছে অ্যালুমিনিয়াম, সোডিয়াম, এন্টিমনি, প্লাটিনাম, ম্যাঙ্গানিজ, ক্রোমিয়াম, তরল অক্সিজেন প্রভৃতি।

৩. ফেরোচৌম্বক পদার্থ (Ferromagnetic Substance) : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে।

যখন কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থকে বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করা হয়, তখন ফেরোচৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বকক্ষেত্র বহুগুণ বর্ধিত হয়। কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থকে অসম চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে সেটি দ্রুত চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতর অঞ্চল থেকে সবলতর অঞ্চলের থেকে গতিশীল হয়। অন্য কথায় খুবই দুর্বল চৌম্বকক্ষেত্রেও ফেরোচৌম্বক প্রভাব দেখা যায়। তাপমাত্রার একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম করলেই ফেরোচৌম্বক পদার্থ চুম্বকত্ব হারায়। এ তাপমাত্রাকে **কুরি তাপমাত্রা** বলে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ হলো লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি। লোহার কুরি তাপমাত্রা 1043 K।

৪. এন্টিফেরোচৌম্বক পদার্থ (Antiferromegnetic Substance) : এন্টিফেরোচৌম্বকত্বের উদ্ভব হয় যখন পার্শ্ববর্তী পরমাণুসমূহের স্পিন ভ্রামকগুলো প্রতি সমান্তরালভাবে সজ্জিত হয় (চিত্র ৪.২৩ক) বা যখন বিনিময় ইন্টিগ্রাল

চিত্র : ৪.২৩

ঋণাত্মক হয়। এন্টিফেরোচুম্বকত্ব প্রদর্শন করে এরকম কেলাসে দুই ধরনের সাবল্যাটিস থাকে যার একটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে একদিকে চুম্বকিত থাকে অন্যটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিপরীত দিকে চুম্বকিত থাকে। এ ধরনের চুম্বকত্ব প্রথম পরিলক্ষিত হয় ম্যাঙ্গানিজ অক্সাইডের (MnO) কেলাসে। বাহ্যিক চুম্বকক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে পার্শ্ববর্তী চৌম্বক ভ্রামকগুলো একে অপরের ক্রিয়া নাকচ করে দেয় ফলে পদার্থটি সামগ্রিকভাবে কোনো চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে না। বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তখন ক্ষেত্রের দিক বরাবর সামান্য চুম্বকত্বের উদ্ভব হয় যা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়। একটা ক্রান্তি তাপমাত্রায় চুম্বকত্ব সর্বাধিক হয় যাকে বলা হয় **নীল তাপমাত্রা** (Neel temperture)। এই তাপমাত্রার ওপরে চুম্বকত্ব ধারাবাহিকভাবে হ্রাস পেতে থাকে এবং এক সময় প্যারাচৌম্বক পদার্থের ন্যায় আচরণ করতে থাকে।

৫. ফেরিচৌম্বক পদার্থ (Ferrimagnetic Substance) : ফেরিচৌম্বক পদার্থ এন্টিফেরোচৌম্বক পদার্থের অনুরূপ শুধুমাত্র পার্থক্য এই যে, প্রতি সমান্তরালভাবে সাজানো এর পার্শ্ববর্তী পরমাণুসমূহের স্পিন ভ্রামকগুলোর মান অসমান (চিত্র ৪.২৩খ) যার ফলে একটা লব্ধি চৌম্বকত্বের উদ্ভব হয়। এই ধরনের চুম্বকত্ব সাধারণত ফেরাইট Fe_3O_4 (Ferrites)-এর মধ্যে দেখা যায়।

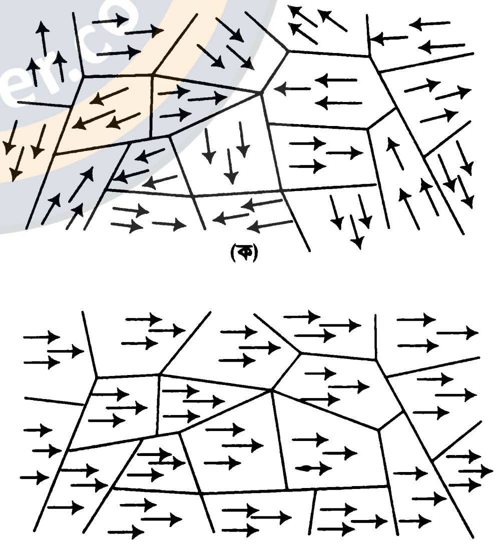
কার্যক্রম : ডায়া, প্যারা ও ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে পার্থক্যের একটি চার্ট তৈরি কর।

৪.১৫। চৌম্বক ডোমেইন (Magnetic Domain)

ফেরোচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক পরমাণুগুলোর মধ্যে একটি প্রবল চৌম্বকক্ষেত্র কাজ করে। একে বলা হয় অভ্যন্তরীণ আণবিক চৌম্বকক্ষেত্র। এর প্রভাবে পরমাণুগুলো এই চৌম্বকক্ষেত্র ছাড়াই স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিন্যস্ত হয়ে শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। কিন্তু ফেরোচুম্বকের একটি সম্পূর্ণ দণ্ড বা খণ্ডের দেহ জুড়ে চৌম্বক পরমাণুগুলো অবিচ্ছিন্নভাবে বিন্যস্ত হয় না কারণ সে ক্ষেত্রে প্রচুর চৌম্বক শক্তি এর মধ্যে জমা হবে। বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ না করলে **ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র চুম্বকিত এলাকা বা ডোমেইনে** (domain) বিভক্ত হয়ে পড়ে। প্রত্যেকটি ডোমেইন এক একটি স্বতন্ত্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। অসংখ্য চৌম্বক ডোমেইন নিয়ে গঠিত এ সকল ফেরোচৌম্বক পদার্থ সাধারণভাবে অচুম্বকিত মনে হয়, কারণ এই ডোমেইনগুলো বিভিন্ন দিক মুখ করে থাকে। লক্ষণীয় যে, চুম্বকত্ব একটি ভেক্টর রাশি। ফলে এলোমেলোভাবে থাকলে এদের লব্ধি শূন্য হতে পারে। ফেরোচৌম্বক পদার্থ যখন চুম্বকিত নয় তখনও আসলে এর ডোমেইনগুলো স্বতঃস্ফূর্তভাবে চুম্বকিত থাকে।

ফেরোচুম্বক পদার্থে 10^{-12} m^3 থেকে 10^{-8} m^3 আয়তনের মধ্যে 10^{16} থেকে 10^{19} সংখ্যক পরমাণু সংবলিত অসংখ্য চৌম্বক এলাকা থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলো একই দিকে সজ্জিত থাকে ; ফলে এরা স্বতন্ত্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। এরূপ চুম্বক এলাকাকে চৌম্বক ডোমেইন বলে।

একটি অচুম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক ধাতুখণ্ডে যেমন এক খণ্ড লোহার ভেতরে এসব চৌম্বক ডোমেইন সাধারণভাবে অনিয়মিত বা ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে ছড়িয়ে থাকে (চিত্র ৪.২৪ ক)। ফলে এই লৌহ খণ্ডের সামগ্রিক চুম্বকত্ব শূন্য অর্থাৎ সাধারণ লোহা চুম্বক হিসেবে আচরণ করে না। কিন্তু এই লৌহ খণ্ডটিকে যদি কোনো বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হয় তাহলে ডোমেইনগুলো চৌম্বকক্ষেত্রের ক্ষেত্র রেখার সাথে সমান্তরালে নিজেদেরকে স্থায়ীভাবে বিন্যস্ত করে (চিত্র ৪.২৪খ)। ফলে একটি সামগ্রিক চুম্বকায়নের আবির্ভাব ঘটে এবং লৌহখণ্ডটি স্থায়ীভাবে চুম্বকত্ব লাভ করে। প্রযুক্ত চৌম্বকক্ষেত্রটি সরিয়ে নিলেও এর চুম্বকত্ব নষ্ট হয় না।


(ক) (খ)

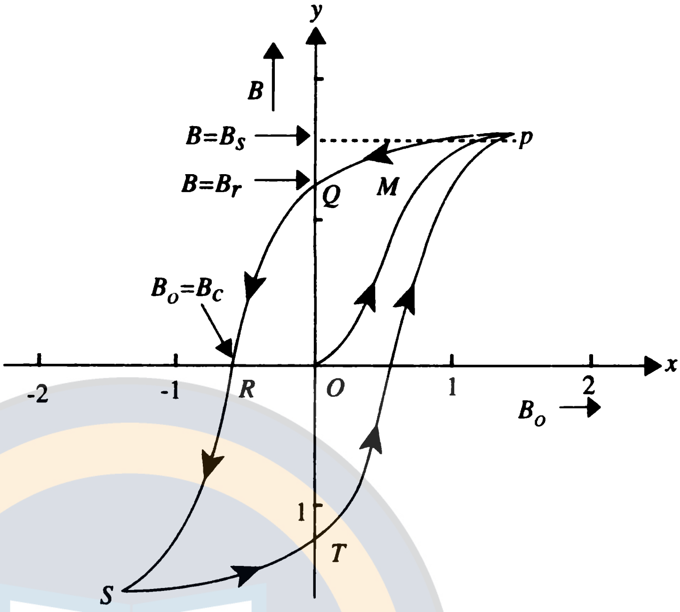
চিত্র : ৪.২৪

কাঁচা লোহার ডোমেইনগুলোকে বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে সহজে বিন্যস্ত করে চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু চৌম্বকক্ষেত্রের অপসারণে এরা আবার বিক্ষিপ্ত অবস্থায় ফিরে যায় ফলে এদের চুম্বকত্ব নষ্ট হয়ে যায়। এজন্যে কাঁচা লোহাকে কলিংবেলের মতো যেখানে অস্থায়ী চুম্বকের প্রয়োজন হয় সেখানে ব্যবহার করা হয়। ইস্পাতের ক্ষেত্রে ডোমেইনগুলো সহজে বিন্যস্ত হতে চায় না। এজন্য বেশ শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্রের প্রয়োজন হয় এবং একবার চুম্বকে পরিণত হলে সহজে চুম্বকত্ব হারায় না। এজন্যে ভালো স্থায়ী চুম্বক তৈরি করতে ইস্পাতের প্রয়োজন হয়।

কার্যক্রম : চৌম্বক ডোমেনের চিত্র ৪.২১ এর (ক) ও (খ) এর মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা কর।

৪.১৬। হিস্টোরিসিস লেখচিত্র (Magnetization Curve or Hysteresis Loop)

৪.২৫ চিত্রের লেখ-এর সাহায্যে B এর মান কীভাবে B_o এর সাপেক্ষে পরিবর্তিত হয় তা ব্যাখ্যা করা হয়েছে। এখানে B হচ্ছে ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যস্থ চৌম্বকক্ষেত্র এবং B_o হচ্ছে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্র।



চিত্র : ৪.২৫

পরীক্ষাধীন ফেরোচৌম্বক পদার্থের নমুনাটি সূচনাতে অচুম্বকিত অবস্থায় আছে এবং তা রেখের O বিন্দু দ্বারা নির্দেশ করা হচ্ছে। B_o এর মান বৃদ্ধির সাথে সাথে B এর মান OP বরাবর বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়ে P বিন্দুতে এর সম্পৃক্ত মান (saturation value) B_s-এ পৌছে। এখন B_o-এর মান শূন্য করা হলে B-এর মান সামান্য হ্রাস পেয়ে B_r হয়। এই অবস্থা Q বিন্দু দ্বারা নির্দেশ করা হচ্ছে এবং নমুনাটিতে কিছু চুম্বকত্ব রয়ে গেছে। নমুনাটিতে যে পরিমাণ চৌম্বকক্ষেত্র অবশিষ্ট রয়ে যায় তাকে **রিমেনেন্স** (remanence) বা **চৌম্বক ধারণ ক্ষমতা** (retentivity) B_r বলে। B-এর মান শূন্যে নিয়ে আসার জন্য B_o এর পশ্চাদ্বর্তী চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগের প্রয়োজন হয়।

B_o এর যে মান B-কে শূন্যে নামিয়ে আনে তাকে অর্থাৎ B_c কে **কোয়েরসিভ বল** বা **সহনশীল বল** (Coercive force) বলে। B_c/μ_o-কে নমুনার **সহনশীলতা** (coercivity) বলে। বিপরীত ক্ষেত্রকে যদি আরো বাড়ানো হয় তাহলে নমুনাটির পুনরায় চুম্বকায়ন হয় এবং S বিন্দুতে সম্পৃক্ততা পায়। বিপরীত ক্ষেত্রকে শূন্য করে দিলেও নমুনাতে আবার কিছু চুম্বকত্ব অবশেষ রয়ে যাবে, যা T বিন্দু নির্দেশ করছে। B_o সম্মুখবর্তীভাবে বাড়িয়ে সর্বোচ্চ আদি মানে আনলে B, TP বরাবর বেড়ে B_s মান প্রাপ্ত হবে। যখন B_o-এর মান কমানো হয় (অর্থাৎ P থেকে Q এবং S থেকে T) তখন B এর যে মান পাওয়া যায় তা B_o-কে বাড়ানোর সময়ে প্রাপ্ত মানের চেয়ে বড় হয়। অর্থাৎ নমুনাটি বিচুম্বকায়িত হতে অনীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করে। এ ঘটনাকে **হিস্টোরিসিস** (Hysteresis) বলে। PQRSTP-কে **হিস্টোরিসি লুপ** (Hysteresis loop) বলে।

কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থে চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করে চুম্বকিত করার পর চৌম্বকক্ষেত্র অপসারণ করে বিচুম্বকিত করতে গেলে সেটি সহজে বিচুম্বকিত হতে চায় না। চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগের সময় পদার্থের চুম্বকত্ব যে ভাবে বৃদ্ধি পায়, চৌম্বকক্ষেত্র অপসারণের সময় চুম্বকত্ব সে ভাবে হ্রাস পায় না। চৌম্বক পদার্থের বিচুম্বকিত হতে অনীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করাকে হিস্টোরিসিস বলে।

যে সকল ফেরোচৌম্বক পদার্থের জন্য সরু হিস্টোরিসিস লুপ পাওয়া যায় সেগুলোকে কোমল চৌম্বক পদার্থ (Soft magnetic material) বলে। হিস্টোরিসিস লেখচিত্র লক্ষ করলে দেখা যায় যে, কোনো পদার্থকে চুম্বকায়নের জন্য যে শক্তির প্রয়োজন বিচুম্বকায়নের সময় সে শক্তি সম্পূর্ণরূপে ফিরে পাওয়া যায় না। উদাহরণ হিসেবে বলা যায় যে, চুম্বকায়ন ক্ষেত্র B_o কে সম্পূর্ণরূপে অপসারণ করার পরও পদার্থের মধ্যে কিছু চুম্বকত্ব অবশিষ্ট থেকে যায়, যাকে বিলুপ্ত করার জন্য পশ্চাদ্বর্তী চুম্বকায়ন ক্ষেত্র প্রয়োগ করতে হয়। সুতরাং দেখা যায়, কোনো পদার্থের চুম্বকায়ন ও বিচুম্বকায়নের প্রক্রিয়ায় হিস্টোরিসিসের জন্য কিছু শক্তি অপচয় হয়। এই অপচয়ের পরিমাণ হিস্টোরিসিস লুপ দ্বারা আবদ্ধ তলের ক্ষেত্রফলের সমান।

কাঁচা লোহার হিস্টোরিসিসজনিত অপচয় ইস্পাতের চেয়ে কম বলে ট্রান্সফর্মার ডায়নামো ইত্যাদির অন্তর্বস্তু (Core) নির্মাণে ইস্পাতের পরিবর্তে কাঁচা লোহা ব্যবহার করা হয়।

কার্যক্রম : হিস্টোরিসিস লেখচিত্রের উপর একটি প্রতিবেদন তৈরি কর।

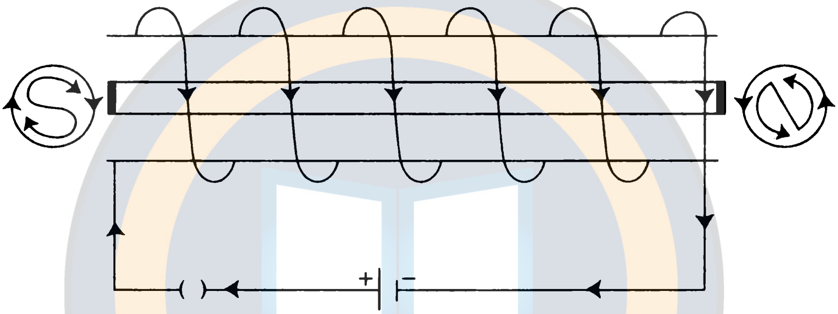
৪.১৭। অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক (Temporary Magnet and Permanent Magnet)

তড়িৎ চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক

তড়িৎ প্রবাহিত করে যে চুম্বক তৈরি করা হয় তাকে তড়িৎ চুম্বক বলে। তড়িৎ চুম্বক অস্থায়ী এবং স্থায়ী দু রকমেরই হতে পারে।

করে দেখো :

কার্ডবোর্ড রোল করে একটা সিলিন্ডার তৈরি কর (চিত্র ৪.২৬)। সিলিন্ডারের মধ্যে একটা কাঁচা লোহার দণ্ড রাখ। এবার সিলিন্ডারের ওপর অন্তরিত তামার তার জড়াও। তারের দুই প্রান্ত একটি চাবির মধ্য দিয়ে 6 V থেকে 12 V এর শুষ্ক ব্যাটারির সাথে সংযোগ দাও। একটি লোহার দণ্ড বা দণ্ড চুম্বকের সাহায্যে কাঁচা লোহার দণ্ডটির চুম্বকত্ব পরীক্ষা কর। ব্যাটারি সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে পুনরায় কাঁচা লোহার দণ্ডের চুম্বকত্ব পরীক্ষা কর।



চিত্র : ৪.২৬

এবার কাঁচা লোহার দণ্ডের পরিবর্তে সিলিন্ডারের মধ্যে একটি ইস্পাতের দণ্ড নাও এবং ব্যাটারি সংযোগ দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা কর এবং লোহার দণ্ড বা দণ্ড চুম্বকের সাহায্যে চুম্বকত্ব পরীক্ষা কর।

তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার সাথে সাথে কাঁচা লোহার দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হবে। অন্য একটি লোহার দণ্ড বা দণ্ড চুম্বককে কাঁচা লোহার দণ্ডের নিকটে এনে আমরা এর চুম্বকত্ব পরীক্ষা করতে পারি। যতক্ষণ তড়িৎ প্রবাহ চলবে ততক্ষণই কাঁচা লোহার দণ্ডটি চুম্বকিত থাকবে। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করার সাথে সাথে এর চুম্বকত্ব তিরোহিত করে। এটি একটি অস্থায়ী তড়িৎ চুম্বক।

কাঁচা লোহার পরিবর্তে যখন ইস্পাতের দণ্ড নেওয়ার হয় তখন দেখা যাবে, তড়িৎ প্রবাহের সাথে সাথে এটি চুম্বকে পরিণত হচ্ছে না-বেশ খানিকটা সময় নিচ্ছে। তবে ইস্পাতের দণ্ড একবার চুম্বকিত হওয়ার পর এর চুম্বকত্ব সহজে নষ্ট হবে না। এটি একটি স্থায়ী তড়িৎ চুম্বক।

৪.১৮। অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার

Uses of Temporary and Permanent Magnets

অস্থায়ী চুম্বক : যে সকল তড়িৎযন্ত্রের ক্ষণস্থায়ী চুম্বকের প্রয়োজন হয় অর্থাৎ ব্যবহারকালে চুম্বকত্বের বারবার পরিবর্তনের দরকার হয়, সেই সকল যন্ত্রে অস্থায়ী চুম্বক ব্যবহৃত হয়। যেমন বৈদ্যুতিক কলিংবেল তৈরি করতে অস্থায়ী চুম্বকের প্রয়োজন হয়।

স্থায়ী চুম্বক : যে সকল যন্ত্রে শক্তিশালী চুম্বকের প্রয়োজন হয়, ব্যবহারকালে যাতে চুম্বকত্বের পরিবর্তন না ঘটে, সেই সকল যন্ত্রে স্থায়ী চুম্বক ব্যবহার করা হয়। যেমন, জেনারেটর, বৈদ্যুতিক মোটর ইত্যাদি তৈরি করতে ক্ষেত্র চুম্বক হিসেবে স্থায়ী চুম্বক ব্যবহার করা হয়।

কার্যক্রম : স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহারের ওপর একটি প্রতিবেদন তৈরি কর।

সার-সংক্ষেপ

চৌম্বকক্ষেত্র : একটি গতিশীল আধান বা স্থায়ী চুম্বক তার চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। একটি চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে একক বেগে চলমান একটি একক আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বলকে ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের মান বলে।

টেসলা : কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে 1 কুলম্ব (C) আধান ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে 1 ms^{-1} বেগে গতিশীল হলে যদি ক্ষেত্রটি আধানের উপর 1N বল প্রয়োগ করে তাহলে ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা (T) বলে।

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া : কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। একে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে।

ফ্লেমিঙের ডানহস্ত সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তারকে প্রবাহের অভিমুখে বৃদ্ধাঙ্গুলী প্রসারিত করে ডান হাত দিয়ে মুষ্টিবদ্ধ করে ধরলে অন্যান্য আঙ্গুলগুলোর মাথা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করে।

বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র : নির্দিষ্ট মাধ্যমে কোনো পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলার ফলে এর আশেপাশে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক, পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু থেকে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক, পরিবাহী এবং পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু ও ঐ বিবেচিত বিন্দুর সংযোজক সরলরেখার অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক।

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : কোনো বদ্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রকে রৈখিক যোগজীকরণ, পথটি দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রফলের মধ্যে প্রবাহিত মোট তড়িৎ প্রবাহের μ_o গুণ। $\oint \vec{B} . \vec{dl} = \mu_o I$

হল প্রভাব ও হল ভোল্টেজ : কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎপ্রবাহ ও চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয়। এই ঘটনাকে হল প্রভাব বলে। এই বিভব পার্থক্য বা ভোল্টেজকে হল ভোল্টেজ বলে।

ফ্লেমিঙের বামহস্ত সূত্র : বাম হাতের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলী পরস্পর সমকোণে প্রসারিত করে তর্জনীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে এবং মধ্যমাকে প্রবাহের অভিমুখে স্থাপন করলে বৃদ্ধাঙ্গুলী পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ তথা পরিবাহীর গতির বা বিক্ষেপের দিকে নির্দেশ করে।

ভূ-চুম্বকের মৌলিক উপাদান : যে সকল রাশির সাহায্যে কোনো স্থানে ভূ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রকে সম্পূর্ণরূপে বর্ণনা করা যায় তাদেরকে ভূ-চুম্বকের মৌলিক উপাদান বলে।

বিচ্যুতি : কোনো স্থানে মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকা ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ থেকে যে কোণে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের অন্তর্ভুক্ত কোণকে ঐ স্থানের বিচ্যুতি বলে।

বিনতি : কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে অর্থাৎ চৌম্বক মধ্যতলে মুক্তভাবে স্থাপিত চুম্বক শলাকা অনুভূমিক তল থেকে যে কোণে নত থাকে তাকে ঐ স্থানের বিনতি বলে।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ H : কোন স্থানে অনুভূমিক বরাবর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের যে উপাংশ থাকে তাকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ বলে।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদের ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।

প্যারাচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।

ফেরোচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে একটি আধান গতিশীল হলে সেটি যে বল লাভ করে তার মান নিচের কোন বিষয়টির উপর নির্ভর করে না ?

(ক) আধানের পরিমাণ ○ (খ) আধানের বেগ ○
(গ) চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ○ (ঘ) আধানের প্রকৃতি ○

২। q আধান $\vec{B}$ চৌম্বকক্ষেত্রে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল হলে আধানটির ওপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নিচের কোনটি?

(ক) $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ ○ (খ) $\vec{F} = \frac{\vec{v} \times \vec{B}}{q}$ ○
(গ) $\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B}$ ○ (ঘ) $\vec{F} = q^2\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ ○

৩। নিচের কোনটি চৌম্বক ক্ষেত্রের একক?

(ক) Nm ○ (খ) Am^{-1} ○
(গ) T ○ (ঘ) NAm^{-1} ○

৪। নিচের কোনটি বিয়োঁ স্যাভাঁর সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ?

(ক) $dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idl\sin\theta}{r^2}$ ○ (খ) $dB = \frac{\mu_o Idl\sin\theta}{r^2}$ ○
(গ) $dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{r^2}{Idl\sin\theta}$ ○ (ঘ) $dB = \frac{4\pi}{\mu_o} \frac{Idl\sin\theta}{r^2}$ ○

৫। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে 1C চার্জ চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে $1ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হলে যদি 1N বল অনুভব করে তাহলে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে কী বলে?

(ক) ওয়েবার ○ (খ) টেসলা ○
(গ) অ্যাম্পিয়ার মিটার ○ (ঘ) অ্যাম্পিয়ার/মিটার ○

৬। তড়িৎবাহী একটি সরল তার থেকে a দূরত্বে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে?

(ক) $B = \frac{\mu_o I}{2\pi a}$ ○ (খ) $B = \frac{\mu_o I}{4\pi a}$ ○
(গ) $B = \frac{\mu_o a}{2\pi I}$ ○ (ঘ) $B = \frac{\mu_o a}{2\pi I}$ ○

৭। তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে?

(ক) $B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$ ○ (খ) $B = \frac{\mu_o I}{4\pi r}$ ○
(গ) $B = \frac{\mu_o I}{2r}$ ○ (ঘ) $B = \frac{\mu_o r}{2I}$ ○

৮। শূন্যস্থানে চৌম্বক প্রবেশ্যতার মান কত?

(ক) $4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$ ○ (খ) $4 \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$ ○
(গ) $4\pi \times 10^{-8}\ TmA^{-1}$ ○ (ঘ) $4 \times 10^{-8}\ TmA^{-1}$ ○

pdfcorner.com

৯। 40 পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 32cm। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $100\mu T$-এর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টির জন্য কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত করতে হবে?

(ক) 0.54A ○ (খ) 0.64A ○
(গ) 0.44A ○ (ঘ) 0.74A ○

১০। 0.5T এর একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণ উৎপন্ন করে একটি ইলেকট্রন $10^7 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল। ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের মান কত?

(ক) $2 \times 10^{14}N$ ○ (খ) $2 \times 10^{-14}N$ ○
(গ) $4 \times 10^{14}N$ ○ (ঘ) $4 \times 10^{-14}N$ ○

১১। I প্রবাহবাহী L দৈর্ঘ্যের একটি তারকে বাঁকিয়ে বৃত্তের আকৃতি দেওয়া হলো। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

(ক) $B = \frac{\pi\mu_o I}{L}$ ○ (খ) $B = \frac{\mu_o I}{2L}$ ○
(গ) $B = \frac{2\pi\mu_o I}{L}$ ○ (ঘ) $B = \frac{\mu_o I}{2\pi L}$ ○

১২। হাইড্রোজেন পরমাণুতে $5 \times 10^{-11}m$ বৃত্তাকার কক্ষপথে, ইলেকট্রন প্রতি সেকেন্ডে 6.8×10^{15} বার ঘুরে। কক্ষপথের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

(ক) $2.01 \times 10^{-25} Wbm^{-2}$ ○ (খ) $13.67 Wbm^{-2}$ ○
(গ) $8.54 \times 10^{19} Wbm^{-2}$ ○ (ঘ) $12.56 Wbm^{-2}$ ○

১৩। ঢাকার বিনতি কত?

(ক) 13°N ○ (খ) 31°N ○
(গ) 40°N ○ (ঘ) 41°N ○

১৪। কোনো স্থানের বিনতি δ হলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ কী হবে?

(ক) $H = B \sin\delta$ ○ (খ) $H = B\cos\delta$ ○
(গ) $H = B\tan\delta$ ○ (ঘ) $H = B\cot\delta$ ○

১৫। কোনো স্থানের বিনতি δ হলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ কী হবে?

(ক) $V= B\sin\delta$ ○ (খ) $V = \cos\delta$ ○
(গ) $V= B\tan\delta$ ○ (ঘ) $V = B\cot\delta$ ○

১৬। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $2.25\ \mu T$ এবং বিনতি 30°। ঐ স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান কত?

(ক) 1.95×10^{-5} T ○ (খ) $1.95\ \mu T$ ○
(গ) $19.5\ \mu T$ ○ (ঘ) 1.95×10^6 T ○

১৭। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $30\mu T$ এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $26\mu T$। ঐ স্থানের বিনতি কত?

(ক) 40° ○ (খ) 30° ○
(গ) 50° ○ (ঘ) 45° ○

১৮। কোনো স্থানের $H = 40\mu T$ এবং $\delta = 45°$। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

(ক) $50.5\mu T$ ○ (খ) $55.5\mu T$ ○
(গ) $53.3\mu T$ ○ (ঘ) $56.6\mu T$ ○

১৯। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি তড়িৎবাহী ক্ষুদ্র কুণ্ডলীর উপর টর্ক হচ্ছে—

(i) $\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$

(ii) $\vec{\tau} = NI \ \vec{A} \times \vec{B}$

(iii) $\vec{\tau} = NIAB \sin \theta$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

২০। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা হচ্ছে—

(i) $F = I \, l \, B \sin\theta$

(ii) $\vec{F} = I \ \vec{l} \times \vec{B}$

(iii) $F = IlB$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

২১। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের রাশিমালা হচ্ছে—

(i) $H = B \cos \delta$

(ii) $H = V \cot \delta$

(iii) $H = V \tan \delta$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

২২। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের রাশিমালা হচ্ছে—

(i) $V = B \sin \delta$

(ii) $V = H \tan \delta$

(iii) $V = H \cot \delta$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

২৩। তিনটি তথ্য দেওয়া আছে—

(i) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $\frac{\mu_0 NI}{2r}$

(ii) মুক্তভাবে সাম্যাবস্থায় অবস্থিত কোনো চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ বরাবর কল্পিত উল্লম্ব তলকে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলে।

(iii) যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়ন ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

pdfcorner.com

২৪। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 5×10^{-5} T এবং বিনতি 60°. (১) ও (২) নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

(১) ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান কত?

(ক) 25 μT ○ (খ) 2.5 μT ○

(গ) 25 T ○ (ঘ) 2.5 T ○

(২) ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান কত?

(ক) 43.3×10^{-5} T ○ (খ) 43.3×10^{-6} T ○

(গ) 43.5×10^{-5} T ○ (ঘ) 40.5×10^{-6} T ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (ঘ) ২. (ক) ৩. (গ) ৪. (ক) ৫.(খ) ৬. (ক) ৭. (গ) ৮. (ক) ৯. (খ) ১০. (ঘ) ১১. (ক) ১২. (খ) ১৩. (খ) ১৪. (খ) ১৫. (ক) ১৬. (গ) ১৭. (খ) ১৮. (ঘ) ১৯. (ঘ) ২০. (ঘ) ২১. (ক) ২২. (ক) ২৩.(ঘ) ২৪.(ক)(খ)

খ-বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। কোনো স্থানে পূর্বমুখী চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 5T । একটি ইলেকট্রন ঐ স্থানে $10^7 ms^{-1}$ বেগে উত্তর দিকে গতিশীল। ইলেকট্রনের আধান 1.6×10^{-19} C

(ক) তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া কাকে বলে?

(খ) চৌম্বকক্ষেত্র কী ব্যাখ্যা কর। এর এককের সংজ্ঞা দাও।

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে বর্ণিত ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ের জন্য যে সূত্রটি ব্যবহার করবে সেটি প্রতিপাদন কর। এই সমীকরণের ভেক্টর রূপটি লিখ।

২। ১৮১৯ সালে বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড একটি বিখ্যাত পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন যে, কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারদিকে একটা চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকেই বলা হয় তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া।

(ক) তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে দিক নির্ণয়ের ফ্লেমিং এর ডান হস্ত সূত্রটি বর্ণনা কর।

(খ) কোনো পরিবাহী তারে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের মান নির্ণয়ের বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

(গ) কোনো স্থানে 10^{-3} T চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ করে একটি তার স্থাপন করে এর ভেতর দিয়ে 3 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলো। তারটির দৈর্ঘ্য 1m হলে এটি কত বল অনুভব করবে?

(ঘ) উদ্দীপকে বর্ণিত পরীক্ষার সাহায্যে চৌম্বক ক্ষেত্র সম্পর্কে তোমার ধারণা ব্যাখ্যা কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা ব্যাখ্যা কর।

২। চৌম্বক ক্ষেত্র কাকে বলে? এর এককের সংজ্ঞা দাও।

৩। q আধান $\vec{B}$ চৌম্বক ক্ষেত্রে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল হলে দেখাও যে, চার্জটির ওপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$। এই বলের দিক নির্ণয় কর।

৪। বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

৫। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

৬। হল প্রভাব কাকে বলে? হল ভোল্টেজ কী? হল ভোল্টেজ পরিমাপ করে কীভাবে আধান বাহকের প্রকৃতি নির্ণয় করা যায় ব্যাখ্যা কর।

৭। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী পরিবাহীর ওপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নির্ণয় কর।

৮। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত প্রবাহবাহী লুপের ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক ব্যাখ্যা কর।

৯। কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাখ্যা কর।

১০। ইলেকট্রন স্পিনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাখ্যা কর।

১১। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।

১২। ভূ-চৌম্বকত্বের উপাদানগুলোর সংজ্ঞা দাও।

১৩। ঢাকার বিচ্যুতি 30′ পূর্ব বলতে কী বুঝ?

১৪। ঢাকার বিনতি 31° উত্তর বলতে কী বুঝ?

১৫। ডায়া, প্যারা ও ফেরোচৌম্বক পদার্থের পার্থক্য নির্দেশ কর।

১৬। এন্টিফেরোচুম্বকত্ব ও ফেরিচুম্বকত্ব বলতে কী বোঝায়?

১৭। চৌম্বক ডোমেইনের ধারণা ব্যাখ্যা কর।

১৮। হিস্টোরিসিস লেখচিত্র ব্যাখ্যা কর।

১৯। তড়িৎ চুম্বক কী এবং কীভাবে তৈরি করা যায়?

২০। অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। কোনো স্থানে চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একটি প্রোটন 2×10^6 ms^{-1} বেগে গতিশীল হলে 4.8×10^{-15} N বল অনুভব করে। প্রোটনের আধান 1.6×10^{-19} C হলে চৌম্বকক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর। [উ: 3×10^{-2} T]

২। 0.50 T সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 60° কোণে একটি ইলেকট্রন 10^5 ms^{-1} বেগে চলতে থাকলে ইলেকট্রনটির ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর। [উ: 6.93×10^{-15} N]

৩। 1 cm প্রস্থ, 4 cm দীর্ঘ এবং 10^{-3} cm পুরুত্ববিশিষ্ট একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 3 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলো। যখন পরিবাহীর তলের সাথে লম্ব বরাবর 1.5 T এর একটি চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তখন এর প্রস্থ বরাবর 10^{-5} V এর হল বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। আধান বাহকের সঞ্চরণ বেগ এবং প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে আধান বাহকের সংখ্যা নির্ণয় কর। [উ: 6.67×10^{-4} ms^{-1}; 2.81×10^{23} cm^{-3}]

৪। 0.02 m প্রস্থের একটি ধাতব পাত 5 T চৌম্বকক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের সঞ্চরণ বেগ 4×10^{-3} ms^{-1} হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর। [উ: 4×10^{-4} V]

৫। 0.02 m প্রস্থের একটি ধাতব পাত 6 T চৌম্বক ক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের সঞ্চরণ বেগ 4×10^{-3} ms^{-1} হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর। [উ: 4.8×10^{-4} V]

৬। 10 A তড়িৎ প্রবাহবাহী 10 cm লম্বা একটি তারকে কোন সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে স্থাপন করলে এটি 5 N বল অনুভব করে। চৌম্বকক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর। [উ: 10 T]

৭। 40 cm দীর্ঘ এবং 20 cm প্রস্থ ও 100 পাকবিশিষ্ট একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর মধ্যদিয়ে 10 A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীটিকে 5 T এর সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপন করলে এর ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক নির্ণয় কর। [উ: 400 Nm]

৮। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান ও বিনতির মান যথাক্রমে 36 μT এবং 60° হলে ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান নির্ণয় কর। [উ: 18 μ T]

৯। কোনো স্থানে H এর মান 36 μT এবং বিনতি 45° হলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র নির্ণয় কর। [উ: 50·91 μ T]

১০। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 19.1 μT এবং বিনতি 30° হলে, সে স্থানে পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের মান কত? [উ: 22.05 μT]

১১। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান $45{\cdot}3 \times 10^{-6}$ T এবং অনুভূমিক উপাংশের মান $32{\cdot}1 \times 10^{-6}$ T হলে ঐ স্থানের বিনতি নির্ণয় কর। [উ: 44.88°]

১২। A স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র 98 μT ও বিনতি 45° এবং B স্থানে চৌম্বকক্ষেত্র ও বিনতি যথাক্রমে 50 μT ও 60°। ঐ দুই স্থানে অনুভূমিক উপাংশের অনুপাত নির্ণয় কর। [উ: 2·77 : 1]

১৩। কোনো স্থানের বিনতি 60° এবং ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 30 μT। ঐ স্থানের উল্লম্ব উপাংশ কত? [উ: 51·96 μT]

১৪। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 40 μT এবং উল্লম্ব উপাংশ 30 μT। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র এবং বিনতি নির্ণয় কর। [উ: 50 μT; 36·87°]

১৫। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 36 μT এবং অনুভূমিক উপাংশ 18 μT। ঐ স্থানের বিনতি এবং উল্লম্ব উপাংশ বের কর। [উ: 60°; 31·18 μT]

১৬। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 15.923 T এবং বিনতি 60° হলে ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান কত? [উ: 13.79 T]

১৭। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 4×10^{-5} T এবং বিনতি 45° হলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ নির্ণয় কর। [উ: 28.28×10^{-6} T]

১৮। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 4×10^{-5} T এবং বিনতি 60°। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ বের কর। [উ: 20×10^{-6} T; 34.64×10^{-6} T]

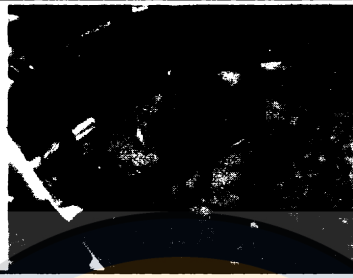
১৯। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান 22.5 μT। ঐ স্থানের বিনতি 30° হলে চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ কত হবে? [উ: 19.49 μT]

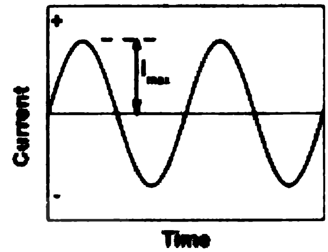
২০। কোন স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 28 μT এবং বিনতি 30°। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের মান কত? [উ: 32.33 μT]

পঞ্চম অধ্যায়

তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ

ELECTROMAGNETIC INDUCTION AND ALTERNATING CURRENT





১৮১৯ সালে ওয়েরস্টেড কর্তৃক তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কারের পর থেকে বিজ্ঞানীদের মধ্যে একটা নতুন চিন্তার অবতারণা হলো। তাঁরা চৌম্বকক্ষেত্র থেকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায় কিনা সে বিষয়ে চিন্তা করতে থাকলেন। তিন দেশে তিনজন বিজ্ঞানী—ইংল্যান্ডে **মাইকেল ফ্যারাডে** (1791–1867), যুক্তরাষ্ট্রে **জোসেফ হেন্‌রি** (1797–1879) ও রাশিয়াতে **এইচ. এফ. ই. লেঞ্জ** (1804–1865) পৃথক পৃথকভাবে এ বিষয়ের উপর কাজ শুরু করেন। পৃথক পৃথকভাবে তিন জনই তাঁদের কাজে সাফল্য লাভ করলেও ১৮৩১ খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম মাইকেল ফ্যারাডে তাঁর পরীক্ষালব্ধ ফলাফল প্রকাশ করেন। আর তাই তিনি বিজ্ঞানের ইতিহাসে **তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশের আবিষ্কর্তা** হিসেবে পরিচিত। ফ্যারাডের এই আবিষ্কার তড়িতবিজ্ঞান তথা আধুনিক সভ্যতার বিবর্তনে অন্যতম সহায়ক শক্তি হিসেবে কাজ করেছে।

প্রধান শব্দসমূহ :
তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ, ফ্যারাডের সূত্র, লেঞ্জের সূত্র, স্বকীয় আবেশ, স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক, পারস্পরিক আবেশ, পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ, দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি, তড়িৎ প্রবাহের গড়মান, তড়িৎ প্রবাহের মূল গড় বর্গমান, ওয়েবার, হেনরি।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখন ফল	অনুচ্ছেদ
১	তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.১
২	চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন বর্ণনা করতে পারবে।	৫.২
৩	আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.৩
৪	ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.৫, ৫.৬
৫	লেঞ্জের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.৭
৬	লেঞ্জের সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতার সূত্রের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.৮
৭	স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.৯, ৫.১০
৮	দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টির কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.১২
৯	বর্গমূলীয় গড়মান, শীর্ষমান এবং প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৫.১৩, ৫.১৪

৫.১। তাড়িতচৌম্বকীয় বা তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (Electromagnetic Induction)

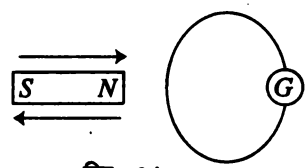
করে দেখো : একটি পরিবাহী তারকে বৃত্তের আকৃতি দিয়ে অর্থাৎ কুণ্ডলী পাকিয়ে এর দুই প্রান্তে প্রবাহের উপস্থিতি নির্ণয়ের যন্ত্র গ্যালভানোমিটারের সাথে যুক্ত করো।

(i) কুণ্ডলীর পাশে সোজা করে একটি দণ্ড চুম্বক ধর।

(ii) দণ্ড চুম্বকটিকে দ্রুত কুণ্ডলীর দিকে আনো।

(iii) দণ্ড চুম্বকটিকে দ্রুত কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নাও।

প্রত্যেক ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের কাঁটার দিকে লক্ষ্য কর। কী দেখলে?



চিত্র : ৫.১

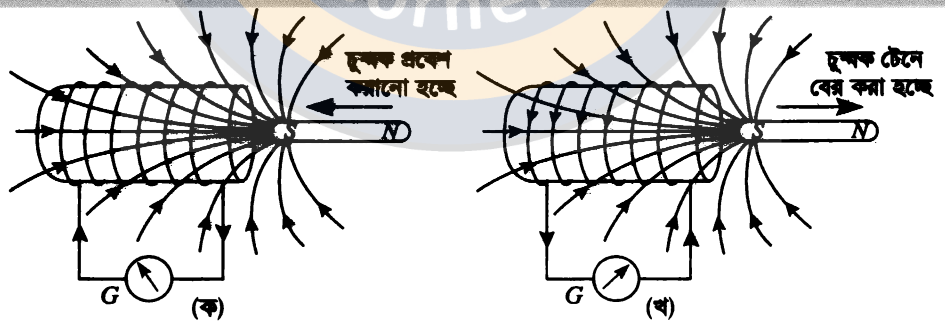
দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর নিকটে স্থির থাকা অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের কাঁটার কোন্ বিক্ষেপ হয় না, অর্থাৎ কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। কিন্তু যখন চুম্বকটি কুণ্ডলীর সাপেক্ষে গতিশীল তখন গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত হয়, অর্থাৎ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিত নির্দেশ করে। তুমি যদি চুম্বকটিকে স্থির রেখে কুণ্ডলীটিকে চুম্বকের দিকে আনা নেয়া করতে তাহলেও একই ফল পেতে। অর্থাৎ চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়েছে।

চৌম্বকক্ষেত্রের সাহায্যে বদ্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করা যায়। এর জন্য প্রয়োজন হয় গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনী। গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎবর্তনী দ্বারা কোনো বদ্ধ বর্তনীতে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাকে তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ বা তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ বলে।

একটি গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনীর সাহায্যে অন্য একটি বদ্ধ বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশ বলে। একে তাড়িতচৌম্বক আবেশও বলা হয়।

৫.২। চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎশক্তি উৎপাদন
Production of Electric Energy by magnet

পরীক্ষা : প্রায় তিন সেন্টিমিটার দীর্ঘ ও দুই সেন্টিমিটার ব্যাসযুক্ত কার্ড বোর্ডের একটি চোঙের গায়ে অন্তরিত তামার তার জড়ানো হয় [চিত্র ৫.২ (ক)]। এবার একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারকে তামার তারের দুই প্রান্তে যুক্ত করা হয়।



চিত্র : ৫.২

এখন একটি দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে দ্রুত চোঙের মধ্যে প্রবেশ করালে গ্যালভানোমিটারে কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। চুম্বকটিকে এবার দ্রুত বের করে নিলে পুনরায় গ্যালভানোমিটারে কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। তবে এবারকার বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীত দিকে হয় [চিত্র ৫.২(খ)]।

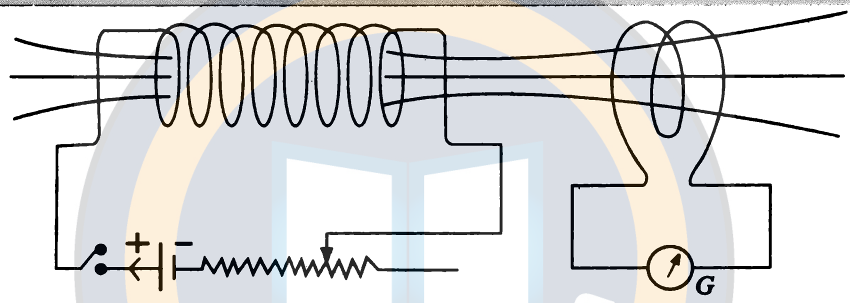
চুম্বকটিকে স্থির রেখে এবার যদি গ্যালভানোমিটারসহ কুণ্ডলীটিকে চুম্বকের দিকে দ্রুত নেওয়া হয় তাহলেও গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। কুণ্ডলীটিকে চুম্বক থেকে দূরে সরিয়ে নিলে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে দেখা যাবে।

চুম্বকের দুই মেরুর মাঝখানে আয়তাকার কুণ্ডলীকে ক্রমাগত ঘুরিয়ে কুণ্ডলীতে নিরবচ্ছিন্ন তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় যা ৫.১২ অনুচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে। ডায়নামো, জেনারেটর ও বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে এই নীতির উপর ভিত্তি করেই তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়।

৫.৩। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি (Induced Electro Motive Force)

শুধু চুম্বকের সাহায্যেই যে বদ্ধ বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়, তা নয়। একটি তড়িৎবাহী বর্তনীর সাহায্যেও অন্য বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করা যায়।

পরীক্ষা : অন্তরিত তামার তারের দুটি বদ্ধ কুণ্ডলী নেওয়া হয়। প্রথম কুণ্ডলীতে শুধু একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার সংযুক্ত। আর দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তির উৎস, একটি পরিবর্তনশীল রোধ ও একটি টেপা চাবি সংযুক্ত [চিত্র ৫.৩]। যে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তির উৎস সংযুক্ত তাকে মুখ্য কুণ্ডলী বলে। আর যে কুণ্ডলীতে গ্যালভানোমিটার সংযুক্ত সেটি গৌণ কুণ্ডলী।



চিত্র : ৫.৩

এখন চাবি বন্ধ করে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু করলে গৌণ কুণ্ডলীর গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যায়। আবার চাবি খুলে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করার সময়ও গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যায়। তবে এবার বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়।

মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ ক্রমাগত পরিবর্তন করতে থাকলে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। এ ক্ষেত্রে প্রবাহ বৃদ্ধির সময় বিক্ষেপ যেদিকে হবে প্রবাহ হ্রাসের সময় বিক্ষেপ তার বিপরীত দিকে হবে।

মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ স্থির রেখে যদি কুণ্ডলীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা হয় তাহলেও গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। দূরত্ব বৃদ্ধি করলে বিক্ষেপ যেদিকে হবে, দূরত্ব হ্রাস করলে বিক্ষেপ তার বিপরীত দিকে হবে।

আমরা জানি, তড়িৎ প্রবাহের জন্য তড়িচ্চালক শক্তির প্রয়োজন। উপরে বর্ণিত পরীক্ষাগুলো থেকে দেখো যায় এই তড়িৎ প্রবাহের জন্য কোনো তড়িচ্চালক শক্তির উৎস নেই। তাহলে তড়িৎ প্রবাহিত হয় কীভাবে? আসলে কোনো চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনী এবং কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির ফলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যা তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে। একেই আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়। **কোনো চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনী এবং বদ্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির ফলে বদ্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় তাকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।**

এই আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান হয় কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমান যা ৫.৬ অনুচ্ছেদের বিস্তারিত বর্ণনা করা হয়েছে।

৫.৪। চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic Flux)

আমরা জানি, একটি গতিশীল আধান বা স্থায়ী চুম্বক তার চারপাশে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। চৌম্বকক্ষেত্র বিদ্যমান এমন কোনো স্থানে কোনো তল কল্পনা করলে তার সাথে চৌম্বক ফ্লাক্স সংশ্লিষ্ট থাকে বা ঐ তল দিয়ে চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রম করে। কোন তলের ক্ষেত্রফলের সাথে ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশ গুণ করলে চৌম্বক ফ্লাক্স পাওয়া যায়।

কোনো-তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।

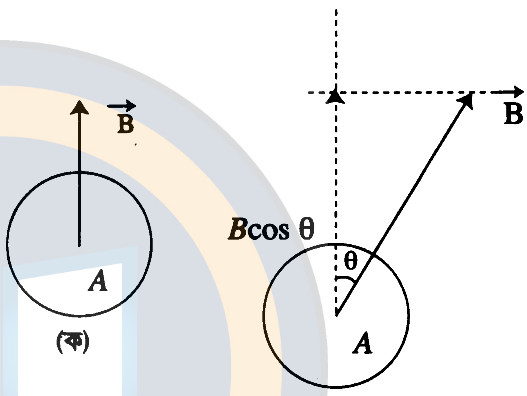
কোনো তলের ক্ষেত্রফল A এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ হলে [চিত্র ৫.৪(ক)] চৌম্বক ফ্লাক্স

$$\varphi = AB \quad \ldots \quad (5.1)$$

কিন্তু যদি চৌম্বকক্ষেত্র তলের লম্ব বরাবর ক্রিয়া না করে লম্বের সাথে θ কোণে ক্রিয়া করে [চিত্র ৫.৪(খ)] তাহলে ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশ হবে $B \cos \theta$। সুতরাং চৌম্বক ফ্লাক্স হবে,

$$\varphi = AB \cos \theta \quad \ldots \quad (5.2)$$

এখন $\vec{A}$ কে একটি ভেক্টর হিসেবে গণ্য করা হয় যার মান A ঐ তলের ক্ষেত্রফল নির্দেশ করে এবং দিক হয় ঐ তলের লম্ব বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং উপরিউক্ত সমীকরণের θ হলো ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{A}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ এবং এই সমীকরণ দাঁড়ায়,



চিত্র : ৫.৪

$$\varphi = \vec{A}.\vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.3)$$

সুতরাং ক্ষেত্রফল ভেক্টর ও চৌম্বকক্ষেত্র এর স্কেলার গুণফল দ্বারা চৌম্বক ফ্লাক্স পরিমাপ করা হয়। (5.3) সমীকরণ থেকে দেখা যায়, চৌম্বক ফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি।

(5.2) সমীকরণ থেকে দেখা যায়, চৌম্বক ফ্লাক্সের একক হচ্ছে টেসলা-মিটার^2 (T m^2)। একে ওয়েবার (Wb) ও বলা হয়।

$\therefore$ 1 Wb = 1 T m^2

ওয়েবারের সংজ্ঞা কিন্তু এই সমীকরণ থেকে দেয়া হয় না। এস. আই.-তে ওয়েবারের যে সংজ্ঞা দেয়া হয় তা ৫.৬ অনুচ্ছেদে বর্ণনা করা হয়েছে।

কোনো কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স 10 Wb বলতে বোঝায় ঐ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল 1m^2 হলে কুণ্ডলীর তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশ হচ্ছে 10 T।

৫.৫। তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত সূত্রাবলি
Laws of Electromagnetic Induction

তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত বিভিন্ন পরীক্ষা থেকে নিম্নোক্ত বিষয়গুলো লক্ষ্য করা যায়।

(১) চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির ফলে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ বর্তনীতে তড়িচ্চালক শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করে। এই তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

(২) চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতি বন্ধ হয়ে গেলে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ শূন্য হয়। আপেক্ষিক দ্রুতি যত বেশি হয় বিক্ষেপের পরিমাণও তত বৃদ্ধি পায়। সুতরাং বলা যায়, চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতি যতক্ষণ থাকে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহও ততক্ষণ স্থায়ী হয় এবং এর মান আপেক্ষিক বেগের মানের উপর নির্ভর করে।

pdfcorner.com

(৩) চুম্বকের মেরু পরিবর্তন করলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের দিকও পরিবর্তিত হয়। চুম্বকের মেরু শক্তি বৃদ্ধি করলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণও বৃদ্ধি পায়।

(৪) মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের সূচনা ও সমাপ্তির সময়ে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ দেখা যায়। মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের পরিবর্তন হলেও গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়।

এই সকল পর্যবেক্ষণ থেকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত ফারাডে দুটি এবং লেঞ্জ একটি সূত্র প্রদান করেন। এগুলো তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত সূত্র নামে পরিচিত। ফ্যারাডের প্রথম সূত্র থেকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের কারণ এবং দ্বিতীয় সূত্র থেকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মান পাওয়া যায়। আর লেঞ্জের সূত্র থেকে পাওয়া যায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক।

৫.৬। ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্র
Faraday's Laws of Electromagnetic Induction

প্রথম সূত্র : ***যখনই কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্যদিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বকক্ষেত্ররেখার মোট সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, তখনই কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হয়। যতক্ষণ চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার পরিবর্তন ঘটে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি তথা প্রবাহ ততক্ষণই স্থায়ী হয়।***

ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বৃদ্ধিতে তড়িৎপ্রবাহ যেদিকে ঘটে সংখ্যা হ্রাস পেলে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ তার বিপরীত হয়।

দ্বিতীয় সূত্র : ***কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান ঐ কুণ্ডলীর মধ্যদিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের ঋণাত্মক মানের সমানুপাতিক।***

ধরা যাক,

φ_1 = কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে কোনো বদ্ধ কুণ্ডলী বা বর্তনী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্স।

φ_2 = t সময় পর ঐ কুণ্ডলী বা বর্তনী দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স।

সুতরাং t সময়ে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন $= \varphi_2 - \varphi_1$ এবং চৌম্বক ফ্লাক্স পরিবর্তনে হার $= \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t}$

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$\varepsilon \propto -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t}$$

$$\text{বা, } \varepsilon = -K\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5.4)$$

এখানে K হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক। এর মান নির্ভর করে রাশিগুলোর এককের উপর। এই সমীকরণ থেকে এস. আই. পদ্ধতিতে চৌম্বক ফ্লাক্সের এককের সংজ্ঞা দেয়া হয়। এই একককে বলা হয় ওয়েবার (Wb)। এই এককের সংজ্ঞা এমনভাবে দেয়া হয় যাতে K এর মান 1 হয়। যখন $t = 1\text{s}$, $\varepsilon = 1\text{V}$ এবং $\varphi_2 = 0$ তখন $\varphi_1 = 1$ Wb ধরলে উপরিউক্ত সমীকরণের $K = 1$ হয়।

এক পাকের একটি কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স 1 সেকেন্ডে সুষমভাবে হ্রাস পেয়ে শূন্যতে নেমে আসলে ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় সেই পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্সকে 1 ওয়েবার (1Wb) *বলে।*

সুতরাং 1 Wb = 1V × 1s

$K = 1$ হওয়ায় (5.4) সমীকরণ দাঁড়ায়

$$\therefore \varepsilon = -\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t} \quad \dots \quad (5.5)$$

বিয়োগ চিহ্ন আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির অভিমুখ নির্দেশ করে।

একটি এক পাকবিশিষ্ট কোনো কুণ্ডলী দিয়ে t সময়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স φ হলে,

চৌম্বক ফ্লাক্সের তাৎক্ষণিক পরিবর্তনের হার $= \frac{d\varphi}{dt}$

∴ সুতরাং ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে লেখা যায়,

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$$

কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N হলে মোট চৌম্বক ফ্লাক্স হবে $N\varphi$

$$\therefore \varepsilon = -\frac{d}{dt}(N\varphi)$$

বা, $\varepsilon = -N\dfrac{d\varphi}{dt}$ (5.6)

৫.৭। লেঞ্জের সূত্র (Lenz's Law)

আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয়ের জন্য বিজ্ঞানী লেঞ্জ একটি সূত্র প্রদান করেন। এটি লেঞ্জের সূত্র নামে পরিচিত। এই সূত্রটিকে তাড়িতচৌম্বক আবেশের তৃতীয় সূত্রও বলা হয়।

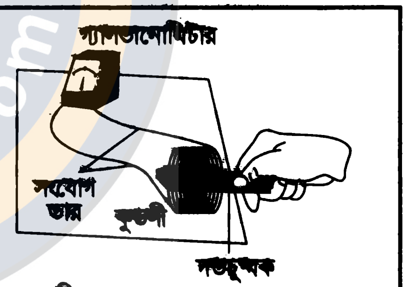
সূত্র : *যে কোনো তাড়িতচৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে, তা সৃষ্টি হওয়া মাত্রই যে কারণে সৃষ্টি হয় সেই কারণকেই বাধা দেয়।*

সুতরাং লেঞ্জের সূত্র থেকে আমরা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও প্রবাহের দিক জানতে পারি। (5.6) সমীকরণের $\dfrac{Nd\varphi}{dt}$ রাশির আগে যে ঋণাত্মক চিহ্ন বসানো হয়েছে এ কারণেই। সুতরাং

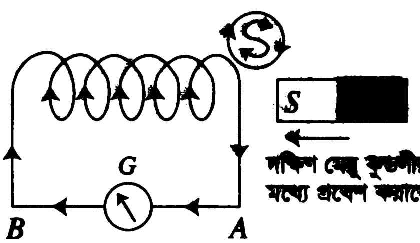
$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \qquad (5.7)$$

লেঞ্জ-এর সূত্রের ব্যাখ্যা

করে দেখো : তামার তারের প্রায় 100 পাকের একটি কুণ্ডলী তৈরি কর। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সাথে সংযুক্ত কর (চিত্র ৫.৫)। একটি দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরু কুণ্ডলী মধ্যে প্রবেশ করাও। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ লক্ষ্য কর। চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর মধ্যে স্থিরভাবে ধরে রাখ এবং গ্যালভানোমিটারের কাঁটা লক্ষ কর। কী দেখলে? চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে এবার কুণ্ডলীর বাইরে আনো এবং গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ লক্ষ কর।



চিত্র : ৫.৫



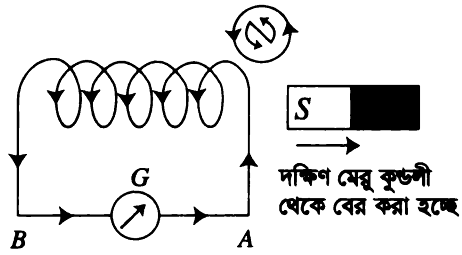
চিত্র : ৫.৬

দক্ষিণ মেরু যখন ভেতরে প্রবেশ করা হয় তখন গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বাম দিকে সরে যাবে। এর অর্থ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে A থেকে B এর দিকে। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতি নির্দেশ করছে বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয়েছে যার ফলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। ডান দিক থেকে দেখলে দেখা যাবে যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে চলছে (চিত্র ৫.৬)।

চুম্বকটিকে যখন কুণ্ডলীর মধ্যে স্থির অবস্থায় রাখা হয় তখন গ্যালভানোমিটারের কাঁটা নড়বে না। এর অর্থ হচ্ছে বর্তনীতে কোনো আবিষ্ট প্রবাহ নেই।

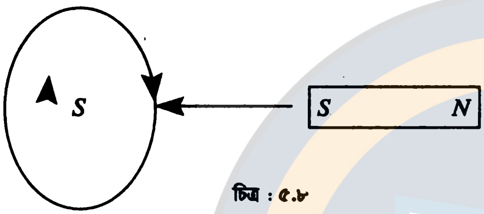
pdfcorner.com

দক্ষিণ মেরুকে কুণ্ডলী থেকে বাইরে নেওয়ার সময় গ্যালভানোমিটারের কাঁটা ডান দিকে সরে যাবে। এর অর্থ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে B থেকে A এর দিকে। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক পূর্ববর্তী প্রবাহের বিপরীত তাই গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিচ্যুতিও বিপরীতমুখী। ডান দিক থেকে দেখলে দেখা যাবে যে, কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকে চলছে (চিত্র ৫.৭)



চিত্র : ৫.৭

ধরা যাক, একটি দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে একটি তারের কুণ্ডলীর দিকে নেওয়া হচ্ছে [চিত্র ৫.৮]। তাড়িত চৌম্বক আবেশের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের উদ্ভব হবে। এখন এই তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যেন তা তার উৎপত্তির কারণ অর্থাৎ চুম্বকের গতিকে বাধা দিবে। এটি সম্ভব যদি দক্ষিণ মেরুর সম্মুখস্থ কুণ্ডলীর তলে দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হয়। এখন সলিনয়েডের নিয়ম থেকে আমরা জানি যে, যেদিক থেকে দেখলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে প্রবাহিত হয় সেদিকটি হবে দক্ষিণ মেরু। সুতরাং চুম্বকটিকে বিকর্ষণ করতে হলে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ ঘড়ির কাঁটা যেদিকে ঘুরে সেদিক বরাবর চলবে। আবার চুম্বকের দক্ষিণ মেরুটিকে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেওয়ার চেষ্টা করলে কুণ্ডলীটি চুম্বকটিকে আকর্ষণ করবে। সুতরাং প্রবাহের দিক এমন হবে যেন চুম্বকের নিকটবর্তী কুণ্ডলী তলে উত্তর মেরুর আবির্ভাব হয়। সেটি একমাত্র সম্ভব যদি কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটা যেদিকে ঘুরে তার বিপরীত দিকে হয়। এভাবে আমরা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয় করতে পারি।



চিত্র : ৫.৮

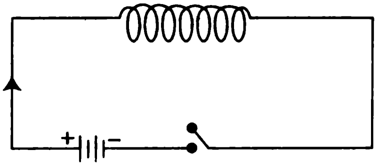
৫.৮। লেঞ্জের সূত্র এবং শক্তির নিত্যতা
Lenz's Law and Conservation of Energy

তাড়িতচৌম্বক আবেশের ফলে আমরা দেখতে পাই যে, কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তির উৎস ছাড়াই তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হচ্ছে। আপাতদৃষ্টিতে এটি শক্তির নিত্যতার সূত্রের ব্যতিক্রম বলে মনে হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাড়িতচৌম্বক আবেশে শক্তির নিত্যতা সূত্র বিরোধী কোন ঘটনা ঘটে না। লেঞ্জের সূত্র থেকেই আমরা তা প্রমাণ করতে পারি। লেঞ্জের সূত্র থেকে আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এর সৃষ্টির কারণকেই বাধা দেয়। কোনো কুণ্ডলী ও চুম্বকের মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতির জন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের উদ্ভব হয় যা ঐ আপেক্ষিক গতিকে বাধা দেয়। সুতরাং ঐ গতি বজায় রাখার জন্য সর্বদা কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। সুতরাং তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।

৫.৯। স্বকীয় আবেশ (Self Induction)

কোনো বর্তনীতে [চিত্র ৫.৯] যদি শুধু একটি কোষ এবং একটি চাবি থাকে তাহলে চাবি বন্ধ করলে পরে বর্তনীতে প্রবাহের মান শূন্য থেকে একটা স্থির মানে পৌছে। এই স্থির মানে পৌছতে কিছু সময়ের প্রয়োজন। এই সময়ের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহের মানের পরিবর্তনের জন্য বর্তনীতে ক্ষণিকের জন্য একটি আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় যা মূল প্রবাহকে বাধা দেয়। তড়িৎপ্রবাহ স্থির মানে পৌছে গেলে আর আবেশী প্রবাহ থাকে না কারণ তখন তড়িৎ বর্তনীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাও স্থির হয়ে যায়।

বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করে দিলেও আবার একই রকম ঘটনা ঘটে। এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ স্থির মান থেকে তড়িৎপ্রবাহ শূন্যে নেমে আসে। ফলে বর্তনীতে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স পরিবর্তিত হয় যা বর্তনীতে আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন করে। বর্তনী বিচ্ছিন্ন করার সময় এই আবেশী তড়িৎপ্রবাহকে অতিরিক্ত তড়িৎপ্রবাহ বলে। এই তড়িতের জন্য কোনো বর্তনীকে বিচ্ছিন্ন করার সময় স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়।



চিত্র : ৫.১

একটি মাত্র বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তনের ফলে অথবা কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে বর্তনীর গতির ফলে বর্তনীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তনের জন্য যে তাড়িতচৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক (Self Inductance or Coefficient of Self Induction)

ধরা যাক, কোনো কুণ্ডলীতে I প্রবাহের জন্য অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স φ, তাহলে, $\varphi \propto I$

বা $\varphi = LI$ ... ... (5.8)

এখানে, L সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে। যদি $I = 1$ একক হয় তাহলে, $\varphi = L$ হয়।

কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীতে সংযুক্ত মোট চৌম্বক ফ্লাক্সকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

আবার আমরা জানি,

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$$

$$= -\frac{d}{dt}(LI) = -L\frac{dI}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.9)$$

তড়িচ্চালক শক্তি তড়িৎ প্রবাহ পরিবর্তনে বাধা দান করে তাই সমীকরণে বিয়োগ বোধক চিহ্ন L কে ধনাত্মক ধ্রুবকে পরিণত করবে।

এখানে $\frac{dI}{dt}$ হলো প্রবাহের পরিবর্তনের হার। যখন $\frac{dI}{dt} = 1$, তখন $L = \varepsilon$

অর্থাৎ কোনো বর্তনীতে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহ একক হারে পরিবর্তিত হলে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় তাকে স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

কুণ্ডলীতে পাক সংখ্যা N হলে,

$$\varepsilon = -NL\frac{dI}{dt} \quad (5.10)$$

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক হেনরি (Henry), এর সংকেত H।

কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হারে পরিবর্তিত হলে যদি ঐ কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তাহলে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ককে এক হেনরি বলে।

অর্থাৎ

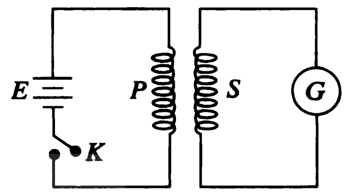
$$1\ \text{H} = \frac{1\text{V}}{1\text{As}^{-1}} = 1\text{V s A}^{-1}$$

আবার $L = \frac{\varphi}{I}$ সম্পর্ক থেকে দেখা যায়

$$1\text{H} = \frac{1\text{Wb}}{1\text{A}} = 1\ \text{WbA}^{-1}$$

৫.১০। পারস্পরিক আবেশ (Mutual Induction)

দুটি কুণ্ডলী P ও S বিবেচনা করা যাক। এদের পরস্পরের কাছাকাছি রাখা হয়েছে। P কুণ্ডলীর সাথে সংযুক্ত রয়েছে একটি ব্যাটারি E ও একটি টেপা চাবি K এবং S কুণ্ডলীর সাথে সংযুক্ত রয়েছে একটি গ্যালভানোমিটার G [চিত্র ৫.১০]। P কুণ্ডলীকে বলা হয় প্রাথমিক বা মুখ্য কুণ্ডলী এবং S কুণ্ডলীকে বলা হয় গৌণ কুণ্ডলী। মুখ্য কুণ্ডলী P এর K চাবিতে চাপ দিলে, গৌণ কুণ্ডলী S এর গ্যালভানোমিটার G এর কাঁটার বিক্ষেপ ঘটে। চাবির চাপ ছেড়ে দিলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ ঘটে বিপরীত দিকে। পারস্পরিক আবেশের জন্য এরূপ হয়।



চিত্র : ৫.১০

K চাবিতে চাপ দিলে P কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে সর্বোচ্চ মানে পৌঁছায়। তড়িৎ প্রবাহের এই বৃদ্ধির সময় কুণ্ডলী P তে চৌম্বক ফ্লাক্স তৈরি হতে থাকে। গৌণ কুণ্ডলী S মুখ্য কুণ্ডলী P-এর খুব কাছাকাছি থাকায় S কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সও বৃদ্ধি পেতে থাকে। ফলে গৌণ কুণ্ডলী S এ আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন হয়। গৌণ কুণ্ডলী S এর আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এ রকম হয় যে এটি মুখ্য কুণ্ডলী P এর ব্যাটারির প্রবাহের বৃদ্ধিকে বাধা দেয়। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ ঘটে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার ফলে।

কোনো একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ পরিবর্তন করলে নিকটবর্তী অন্য একটি কুণ্ডলীতে যে তাড়িতচৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক

কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে I তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্স যদি Φ হয় তাহলে,

$\varphi \propto I$

বা, $\varphi = MI$

এখানে, M সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে। $I = 1$ একক হলে, $\varphi = M$ হয়।

কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্সকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

আবার,

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{d}{dt}(MI) = -M\frac{dI}{dt} \qquad (5.11)$$

এখানে $\frac{dI}{dt}$ হলো ঐ নির্দিষ্ট মুহূর্তে P কুণ্ডলীর প্রবাহের পরিবর্তনের হার। বিয়োগ চিহ্ন দিয়ে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির প্রতিরোধী প্রকৃতি বোঝানো হচ্ছে। যখন $\frac{dI}{dt} = 1$, তখন $M = \varepsilon$

অর্থাৎ কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ একক হারে পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এককও হেনরি (H)

পারস্পরিক আবেশের ব্যবহার

রূপান্তরক বা ট্রান্সফর্মার

Transformer

সংজ্ঞা : ***যে যন্ত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত বা দিক পরিবর্তী উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে এবং নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তরিত করা যায় তাকে রূপান্তরক বা ট্রান্সফর্মার বলে।***

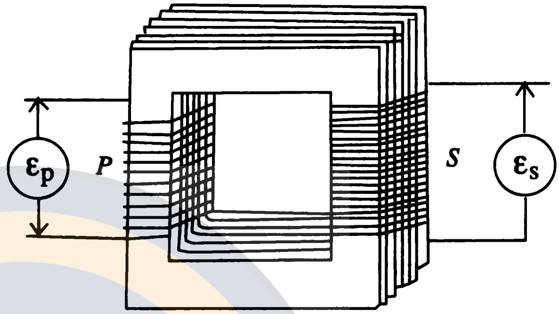
তড়িতচৌম্বক আবেশের উপর ভিত্তি করে এই যন্ত্র তৈরি করা হয়। ট্রান্সফর্মার সাধারণত দু প্রকারের হয়। যথা-

১. আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার ও ২. অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার।

pdfcorner.com

যে ট্রান্সফর্মার অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহকে অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে **আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার** বলে। আর যে ট্রান্সফর্মার অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে **অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার** বলে।

গঠন : একটি কাঁচা লোহার আয়তাকার মজ্জা বা কোর বা অন্তর্বস্তুর দুই বিপরীত বাহুতে অন্তরিত তার পেঁচিয়ে ট্রান্সফর্মার তৈরি করা হয় [চিত্র ৫·১১]। অন্তর্বস্তুর যে বাহুর কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ বা বিভব প্রয়োগ করা হয় তাকে **মুখ্য কুণ্ডলী** বলে আর যে কুণ্ডলীতে পর্যাবৃত্ত বা পরিবর্তী বিভব আবিষ্ট হয় তাকে **গৌণ কুণ্ডলী** বলে।



চিত্র : ৫.১১

আরোহী ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর চেয়ে গৌণ কুণ্ডলীতে পাক সংখ্যা বেশি থাকে। আর অবরোহী ট্রান্সফর্মারে মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা গৌণ কুণ্ডলীর চেয়ে বেশি থাকে।

ধরা যাক, মুখ্য কুণ্ডলীতে ε_p পরিবর্তী বিভব প্রয়োগ করার ফলে এই কুণ্ডলীতে I_p প্রবাহ পাওয়া গেল। এই প্রবাহ অন্তর্বস্তুকে চুম্বকিত করে চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা উৎপন্ন করে যা মুখ্য কুণ্ডলীতে একটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন করে। এখন মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N_p এবং প্রতি পাকে সংযুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্স φ হলে,

$$\varepsilon_p = -N_p \frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad (5.12)$$

এখানে $d\varphi/dt$ = মুখ্য কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হার।

চৌম্বক ফ্লাক্সের যদি কোনো ক্ষরণ না হয় তাহলে গৌণ কুণ্ডলীর প্রতি পাকেও একই ফ্লাক্স সংযুক্ত হবে ফলে গৌণ কুণ্ডলীতেও তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে। গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N_s এবং গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ε_s হলে,

$$\varepsilon_s = -N_s \frac{d\varphi}{dt} \quad (5.13)$$

(5.12) ও (5.13), সমীকরণ থেকে,

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (5.14)$$

অর্থাৎ কুণ্ডলীদ্বয়ের তড়িচ্চালক শক্তি এদের পাক সংখ্যার সমানুপাতিক।

এখন শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে ট্রান্সফর্মারের উভয় কুণ্ডলীর ক্ষমতা সমান হবে অর্থাৎ মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে ব্যয়িত শক্তি গৌণ কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন শক্তির সমান হবে।

অর্থাৎ অন্তর্গামী ক্ষমতা = বহির্গামী ক্ষমতা

$$\therefore \; \varepsilon_p I_p = \varepsilon_s I_s$$

বা, $$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (5.15)$$

সমীকরণ (5.14) ও (5.15) থেকে,

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (5.16)$$

যখন, $N_s > N_p$, তখন $\varepsilon_S > \varepsilon_p$ অর্থাৎ ট্রান্সফর্মারটি আরোহী বা স্টেপ-আপ। আবার যখন, $N_p > N_s$, তখন $\varepsilon_p > \varepsilon_s$ এক্ষেত্রে ট্রান্সফর্মারটি অবরোহী বা স্টেপ ডাউন।

গাণিতিক উদাহরণ ৫.১। 0.4 m² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তল 4×10^{-5} T সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 30° কোণ তৈরি করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বের কর।

আমরা জানি,

$$\varphi = AB \cos\theta$$
$$= 0.4 \text{ m}^2 \times 4 \times 10^{-5} \text{ T} \times \cos 60°$$
$$= 8 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

উ: 8×10^{-6} Wb

এখানে,
তলের ক্ষেত্রফল, $A = 0.4 \text{ m}^2$
চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 4 \times 10^{-5}$ T
তলের অভিলম্ব ও চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যবর্তী কোণ,
$\theta = 90° - 30° = 60°$
চৌম্বক ফ্লাক্স, $\varphi = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.২। একটি তার কুণ্ডলীতে 100 টি পাক রয়েছে। এই কুণ্ডলীটিকে 0.01 সেকেন্ডে দুটি চুম্বক মেরুর মাঝের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে নিয়ে যাওয়া হলো, এতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটলো 30×10^{-5} ওয়েবার। কুণ্ডলীতে সৃষ্ট আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

আমরা জানি,

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$$
$$\therefore \varepsilon = -\frac{100 \times 30 \times 10^{-5}\text{Wb}}{0.01\text{s}}$$
$$= -\frac{3 \times 10^3 \times 10^{-5}}{1 \times 10^{-2}} \text{ V} = -3 \text{ V}$$

উ: -3 V.

এখানে,
চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন, $d\varphi = 30 \times 10^{-5}$ Wb
সময়, $dt = 0.01$ s
$N = 100$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৩। একটি আবেশকের স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 10 হেনরি। এতে 6.0×10^{-2} সেকেন্ডে তড়িৎপ্রবাহ 10 A থেকে 7 A এ পরিবর্তিত হয়। এর আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

আমরা জানি,

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$
$$\therefore \varepsilon = -\frac{10\,H \times (-3)\,A}{6.0 \times 10^{-2}\text{ s}}$$
$$= \frac{30}{6} \times 10^2 \text{ V} = 500 \text{ V}$$

উ: 500 V.

এখানে,
স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক, $L = 10$ H
তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন, $dI = (7 - 10)\,A = -3$ A
সময়, $dt = 6.0 \times 10^{-2}$ s

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৪। কোনো কুণ্ডলীতে 1 s সময়ে তড়িৎ প্রবাহ 0.1 A থেকে 0.5 A-এ পরিবর্তিত হওয়ার দরুন ঐ কুণ্ডলীতে 10 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত?

আমরা জানি,

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$
বা, $$10\text{V} = -L\frac{(-0.4\text{A})}{1\text{s}}$$
$$\therefore L = 25 \text{ H}$$

উ: 25 H

এখানে,
আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, $\varepsilon = 10$V
তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন, $dI = (0.1 \text{ A} - 0.5 \text{ A}) = -0.4$ A
সময়, $dt = 1$ s
স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক, $L = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৫। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে 0.05 s-এ তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 6 A থেকে 1 A-এ আনলে গৌণ কুণ্ডলীতে 5 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত?

আমরা জানি,

$$\varepsilon = -M\frac{dI}{dt}$$

বা, $5\text{ V} = -M\dfrac{(-5\text{A})}{0.05\text{ s}}$

$\therefore\ M = 0.05\text{ H}$

উ: 0.05 H

এখানে,
সময়, $dt = 0.05$ s
তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন, $dI = (1\text{ A} - 6\text{ A}) = -5\text{ A}$
আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, $\varepsilon = 5$ V
পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক $M = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৬। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ 10V এবং তড়িৎপ্রবাহ 4A। গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ 20V হলে, এতে প্রবাহ কত?

আমরা জানি,

$$\frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \therefore I_s = \frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_s} \times I_p = \frac{10\text{ V} \times 4\text{ V}}{20\text{ V}} = 2\text{ A}$$

উ: 2 A

এখানে,
মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $\mathcal{E}_p = 10$ V
গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $\mathcal{E}_s = 20$ V
মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ, $I_p = 4$ A
গৌণ কুণ্ডলীর প্রবাহ, $I_s = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৭। একটি আরোহী ট্রান্সফরমারে 200V সরবরাহ করে 4A তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাত 1 ঃ 10 হলে ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ও বহিঃক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \qquad \text{বা, } I_p = \frac{N_s}{N_p} \times I_s = \frac{10}{1} \times 4\text{ A} = 40\text{ A}$$

এবং $P = \mathcal{E}_s I_s$

কিন্তু $\dfrac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_s} = \dfrac{N_p}{N_s}$

বা, $\mathcal{E}_s = \dfrac{N_s}{N_p} \times \mathcal{E}_p = \dfrac{10}{1} \times 200\text{ V} = 2000\text{ V}$

$\therefore P = 2000\text{ V} \times 4\text{ A} = 8000\text{ W}$

উ: 40 A ; 8000 W

এখানে,
মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাত, $\dfrac{N_p}{N_s} = \dfrac{1}{10}$
মুখ্য কুণ্ডলীতে ভোল্টেজ, $\mathcal{E}_p = 200$ V
গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ, $I_s = 4$ A
মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ, $I_p = ?$
বহিস্থ ক্ষমতা, $P = ?$

৫.১১। দিক পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating Current)

আমরা জানি, কোনো রোধকের এক প্রান্ত যদি একটি তড়িৎ কোষের ধনাত্মক পাতের সাথে এবং অপর প্রান্ত যদি ঋণাত্মক পাতের সাথে সংযুক্ত করা হয়, তাহলে ঐ তড়িৎ কোষ ঐ রোধের মধ্যদিয়ে একই দিকে স্থির মানের তড়িৎ প্রবাহ প্রেরণ করে। এই ধরনের তড়িৎ প্রবাহকে সমপ্রবাহ বা একমুখী প্রবাহ (direct current) বলে। এখন যদি কোষের প্রান্তদ্বয়ের স্থান বিনিময় করে রোধকের সাথে সংযুক্ত করা হয়, তাহলে এ রোধকের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ বিপরীত দিকে চলবে। যদি এভাবে বার বার তড়িৎ কোষের মেরুর সাথে সংযোগ পরিবর্তন করা হয়, তাহলে রোধকের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহের দিক বার বার পরিবর্তিত হবে। এখন তড়িৎ প্রবাহ যদি নির্দিষ্ট সময় পর পর দিক পরিবর্তন করে এবং তড়িৎ প্রবাহের মানও পর্যায়ক্রমে কম বেশি হয়, তাহলে সেই প্রবাহকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ বা পর্যাবৃত্ত প্রবাহ (alternating

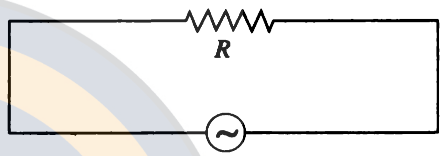
current) বলা হয়। আর যে তড়িচ্চালক শক্তির ক্রিয়ায় বর্তনীতে দিক পরিবর্তী প্রবাহ চলে সেই তড়িচ্চালক শক্তিকে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা পর্যাবৃত্ত তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহ : কোনো বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ যদি একটি নির্দিষ্ট সময় পর পর দিক পরিবর্তন করে এবং নির্দিষ্ট সময় পর পর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয়, সেই তড়িৎ প্রবাহকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ বলে।

দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি : যে তড়িচ্চালক শক্তির ক্রিয়ায় কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ একটি নির্দিষ্ট সময় পর পর দিক পরিবর্তন করে এবং নির্দিষ্ট সময় পর পর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয় সেই তড়িচ্চালক শক্তিকে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

আমরা জানি, কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীকে একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্রে ω কৌণিক বেগে ঘুরানো হলে কুণ্ডলীতে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। সবচেয়ে পরিচিত দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি সময়ের সাথে সাইন সদৃশ্যভাবে (sinusodially) পরিবর্তিত হয় এবং তা নিচের সমীকরণ দিয়ে প্রকাশ করা যায়,

$$\varepsilon = \varepsilon_o \sin \omega t$$



চিত্র : ৫.১২

এখানে

$\varepsilon =$ যে কোনো সময় t তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান।

$\varepsilon_o =$ আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সর্বোচ্চ বা শীর্ষ মান।

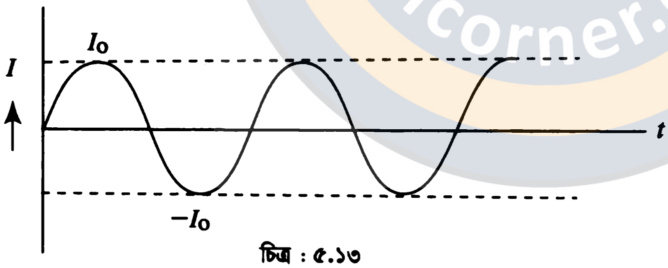
$\omega =$ উৎসের কৌণিক বেগ তথা তড়িচ্চালক শক্তির কৌণিক কম্পাঙ্ক।

এই তড়িৎ প্রবাহ যদি R রোধবিশিষ্ট কোনো বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয় [চিত্র ৫.১২] তাহলে ঐ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_o}{R} \sin \omega t$$

বা, $I = I_o \sin \omega t$ (5.17)

এখানে $I_o = \frac{\varepsilon_o}{R} =$ তড়িৎ প্রবাহের সর্বোচ্চ বা শীর্ষ মান।



চিত্র : ৫.১৩

সময়ের সাথে সাথে দিক পরিবর্তী প্রবাহ কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা ৫·১৩ চিত্রে দেখানো হলো।

দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের পর্যায়কাল T এবং কম্পাঙ্ক f হলে,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

বা, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ এবং $f = \frac{\omega}{2\pi}$

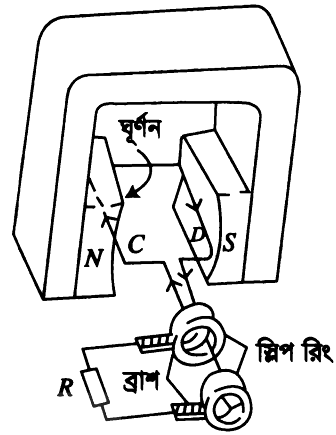
দিক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির ক্ষেত্রে তড়িচ্চালক শক্তিকে E এর পরিবর্তে ε দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

৫.১২। দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি
Production of Alternating Current

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টির যান্ত্রিক ব্যবস্থা : ৫.১৪ চিত্রে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টির যান্ত্রিক ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে যা এসি ডায়নামো নামেও পরিচিত। এতে একটি চুম্বক NS থাকে। একে ক্ষেত্র চুম্বক (field magnet) বলে। চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে একটি কাঁচা লোহার পাতের উপর একটি তারের আয়তাকার কুণ্ডলী

pdfcorner.com

(চিত্রে CD) থাকে। কাঁচা লোহার পাতটিকে আর্মেচার বলে। আর্মেচারটিকে চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী স্থানে যান্ত্রিক উপায়ে সমদ্রুতিতে ঘুরানো হয়। আয়তাকার কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুটি স্লিপ রিং-এর সাথে সংযুক্ত থাকে। স্লিপ রিং দুটি আর্মেচারের সাথে একই অক্ষ বরাবর ঘুরতে পারে। দুটি কার্বন নির্মিত ব্রাশ এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন তারা যখন আর্মেচার ঘুরতে থাকে তখন স্লিপ রিং দুটিকে স্পর্শ করে থাকে। ব্রাশ দুটির সাথে বহির্বর্তনী R সংযুক্ত থাকে।



চিত্র : ৫.১৪

তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি : যখন আর্মেচারটিকে ঘুরানো হয় তখন আর্মেচার কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখাগুলোকে ছেদ করে এবং তাড়িতচৌম্বক আবেশের নিয়মানুযায়ী কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এখন কুণ্ডলীটির দুই প্রান্ত বহির্বর্তনীর সাথে সংযুক্ত থাকায় বর্তনীতে **পর্যাবৃত্ত বা দিক পরিবর্তী** তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মান প্রধানত চৌম্বকক্ষেত্রের মান ও কুণ্ডলীর কৌণিক বেগের উপর নির্ভর করে। কুণ্ডলীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে এর মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ একবার পরিবর্তিত হয়। এভাবে আমরা যান্ত্রিক শক্তি থেকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ উৎপন্ন করতে পারি। আর্মেচার কুণ্ডলীটি চৌম্বকক্ষেত্র B তে ω কৌণিক বেগে ঘুরতে থাকলে, t সময়ে চৌম্বক ফ্লাক্স φ হলে $\varphi = NBA\cos\omega t$, যেখানে N আর্মেচারের পাক সংখ্যা, A কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{d}{dt}(NBA\cos\omega t) = NBA\omega\sin\omega t$$

বা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin\omega t$ ... ... (5.18)

যেখানে, $\varepsilon_0 = NBA\omega$ হচ্ছে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সর্বোচ্চ মান বা শীর্ষমান।

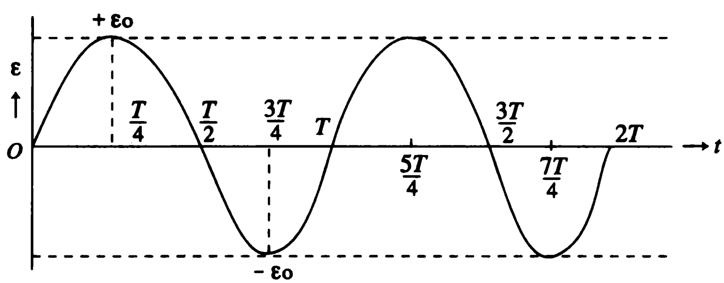
এখন কুণ্ডলীর পর্যায়কাল T হলে, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ হবে।

সমীকরণ (5.18) থেকে দেখা যায় ε এর মান ωt এর উপর নির্ভর করে।

যখন $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3T}{2}, 2T$ ইত্যাদি হয় তখন তড়িচ্চালক শক্তি $\varepsilon = 0$ হয়।

আবার, $t = \frac{T}{4}, \frac{5}{4}T$ ইত্যাদি হলে $\varepsilon = +\varepsilon_0$ এবং $t = \frac{3}{4}T, \frac{7}{4}T$ ইত্যাদি হলে $\varepsilon = -\varepsilon_0$ হয়।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, কুণ্ডলীর সঙ্গে তড়িচ্চালক শক্তি ε-এর মান শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে $+\varepsilon_0$ এবং এরপর ক্রমশ হ্রাস পেয়ে পুনরায় শূন্য মানে পৌঁছায়। এরপর বিপরীত দিকে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে $-\varepsilon_0$ হয় এবং আবার



চিত্র : ৫.১৫

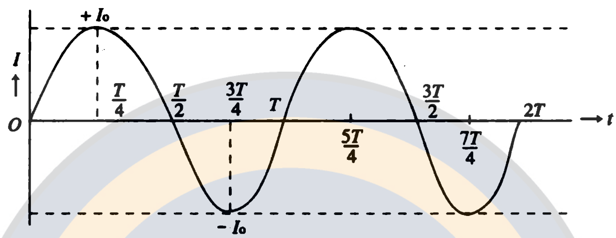
হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে আসে। এমনিভাবে তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের একটি পূর্ণ চক্র T সময়ে সম্পন্ন হয় (চিত্র ৫.১৫)।

তড়িৎ প্রবাহ : ধরা যাক, কুণ্ডলীর রোধ R। অতএব যে কোন মুহূর্ত t তে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0 \sin \omega t}{R} = I_o \sin \omega t \qquad (5.19)$$

এখানে, $I_o = \frac{\varepsilon_0}{R}$ = সর্বোচ্চ তড়িৎ প্রবাহ বা তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষমান। তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের ফলে তড়িৎ প্রবাহও পরিবর্তিত হয়। এজন্য একে দিক পরিবর্তী প্রবাহ বা Alternating Current বা সংক্ষেপে AC বলা হয়।

সময়ের সাথে দিক পরিবর্তী প্রবাহের মান ও দিক কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা (৫.১৬) চিত্রে দেখানো হয়েছে। চিত্র থেকে দেখা যায় যে, দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণকে সাইন লেখ বা কোসাইন লেখ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।



চিত্র : ৫.১৬

৫.১৩। দিক পরিবর্তী প্রবাহ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি
Few Terms Regarding Alternating Current

বিস্তার বা শীর্ষ মান (Amplitude) : যে কোনো অভিমুখে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে তার বিস্তার বা শীর্ষ মান বলে।

(5.13) বা (5.14) সমীকরণে $\sin \omega t$ এর সর্বোচ্চ মান +1 হওয়ায় তড়িচ্চালক শক্তির বিস্তার ε_o এবং প্রবাহের বিস্তার I_o।

পূর্ণ চক্র (Full Cycle) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের মান শূন্য হতে বাড়তে বাড়তে শীর্ষ মান, এর পর কমতে কমতে শূন্য মানে এসে পুনরায় বিপরীত অভিমুখে বাড়তে বাড়তে শীর্ষ মানে উপনীত হয়ে আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে পৌছালে তাকে এক পূর্ণ চক্র বলে।

অর্ধ চক্র (Half Cycle) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের মান শূন্য হতে বাড়তে বাড়তে শীর্ষ মানে এসে তারপর কমতে কমতে পুনরায় শূন্য মানে পৌছালে তাকে অর্ধ চক্র বলে।

পর্যায়কাল (Time Period) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের একটি পূর্ণ চক্র সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে তাকে পর্যায়কাল বলে।

পর্যায়কাল, $T = \frac{2\pi}{\omega}$

কম্পাঙ্ক (Frequency) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎপ্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যে কয়টি-পূর্ণ চক্র সম্পন্ন করে তাকে কম্পাঙ্ক বলে।

কম্পাঙ্ক, $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

গড় তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িচ্চালক শক্তির গড় মান

যে কোনো সময় ব্যবধানের দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সকল মানের গড়কে ঐ সময় ব্যবধানের গড় তড়িচ্চালক শক্তি বলে। ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সময় ব্যবধানের তড়িচ্চালক শক্তি ও সময় ব্যবধানের গুণফলের সমষ্টি নিয়ে তাকে

মোট সময় ব্যবধান দিয়ে ভাগ করলে ঐ ভাগফলকে ঐ সময় ব্যবধানের গড় তড়িচ্চালক শক্তি বলে। একটি পূর্ণ চক্রের জন্য গড় তড়িচ্চালক শক্তি হবে,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_o^T \varepsilon\, dt}{T} = \frac{1}{T}\int_o^T \varepsilon\, dt \qquad (5.20)$$

গড় তড়িৎ প্রবাহ বা তড়িৎ প্রবাহের গড় মান

যে কোনো সময় ব্যবধানের দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সকল মানের গড়কে ঐ সময় ব্যবধানের গড় তড়িৎ প্রবাহ বলে। ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সময় ব্যবধানের তড়িৎ প্রবাহ ও সময় ব্যবধানের গুণফলের সমষ্টি নিয়ে তাকে মোট সময় ব্যবধান দিয়ে ভাগ করলে ঐ ভাগফলকে ঐ সময় ব্যবধানের গড় তড়িৎপ্রবাহ বলে। একটি পূর্ণ চক্রের জন্য গড় তড়িৎ প্রবাহ

$$I = \frac{1}{T}\int_0^T I\, dt \qquad (5.21)$$

বর্গমূলীয় গড় মান (Root Mean Square Value) : কোনো রাশির সকল মানের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে ঐ রাশির বর্গমূলীয় গড় মান বলে। যেমন, কোনো রাশি x হলে তার বর্গমূলীয় গড় মান হবে,

$$x_{rms} = \sqrt{\overline{x^2}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_N^2}{N}} \qquad (5.22)$$

অর্ধচক্রের জন্য দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের গড় মান:

পর্যায়কাল T হলে, আমরা জানি, অর্ধচক্রের জন্য গড় তড়িৎ প্রবাহ হবে,

$$\bar{I} = \frac{1}{T/2}\int_o^{T/2} I\, dt$$

$$= \frac{2}{T}\int_o^{T/2} I_o \sin\omega t\, dt \qquad [\because I = I_o \sin\omega t]$$

$$= -\frac{2I_o}{\omega T}[\cos\omega t]_o^{T/2}$$

$$= -\frac{2I_o}{\omega T}\left[\cos\frac{\omega T}{2} - \cos 0\right]$$

$$= -\frac{2I_o}{2\pi}[\cos\pi - \cos 0] \qquad \left[\because \omega = \frac{2\pi}{T}\right]$$

$$= -\frac{I_o}{\pi}[-1-1] = \frac{2I_o}{\pi}$$

$$\therefore \bar{I} = 0.637\, I_o \qquad (5.23)$$

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : দেখাও যে, পূর্ণচক্রের জন্য দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের গড় মান শূন্য।

নিজে কর : দেখাও যে, অর্ধচক্রের জন্য দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির গড়মান এর শীর্ষ মানের $\frac{2}{\pi}$ গুণ বা 0.637 গুণ বা 63.7%।

৫.১৪। দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মানের সাথে শীর্ষমানের সম্পর্ক

Relation of Root Mean Square Value of Alternating Current with Peak Value

যে কোনো সময় ব্যবধানের দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সকল মানের বর্গের গড়কে ঐ সময় ব্যবধানের তড়িৎ প্রবাহের গড় বর্গ মান বলে। আমরা জানি, ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র সময় ব্যবধানের তড়িৎ প্রবাহের বর্গের মান ও সময় ব্যবধানের গুণফলের সমষ্টি নিয়ে তাকে মোট সময় ব্যবধান দিয়ে ভাগ করলে ঐ সময় ব্যবধানের তড়িৎ প্রবাহের গড় বর্গ মান পাওয়া যায়।

পর্যায়কাল T হলে একটি পূর্ণচক্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহের গড় বর্গ মান হবে

$$\overline{I^2} = \frac{1}{T}\int_o^T I^2\, dt$$

আমরা জানি, দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ I হলো

$I = I_o \sin \omega t$

এখানে I_o = তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান।

ω = কৌণিক কম্পাঙ্ক।

$$\therefore\ \overline{I^2} = \frac{1}{T}\int_o^T I_o^2 \sin^2 \omega t\, dt \quad = \frac{I_o^2}{T}\int_o^T \sin^2 \omega t\, dt$$

$$= \frac{I_o^2}{T}\int_o^T \left(\frac{1-\cos 2\omega t}{2}\right) dt \qquad \left[\because \sin^2\theta = \frac{1-\cos 2\theta}{2}\right]$$

$$= \frac{I_o^2}{2T}\left\{\int_o^T dt - \int_o^T \cos 2\omega t\, dt\right\} \quad = \frac{I_o^2}{2T}\left\{ [t]_o^T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t]_o^T \right\}$$

$$= \frac{I_o^2}{2T}\left\{ T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega T - \sin 0] \right\}$$

$$= \frac{I_o^2}{2T}\left\{ T - \frac{1}{2\omega}[\sin 4\pi - \sin 0] \right\} \qquad \left[\because \omega = \frac{2\pi}{T}\right]$$

$$= \frac{I_o^2}{2T}\{ T - 0 \}$$

$$\therefore\ \overline{I^2} = \frac{I_o^2}{2} \qquad \ldots \qquad (5.24)$$

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান বা কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান বা কার্যকর (effective) বা আপাত (virtual) প্রবাহ বলে। সুতরাং

$$I_{rms} = \sqrt{\overline{I^2}} = \sqrt{\frac{I_o^2}{2}} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_o \qquad (5.25)$$

সুতরাং দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান = $\frac{1}{\sqrt{2}}$ × শীর্ষ মান।

অর্থাৎ পূর্ণচক্রে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান এর শীর্ষ মানের 0.707 গুণ বা 70.7%।

নিজে কর : দেখাও যে, পূর্ণচক্রে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির বর্গমূলীয় গড়মান এর শীর্ষ মানের $\frac{1}{\sqrt{2}}$ গুণ বা 0.707 গুণ বা 70.7%।

আমাদের দেশে বাড়ি ঘরে এ.সি. তড়িৎ সরবরাহ করা হয়। এই সরবরাহ ভোল্টেজের মান 220 V। এ মান ε এর বর্গমূলীয় গড় মান বা ε_{rms} নির্দেশ করে। অর্থাৎ

$$\varepsilon_{rms} = 220 \text{ V}$$

$$\therefore \text{ শীর্ষমান, } \varepsilon_o = \varepsilon_{rms} \times \sqrt{2} = 220 \text{ V} \times \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

কোনো ব্যক্তি যদি 220 V ডি. সি. শক পান তাহলে তা 220 V দ্বারা হবে, কিন্তু 220 V এ.সি. শক পেলে তিনি সর্বাধিক শক পাবেন 311 V এর যা 220 V এর শক এর চেয়ে অনেক বেশি। তাই এ. সি. লাইনে কাজ করার সময় অধিকতর সতর্কতা অবলম্বন প্রয়োজন।

এ. সি. বর্তনীতে উত্তাপজনিত শক্তি ক্ষয়
Energy loss due to heat in an A. C. Circuit

আমরা জানি, কোনো রোধকের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে তড়িৎ শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তাপশক্তি রূপান্তরের হারকে ক্ষমতা P দিয়ে বোঝানো হয়, যেখানে

$$P = I^2R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.26)$$

এখানে I হলো রোধকে তাৎক্ষণিক তড়িৎ প্রবাহ। যেহেতু তড়িৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ তড়িৎ প্রবাহের বর্গের সমানুপাতিক, সুতরাং তড়িৎ প্রবাহ সমপ্রবাহ না দিক পরিবর্তী প্রবাহ অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ধনাত্মক না ঋণাত্মক তাতে ক্ষমতা P এর মানের কোনো পরিবর্তন হবে না। **কিন্তু দিক পরিবর্তী প্রবাহের সর্বোচ্চ মান I_o দ্বারা উৎপন্ন তাপ তারই সমান সমপ্রবাহ দ্বারা সৃষ্ট তাপের সমান নয়।** কোনো পূর্ণচক্রে দিক পরিবর্তী প্রবাহের সর্বোচ্চ মান অত্যন্ত অল্প সময় বা ক্ষণিকের জন্য অবস্থান করে বলে এরূপ হয়। পরিবর্তী প্রবাহের গড় বর্গের বর্গমূল মানকে সেই পরিমাণ সমপ্রবাহ মনে করা যায় যা কোনো নির্দিষ্ট রোধে পরিবর্তী প্রবাহের ন্যায় একই হারে তাপ উৎপন্ন করতে পারে। তাই কোনো এ. সি. বর্তনীতে উত্তাপজনিত শক্তি ক্ষয়ের হার,

$$P = I_{rms}^2 R \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.27)$$

সমীকরণ (5.26) ও (5.27) থেকে দেখা যায় যে, সমপ্রবাহের ক্ষেত্রে, সমপ্রবাহের মান I-এর যে ভূমিকা; দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে I_{rms}-এর একই ভূমিকা।

ধরা যাক, কোন এ.সি. প্রবাহের $I_{rms} = 5\text{A}$। এই প্রবাহ কোনো রোধের মধ্য দিয়ে চালনা করলে যে হারে তাপ উৎপন্ন হয় উক্ত রোধের মধ্য দিয়ে 5A ডি.সি. প্রবাহ চালনা করলেও একই মাত্রার তাপ উৎপন্ন হবে।

সুতরাং কোনো দিক পরিবর্তী বর্তনীতে গুরুত্বপূর্ণ হলো তড়িৎ প্রবাহের গড় মান। যেহেতু একটি পূর্ণ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের গড় মান শূন্য, কাজেই তড়িৎ প্রবাহের বর্গের গড়ের বর্গমূলকেই এই প্রতিনিধিত্ব মান হিসেবে ধরা হয়।

সুতরাং তড়িৎ প্রবাহের এই গড়বর্গের বর্গমূল মানকে (rms value) কার্যকর প্রবাহ বা আপাত প্রবাহ বলে।

$$\therefore \text{ গড় মান} = \frac{2}{\pi} \times (\sqrt{2} \times \text{গড় বর্গের বর্গমূল মান})$$

$$= \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \text{গড় বর্গের বর্গমূল মান} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \text{আপাত মান}$$

আকৃতি গুণাঙ্ক

দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের গড় বর্গের বর্গমূল মান ও গড়মানের অনুপাতকে আকৃতি গুণাঙ্ক বলে।

$$\therefore \text{ আকৃতি গুণাঙ্ক} = \frac{\text{গড় বর্গের বর্গমূল মান}}{\text{গড় মান}}$$

$$= \frac{I_{rms}}{\bar{I}} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} I_o}{\frac{2}{\pi} I_o} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৮। কোনো দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান 5 A এবং এর কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর বর্গমূলীয় গড় মান কত? শূন্য থেকে শীর্ষমানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে?

এখানে
প্রবাহের শীর্ষমান, $I_o = 5$ A
বর্গমূলীয় গড় মান, $I_{rms} = ?$

$$I_{rms} = 0.707\ I_o$$
$$\therefore I_{rms} = 0.707 \times 5 \text{ A} = 3.535 \text{ A}$$

পর্যায়কাল, $T = \frac{1}{f}$

এবং সর্বোচ্চ মানে পৌঁছানোর সময়

এখানে
কম্পাঙ্ক, $f = 60$ Hz
সময়, $t = ?$

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$$
$$\therefore t = \frac{1}{4 \times 60 \text{ Hz}} = \frac{1}{240} \text{ s} = 4.16 \times 10^{-3} \text{ s}$$

উ: $I_{rms} = 3.54$ A, $t = \frac{1}{240}$ s বা 4.16×10^{-3} s

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৯। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $I = 30 \sin 628\, t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষমান; (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) বর্গমূলীয় গড় মান নির্ণয় কর।

প্রদত্ত সমীকরণ, $I = 30 \sin 628\, t$ কে $I = I_o \sin \omega t$ এর সাথে তুলনা করে পাই,

প্রবাহের শীর্ষমান, $I_o = 30$ A $\quad \omega = 2\pi f = 628 \quad \therefore$ কম্পাঙ্ক, $f = \frac{628}{2\pi} = 100$ Hz

প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান $I_{rms} = 0.707\ I_o = 0.707 \times 30 \text{ A} = 21.21$ A

উ: (i) 30 A (ii) 100 Hz (iii) 21.21 A

সার-সংক্ষেপ

তাড়িতচৌম্বক আবেশ : একটি গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনীর সাহায্যে অন্য একটি বদ্ধ বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে।

মাইকেল ফ্যারাডে তাড়িতচৌম্বক আবেশের আবিষ্কারক।

চৌম্বক ফ্লাক্স : কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।

ফ্যারাডের সূত্র

প্রথম সূত্র : যখনই কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের বা ক্ষেত্ররেখার পরিবর্তন ঘটে, তখনই কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। যতক্ষণ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ ততক্ষণই স্থায়ী থাকে।

দ্বিতীয় সূত্র : কোনো কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান অর্থাৎ আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের মান ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের ঋণাত্মক মানের সমানুপাতিক।

লেঞ্জের সূত্র : যে কোনো তড়িতচৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে, তা সৃষ্ট হওয়া মাত্রই যে কারণে সৃষ্টি হয় সেই কারণকেই বাধা দেয়।

স্বকীয় আবেশ : একটি মাত্র বর্তনীতে অসম তড়িৎপ্রবাহের ফলে অথবা কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে বর্তনীর গতির ফলে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের জন্য যে তাড়িতচৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক : কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎপ্রবাহিত হলে কুণ্ডলীতে সংযুক্ত মোট চৌম্বক ফ্লাক্সকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

পারস্পরিক আবেশ : কোনো একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তন করলে নিকটবর্তী অন্য একটি কুণ্ডলীতে যে তাড়িতচৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ : কোনো বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ যদি একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর দিক পরিবর্তন করে এবং নির্দিষ্ট সময় পরপর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয়, সেই তড়িৎ প্রবাহকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ বলে।

দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি : যে তড়িচ্চালক শক্তির ক্রিয়ায় কোনো বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর দিক পরিবর্তন করে এবং নির্দিষ্ট সময় পরপর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্নমান প্রাপ্ত হয় সেই তড়িচ্চালক শক্তিকে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

অনুশীলনী

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরটিতে বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। এক পাকের একটি কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স 1 সেকেন্ডে সুষমভাবে হ্রাস পেয়ে শূন্যে নেমে আসলে ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় সেই পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্সকে কী বলে?

(ক) এক টেসলা ○ (খ) এক হেনরি ○
(গ) এক ওয়েবার ○ (ঘ) এক ওয়েবার/মিটার^2 ○

২। একটি মাত্র বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তনের ফলে অথবা কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে বর্তনীর গতির ফলে বর্তনীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে; এর ফলে যে তাড়িতচৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে কী বলে?

(ক) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○ (খ) পারস্পরিক আবেশ ○
(গ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○ (ঘ) স্বকীয় আবেশ ○

৩। নিচের কোনটি চৌম্বক ফ্লাক্সের রাশিমালা নয়?

(ক) $\phi = AB\sin\theta$ ○ (খ) $\phi = AB$ ○
(গ) $\phi = AB\cos\theta$ ○ (ঘ) $\phi = \vec{A} \cdot \vec{B}$ ○

৪। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বকক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট—

(ক) চৌম্বক আবেশ ○ (খ) চৌম্বক ফ্লাক্স ○
(গ) তড়িৎ আবেশ ○ (ঘ) তড়িৎ ফ্লাক্স ○

৫। কোনো বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে অথবা কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে বর্তনীর গতির ফলে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের জন্য যে তড়িৎচৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে কী বলে?

(ক) তড়িতচৌম্বক আবেশ ○ (খ) পারস্পরিক আবেশ ○
(গ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○ (ঘ) স্বকীয় আবেশ ○

৬। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে একক তড়িৎ প্রবাহিত হলে ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংযুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্সকে কী বলে?

(ক) স্বকীয় আবেশ ○ (খ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○
(গ) পারস্পরিক আবেশ ○ (ঘ) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○

৭। কোনো বর্তনীতে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ একক হারে পরিবর্তিত হলে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় তাকে কী বলে?

(ক) স্বকীয় আবেশ ○ (খ) পারস্পরিক আবেশ ○
(গ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○ (ঘ) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○

৮। কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হারের পরিবর্তিত হলে যদি ঐ কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তাহলে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ককে কী বলে?

(ক) 1T ○ (খ) 1H ○
(গ) 1 Wb ○ (ঘ) $1Tm^{-2}$ ○

৯। কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ পরিবর্তন করলে নিকটবর্তী অন্য একটি কুণ্ডলীতে যে তড়িতচৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয় তাকে কী বলে?

(ক) স্বকীয় আবেশ ○ (খ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○
(গ) পারস্পরিক আবেশ ○ (ঘ) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○

১০। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্সকে কী বলে?

(ক) স্বকীয় আবেশ ○ (খ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○
(গ) পারস্পরিক আবেশ ○ (ঘ) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○

১১। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ একক হারে পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয় তাকে কী বলে?

(ক) পারস্পরিক আবেশ ○ (খ) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ○
(গ) স্বকীয় আবেশ ○ (ঘ) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ○

১২। নিচের কোন সূত্র দ্বারা আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয় করা যায়?

(ক) ফ্যারাডের সূত্র ○ (খ) লেঞ্জ-এর সূত্র ○
(গ) ফ্লেমিং-এর ডানহস্ত সূত্র ○ (ঘ) ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র ○

১৩। 4×10^{-5}T এর একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $0.4m^2$ ক্ষেত্রের একটি তল $30°$ কোণ উৎপন্ন করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স কত?

(ক) 4×10^{-6} wb ○ (খ) 6×10^{-6} Wb ○
(গ) 8×10^{-6} wb ○ (ঘ) 10×10^{-6} Wb ○

১৪। একটি কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের কোণ 10 হেনরি। এতে 6×10^{-2} সেকেন্ডে তড়িৎ প্রবাহ 10A থেকে 7A-এ পরিবর্তিত হয়। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

(ক) 400V ○ (খ) 500V ○
(গ) 450V ○ (ঘ) 550V ○

১৫। 0.5 H স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের কোনো কুণ্ডলীতে 50 ms-এ তড়িৎ প্রবাহ 0.5A থেকে 2.5A-এ বৃদ্ধি পেলে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

(ক) 10 V ○ (খ) 15 V ○
(গ) 20 V ○ (ঘ) 40V ○

১৬। কোনো দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষ মান 20V হলে এর বর্গমূলীয় গড় মান কত?

(ক) 14.14 V ○ (খ) 15.0 V ○
(গ) 13.26 V ○ (ঘ) 14.0V ○

১৭। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ 0.5s-এ 10A থেকে 5A-এ পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে 10V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীটি পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত?

(ক) 0.5 H ○ (খ) 1H ○
(গ) 1.5 H ○ (ঘ) 2H ○

১৮। পূর্ণ চক্রের জন্য দিকপরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান এর শীর্ষ মানের—

(i) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ গুণ (ii) $\frac{\sqrt{2}}{\pi}$ গুণ (iii) 0.707 গুণ

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii

১৯। তিনটি বিবৃতি দেওয়া হলো :

(i) কোনো তলের ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{A}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর ভেক্টর গুণফলকে ঐ ক্ষেত্রের চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।

(ii) কোনো চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির ফলে কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় তাকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

(iii) কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীতে সংযুক্ত মোট চৌম্বক ফ্লাক্সকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○ (গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

২০। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান 5 A এবং কম্পাঙ্ক 60Hz। (১) ও (২) নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

(১) বর্গমূলীয় গড় মান কত?

(ক) 3.54 A ○ (খ) 4.50 A ○

(গ) 3.00 A ○ (ঘ) 4.00 A ○

(২) শীর্ষমানে পৌঁছতে কত সময় লাগবে?

(ক) 4.00×10^{-3} s ○ (খ) 4.16×10^{-3} s ○

(গ) 4.00×10^{3} s ○ (ঘ) 4.16×10^{3} s ○

২১। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ, $I = 50 \sin 628\, t$। (১) ও (২) নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

(১) দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের কম্পাঙ্ক কত?

(ক) 50 Hz ○ (খ) 100 Hz ○

(গ) 150 Hz ○ (ঘ) 200 Hz ○

(২) দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড়মান কত?

(ক) 14.14A ○ (খ) 18.18A ○

(গ) 21.21A ○ (ঘ) 35.35A ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (গ) ২. (ঘ) ৩. (ক) ৪. (খ) ৫. (ঘ) ৬. (খ) ৭. (গ) ৮. (খ) ৯. (গ) ১০. (ঘ) ১১. (খ) ১২. (খ) ১৩. (গ) ১৪. (খ) ১৫. (গ) ১৬. (ক) ১৭. (খ) ১৮. (গ) ১৯. (খ) ২০.(ক) (খ) ২১.(খ) (ঘ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। ১৮১৯ সালে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কারের পর থেকে বিজ্ঞানীদের মধ্যে একটা নতুন চিন্তার উদ্ভব হলো। তাঁরা চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা যায় কিনা সে বিষয়ে গবেষণা শুরু করলেন। এই গবেষণার ফলশ্রুতিতে তাড়িতচৌম্বক আবেশ আবিষ্কৃত হয়। এই আবিষ্কার তড়িৎবিজ্ঞান তথা আধুনিক সভ্যতার বিবর্তনে অন্যতম সহায়ক শক্তি হিসেবে কাজ করেছে

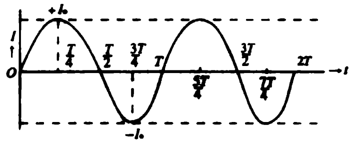
ক. তাড়িতচৌম্বক আবেশ কাকে বলে?

খ. ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্রগুলো বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

গ. একটি তার কুণ্ডলীতে 100টি পাক রয়েছে। এই কুণ্ডলীতে 0.01 সেকেন্ডে দুটি চুম্বক মেরুর মাঝের একস্থান থেকে অন্য স্থানে নিয়ে যাওয়া হলো, এতে চৌম্বক ফ্ল্যাক্সের পরিবর্তন ঘটলো 30×10^{-5} ওয়েবার। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

ঘ. তাড়িতচৌম্বক আবেশ প্রদর্শনের ফ্যারাডের পরীক্ষাগুলো বর্ণনা কর এবং কুণ্ডলীর গতির সাথে তড়িৎ প্রবাহের সম্পর্ক বিশ্লেষণ কর।

২। পাশের চিত্রে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



ক. দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কাকে বলে?

খ. সময়ের পরিবর্তনের সাথে একমুখী প্রবাহের পরিবর্তন লেখচিত্রের মাধ্যমে দেখাও।

গ. কোনো দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান 5 A এবং কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর বর্গমূলীয় গড় মান কত? শূন্য থেকে শীর্ষমানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে?

ঘ. দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কীভাবে উৎপন্ন করা যায় বর্ণনা করে উদ্দীপকে দেখানো লেখচিত্রের সাহায্যে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। তাড়িতচৌম্বক আবেশ কাকে বলে?

২। তাড়িতচৌম্বক আবেশ প্রদর্শনের একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর।

৩। চৌম্বক ফ্ল্যাক্সের সংজ্ঞা দাও।

৪। চৌম্বক ফ্লাক্সের এককের সংজ্ঞা দাও।

৫। ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্র দুটি বিবৃত কর।

৬। ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্রগুলো বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর।

৭। লেঞ্জের সূত্রটি বিবৃত কর।

৮। লেঞ্জের সূত্রটি বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর। দেখাও যে, লেঞ্জের সূত্র শক্তির নিত্যতা মেনে চলে।

৯। স্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা কর।

১০। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝায়?

১১। স্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা কর। গাণিতিক বিশ্লেষণসহ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর।

১২। হেনরি এর সংজ্ঞা দাও।

১৩। পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা কর।

১৪। পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝায়?

১৫। এক হেনরি বলতে কী বুঝ?

১৬। পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা কর। গাণিতিক বিশ্লেষণসহ পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর।

১৭। দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কাকে বলে?

১৮। দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি কাকে বলে?

১৯। দিক পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান কী?

২০। দিক পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান কী?

২১। দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টির কৌশল ব্যাখ্যা কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। দুটি চুম্বক মেরুর মাঝে এক স্থান থেকে অন্য স্থান 100 পাকের একটি কুণ্ডলীকে 0.04 s এ নিয়ে যাওয়া হলো। এতে চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb থেকে 2×10^{-5} Wb পরিবর্তিত হলো। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান কত? [উ: 0.7 V]

২। কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের হার 30 As^{-1} হলে 8 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত হবে? [উ: 267 mH]

৩। একটি কুণ্ডলীতে 1.015 s সময়ে তড়িৎপ্রবাহ 0.1 A থেকে 0.5 A-এ পরিবর্তিত হওয়ার দরুন ঐ কুণ্ডলীতে 10 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীটির স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ: 25.375 H]

৪। 10 হেনরি স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কবিশিষ্ট একটি আবেশকের মধ্যে 2A স্থির তড়িৎপ্রবাহ চালু আছে। আবেশকটিতে 100 V আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কীভাবে উৎপন্ন করা যায়?

[উ: তড়িৎপ্রবাহ 10 As^{-1} হারে পরিবর্তন করে।]

৫। একটি আবেশকের স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 10 H। এতে 9×10^{-2} s-এ তড়িৎ প্রবাহ 10 A থেকে 7 A-এ পরিবর্তিত হলে এর আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত? [উ: 333.33V]

৬। দুটি তার কুণ্ডলী পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 0.5 mH। এদের একটিতে 2×10^{-5} s সময়ে তড়িৎপ্রবাহ 0 থেকে 10 A এ পরিবর্তিত করা হলো। অপর কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান বের কর। [উ: 250 V]

৭। কোনো একটি তার কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ 2 A। কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ 8×10^{-2} s এ থামতে 0.5 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হলো। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত? [উ: 2×10^{-2} H]

৮। 100 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতে 4 A তড়িৎ প্রবাহ চালালে 0.02 Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ: 0.5H]

৯। 400 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2 A বিদ্যুৎ প্রবাহকালে 4×10^{-4} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ: 0.08 H]

১০। 1000 পাকবিশিষ্ট কোনো কুণ্ডলীয় ভেতর দিয়ে 2.5 A তড়িৎ প্রবাহিত হয়ে 0.5×10^{-3} Wb ফ্লাক্স উৎপন্ন করল, স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ: 0.2 H]

১১। কোনো দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান 20 A এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর বর্গমূলীয় গড় মান কত? প্রবাহ শূন্য থেকে শীর্ষমানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে? [উ: 14.14 A; 0.005 s]

১২। একটি এ. সি. উৎসের বিস্তার 160 V এবং কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর উৎসের সাথে 20 Ω রোধ যুক্ত করা হলে কার্যকর ভোল্টেজ, কার্যকর প্রবাহ এবং উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয় নির্ণয় কর।

[উ: 113.12 V; 5.656 A; 639.8 J]

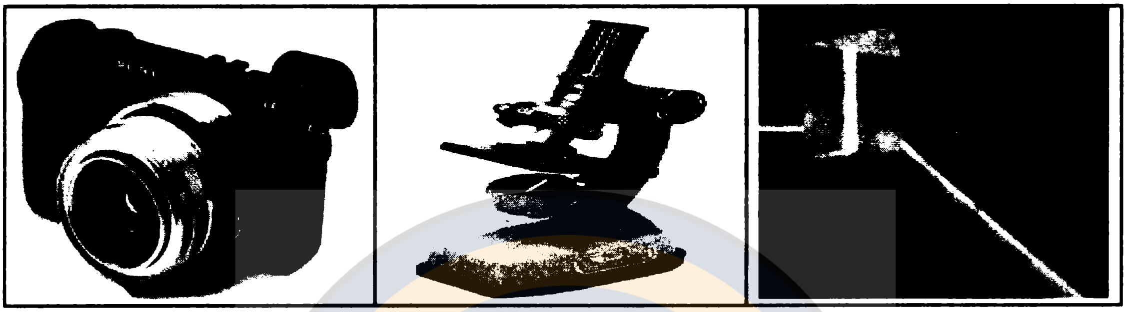
১৩। একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $I = 100 \sin xt$ দ্বারা প্রকাশ করা হলো। কম্পাঙ্ক, প্রবাহের শীর্ষমান ও বর্গমূলীয় গড়মান নির্ণয় কর। [উ: $\frac{x}{2\pi}$ Hz, 100 A, 70.7 A]

১৪। একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $I = 100 \sin 628t$ A দ্বারা প্রকাশ করলে, কম্পাঙ্ক, প্রবাহের শীর্ষমান ও বর্গমূলীয় গড় মান নির্ণয় কর। [উ: 100 Hz, 100 A, 70.7 A]

ষষ্ঠ অধ্যায়

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান

GEOMETRICAL OPTICS



সৃষ্টির আদিকাল থেকেই মানুষ পরম বিস্ময়ে তাকিয়েছে মহাকাশের দিকে। জানার চেষ্টা করেছে সেখানে কী আছে। ডেনমার্কের জ্যোতির্বিদ **জোহান কেপলার** সর্বপ্রথম আকাশ পর্যবেক্ষণের জন্যে টেলিস্কোপ তৈরি করেন। আর তার পর থেকে মহাকাশের রহস্য ক্রমশ মানুষের কাছে উন্মোচিত হতে থাকে। অনেক বিবর্তনের মধ্য দিয়ে টেলিস্কোপ আজকের অবস্থানে পৌঁছেছে। টেলিস্কোপের আবিষ্কার যেমন মহাকাশের রহস্য উন্মোচনের পথ প্রশস্ত করেছে তেমনি মাইক্রোস্কোপের আবিষ্কার অণুজীব জগতকে নিয়ে এসেছে চোখের সীমানায়। এ অধ্যায়ে আমরা ফার্মাটের নীতি, লেন্স তৈরির সমীকরণ, মাইক্রোস্কোপ, রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ, প্রিজম, বর্ণালি ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো।

প্রধান শব্দসমূহ :
আলোক পথ, ফার্মাটের নীতি, মাইক্রোস্কোপ, টেলিস্কোপ, প্রিজম, আলোর বিচ্ছুরণ, বর্ণালি।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	ফার্মাটের নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৬.১
২	ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।	৬.২, ৬.৩
৩	লেন্স তৈরির গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবে।	৬.৭
৪	**ব্যবহারিক** * দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবে। * লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।	৬.১৬
৫	মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৬.৮, ৬.৯, ৬.১০
৬	টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৬.১১
৭	রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৬.১২
৮	প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৬.১৩, ৬.১৪, ৬.১৫

৬.১। ফার্মাটের নীতি (Fermat's Principle)

আলোক পথ

কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ঐ নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতিক্রম করে তা।

ধরা যাক, μ প্রতিসরণাঙ্কের কোনো মাধ্যমে আলো t-সময়ে l দৈর্ঘ্যের পথ অতিক্রম করল। ঐ মাধ্যমে আলোর বেগ c হলে, $t = \frac{l}{c}$

এখন, শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c_0 হলে t সময়ে আলো শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতিক্রম করবে তার দৈর্ঘ্য

$$l_o = c_0 t = \frac{c_0 l}{c} \text{ কিন্তু } \frac{c_0}{c} = \mu$$

$$\therefore l_0 = \mu l \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.1)$$

সুতরাং আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য।

ফার্মাটের নীতি

1650 খ্রিস্টাব্দে পিয়ারে ফার্মাট আলোক-পথ সংক্রান্ত একটি নীতি আবিষ্কার করেন যা ফার্মাটের নীতি নামে পরিচিত। এই নীতির সাহায্যে আলোর সরল রৈখিক গতি, আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়।

ফার্মাটের নীতি হচ্ছে, **কোনো আলোক রশ্মি যখন প্রতিফলন বা প্রতিসরণের সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।**

ফার্মাটের নীতি থেকে দেখা যায় যে, আলোক রশ্মির কোনো বিন্দু থেকে এসে সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর অন্য কোনো বিন্দুতে যেতে যে সময় লাগে তাও সর্বাপেক্ষা কম। সুতরাং আলোক রশ্মির ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করার অর্থই হচ্ছে ন্যূনতম সময় লাগা। ক্ষুদ্রতম পথ বা ন্যূনতম সময় সংক্রান্ত এই নীতি কেবলমাত্র সমতল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। কোনো গোলীয় তলে যদি আলোর প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয় তাহলে সেক্ষেত্রে আলোক রশ্মি ক্ষুদ্রতম বা দীর্ঘতম পথ অনুসরণ করবে। অর্থাৎ সেক্ষেত্রে পথ হবে স্থির। সমতল বা গোলীয় তল উভয়ের জন্যই ফার্মাটের নীতিকে সার্বিকভাবে বিবৃত করা যায়,

আলোক রশ্মি এক বিন্দু থেকে প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর আর এক বিন্দুতে যেতে যে পথ অনুসরণ করবে তা হবে চরম বা অবম বা স্থির দৈর্ঘ্যের পথ এবং এই পথ অতিক্রম করতে সর্বাপেক্ষা অধিক অথবা কম সময় লাগবে।

৬.২। ফার্মাটের নীতি ও আলোর প্রতিফলন
Fermat's Principle and Reflection of Light

৬.১ চিত্রে M_1M_2 একটি সমতল দর্পণ। একটি আলোক রশ্মি P বিন্দু থেকে PO পথে এসে দর্পণের O বিন্দু হতে OQ পথে প্রতিফলিত হয়ে Q বিন্দুতে পৌছাল। P ও Q বিন্দু থেকে দর্পণের উপর PM_1 ও QM_2 লম্ব টানা হলো। আপতন বিন্দু O তে NO লম্ব টানা হয়। ধরা যাক, $PM_1 = h_1$ এবং $QM_2 = h_2$, $OM_1 = x$, $M_1M_2 = d$।

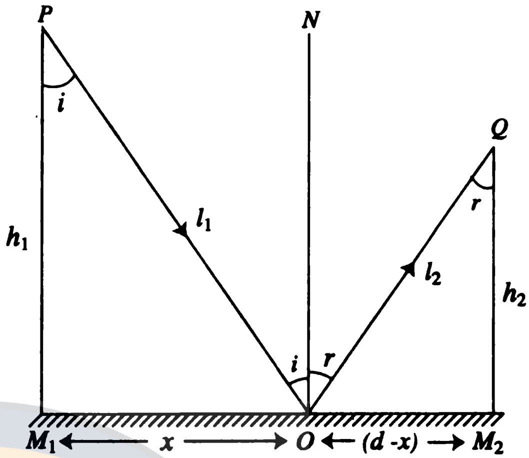
$$\therefore OM_2 = (d - x)$$

সুতরাং $\angle PON = i =$ আপতন কোণ এবং $\angle NOQ = r =$ প্রতিফলন কোণ।

এখন ধরা যাক, P বিন্দু থেকে POQ পথে Q বিন্দুতে আসতে আলোক রশ্মির প্রয়োজনীয় সময় t এবং আলোর বেগ c। আলোক রশ্মিটির অতিক্রান্ত পথ $l = PO + OQ = l_1 + l_2$।

এখন, $l_1 = \sqrt{h_1^2 + x^2}$ এবং $l_2 = \sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}$

অতএব, $l = \sqrt{h_1^2 + x^2} + \sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}$



চিত্র : ৬.১

ফার্মাটের নীতি অনুসারে, দর্পণ তলে O বিন্দুটির অবস্থান এমন হবে যেন P বিন্দু থেকে Q বিন্দুতে পৌঁছাতে আলোর ভ্রমণকাল সর্বাপেক্ষা কম বা বেশি অথবা স্থির থাকবে। অন্য কথায়, আলোক রশ্মির মোট পথ l সর্বাপেক্ষা কম বা সর্বাপেক্ষা বেশি অথবা স্থির থাকবে। সকল ক্ষেত্রেই ক্যালকুলাস থেকে এই শর্তের গাণিতিক রূপ আমরা পাই, $\frac{dl}{dx} = 0$ ।

অতএব,

$$\frac{dl}{dx} = \frac{d}{dx}\left[(h_1^2 + x^2)^{1/2} + \{h_2^2 + (d-x)^2\}^{1/2}\right]$$

$$= \frac{d}{dx}\left(h_1^2 + x^2\right)^{1/2} + \frac{d}{dx}\left\{h_2^2 + (d-x)^2\right\}^{1/2}$$

বা, $\frac{dl}{dx} = \frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{-1/2}(2x) + \frac{1}{2}\{h_2^2 + (d-x)^2\}^{-1/2} \times 2(d-x)(-1)$ $\left[\because \frac{dp}{dz} = \frac{dp}{dy} \cdot \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dz}\right]$

শর্তানুসারে,

$$\frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{-1/2}(2x) - \frac{1}{2}\{h_2^2 + (d-x)^2\}^{-1/2} \times 2(d-x) = 0$$

বা, $\frac{x}{(h_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{(d-x)}{\{h_2^2 + (d-x)^2\}^{1/2}} = 0$

বা, $\frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{d-x}{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$ বা, $\frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = \frac{d-x}{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}$

বা, $\frac{x}{l_1} = \frac{d-x}{l_2}$

বা, $\sin \angle M_1PO = \sin \angle M_2QO$ [$\because \angle M_1PO = \angle PON = i$ ও $\angle M_2QO = \angle NOQ = r$]

বা, $\sin i = \sin r$

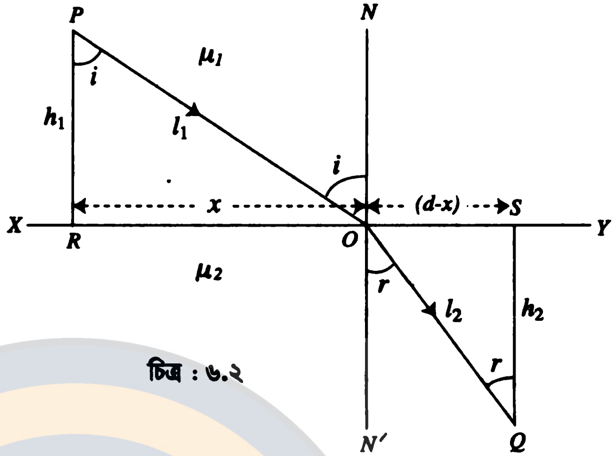
বা, $i = r$

অর্থাৎ আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ পরস্পর সমান। এটাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র। আবার আলোকপথ POQ-এর মান সর্বাপেক্ষা কম হবে যখন PO এবং OQ সমেত তলটি M_1M_2 তলের উপর লম্ব হবে। পুনরায় যেহেতু অঙ্কন অনুসারে ON রেখাটি M_1M_2 তলের উপর অভিলম্ব, সুতরাং আপতিত রশ্মি PO, প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং আপতন বিন্দু O-তে M_1M_2 তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব NO একই সমতলে থাকবে। এটাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র। সুতরাং ফার্মাটের ন্যূনতম পথ বা ন্যূনতম সময়ের নীতি থেকে আলোর প্রতিফলনের সূত্রগুলো প্রতিপাদিত হলো।

৬.৩। ফার্মাটের নীতি ও আলোর প্রতিসরণ
Fermat's Principle and Refraction of Light

৬.২ চিত্রে XY হচ্ছে দুটি প্রতিসারক মাধ্যমের বিভেদ তল। একটি আলোক রশ্মি প্রথম মাধ্যমের P বিন্দু থেকে PO পথে এসে বিভেদতলের O বিন্দুতে আপতিত হলো এবং সেখান থেকে OQ পথে দ্বিতীয় মাধ্যমের Q বিন্দুতে পৌঁছাল।

NON' হলো O বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব। সুতরাং আপতন কোণ $PON = i$ এবং প্রতিসরণ কোণ $N'OQ = r$।



চিত্র : ৬.২

P ও Q বিন্দু হতে বিভেদতলের উপর যথাক্রমে PR ও QS লম্ব টানা হলো। ধরা যাক, $PR = h_1$, $QS = h_2$, $OR = x$, $RS = d$ এবং $OS = (d - x)$। প্রথম মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক μ_1 এবং দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক μ_2। প্রথম মাধ্যমে আলোর বেগ c_1, দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর বেগ c_2 এবং শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c_0। প্রথম মাধ্যমে আলোক রশ্মির জ্যামিতিক পথ, $PO = l_1$ এবং দ্বিতীয় মাধ্যমে জ্যামিতিক পথ, $OQ = l_2$। সুতরাং মোট জ্যামিতিক পথ $POQ = l_1 + l_2$ এবং মোট আলোক পথ, $l = \mu_1 l_1 + \mu_2 l_2$

অতএব, আলোকরশ্মি P বিন্দু থেকে Q বিন্দুতে পৌঁছতে প্রয়োজনীয়

সময়, $t = \dfrac{\text{আলোক পথ}}{\text{শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ}} = \dfrac{l}{c_o} = \dfrac{\mu_1 l_1 + \mu_2 l_2}{c_o}$

ফার্মাটের নীতি অনুসারে l- এর মান চরম অথবা অবম অথবা স্থির হবে যখন $\dfrac{dl}{dx} = 0$ হবে।

এখন আলোক-পথ $\quad l = \mu_1 l_1 + \mu_2 l_2 = \mu_1\sqrt{h_1^2 + x^2} + \mu_2\sqrt{h_2^2 + (d - x)^2}$

$$= \mu_1 (h_1^2 + x^2)^{1/2} + \mu_2 \{(h_2^2 + (d - x)^2\}^{1/2}$$

অতএব, $\dfrac{dl}{dx} = \dfrac{d}{dx}\left[\mu_1(h_1^2 + x^2)^{1/2} + \mu_2 \{(h_2^2 + (d - x)^2\}^{1/2}\right]$

$$= \mu_1\left(\frac{1}{2}\right)(h_1^2 + x^2)^{-1/2}(2x) + \mu_2\left(\frac{1}{2}\right)\{(h_2^2 + (d - x)^2\}^{-1/2}(2)(d - x)(-1)$$

শর্তানুসারে,

$$\mu_1\left(\frac{1}{2}\right)(h_1^2 + x^2)^{-1/2}(2x) - \mu_2\left(\frac{1}{2}\right)\{(h_2^2 + (d - x)^2\}^{-1/2}(2)(d - x) = 0$$

বা, $\mu_1 \dfrac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \mu_2 \dfrac{(d - x)}{\sqrt{h_2^2 + (d - x)^2}} = 0$

বা, $\mu_1 \dfrac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} = \mu_2 \dfrac{(d - x)}{\sqrt{h_2^2 + (d - x)^2}} \quad \ldots \quad (6.2)$

৬.২ নং চিত্র থেকে আমরা পাই, $\angle RPO = \angle PON = i$ আপতন কোণ

এবং $\angle SQO = \angle QON' = r =$ প্রতিসরণ কোণ।

অতএব, $\sin i = \frac{RO}{PO} = \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}}$

এবং $\sin r = \frac{SO}{QO} = \frac{(d-x)}{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}$

সুতরাং (6.2) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r \qquad (6.3)$$

এটাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

ফার্মাটের নীতি অনুসারে আলোক পথ তখনই সর্বনিম্ন হবে যখন PO এবং OQ রশ্মিদ্বয় একই সমতলে থাকবে এবং যা XY তলের উপর লম্ব হবে। যেহেতু XY তলের আপতন বিন্দু O-তে অঙ্কিত NON' রেখা XY তলের উপর অভিলম্ব। সুতরাং আপতিত PO রশ্মি, প্রতিসৃত OQ রশ্মি ও আপতন বিন্দু O-তে অঙ্কিত NON' অভিলম্ব একই সমতলে থাকে আর এটাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

অতএব ফার্মাটের ন্যূনতম সময় বা ন্যূনতম পথ থেকে প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রতিপাদিত হলো।

৬.৪। চিহ্নের প্রথা (Sign Convention)

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুসারে মেরু বা আলোক কেন্দ্র থেকে সকল বাস্তব দূরত্ব ধনাত্মক ও সকল অবাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক। যে কোনো পৃষ্ঠে আলোর প্রতিফলন বা প্রতিসরণ তথা দর্পণ বা লেন্সের ক্ষেত্রে এই প্রথা অনুসারে নিম্নোক্ত বিষয়গুলো প্রযোজ্য।

১. সকল দূরত্ব পরিমাপ করতে হবে প্রতিফলক বা প্রতিসারক তলের মধ্যবিন্দু তথা মেরু থেকে। লেন্সের ক্ষেত্রে তার আলোক কেন্দ্র থেকে।

২. কোনো তলের উপর যে পাশ থেকে আলো আপতিত হয় সেই পাশে লক্ষ্যবস্তু থাকলে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u ধনাত্মক হবে। অন্যথায় লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব ঋণাত্মক হবে।

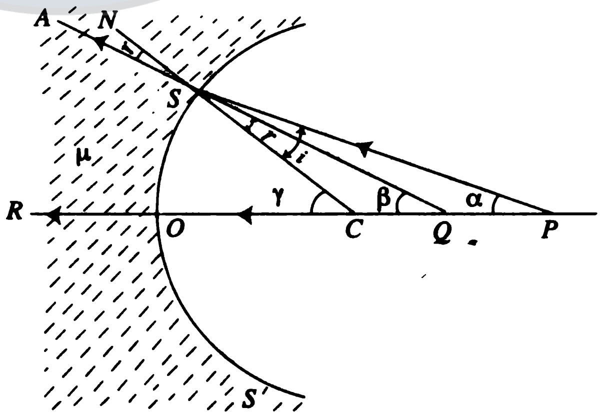
৩. কোনো তল থেকে যে পাশে আলো প্রতিফলিত বা প্রতিসরিত হয় সেই পাশে বিম্ব থাকলে বিম্বের দূরত্ব v ধনাত্মক হবে। অন্যথায় বিম্বের দূরত্ব ঋণাত্মক হবে।

৪. কোনো তল থেকে যে পাশে আলো প্রতিফলিত বা প্রতিসরিত হয় সেই পাশে বক্রতার কেন্দ্র থাকলে বক্রতার ব্যাসার্ধ r ধনাত্মক হবে। অন্যথায় বক্রতার ব্যাসার্ধ ঋণাত্মক হবে। বক্রতার ব্যাসার্ধের চিহ্ন দ্বারা ফোকাস দূরত্ব f এর চিহ্ন নির্ধারিত হয়।

৫. সোজা বিম্বের জন্য বিবর্ধন m ধনাত্মক আর উল্টো বিম্বের জন্য m ঋণাত্মক হবে।

৬.৫। গোলীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ (Refraction at Spherical Surfaces)

ধরা যাক, SOS' গোলীয় অবতল পৃষ্ঠ বায়ু (প্রতিসরণাঙ্ক 1) এবং μ প্রতিসরণাঙ্কের মাধ্যমকে পৃথক করেছে (চিত্র ৬.৩)। ডান দিকের মাধ্যম বায়ুর প্রতিসরণাঙ্ক 1 এবং বাম দিকের মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক μ। ধরা যাক, $\mu > 1$। C গোলীয় পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র এবং O এর মেরু। বায়ু মাধ্যমে প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত P বিন্দু উৎস থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মি PO বরাবর গিয়ে অবতল পৃষ্ঠে লম্বভাবে আপতিত হয়, ফলে সেটি প্রতিসরণের পর সোজাসুজি OR পথে চলে যায়। আর একটি রশ্মি PS পথে গোলীয় পৃষ্ঠের মেরুর খুব নিকটে S বিন্দুতে আপতিত হয়ে



চিত্র : ৬.৩

প্রতিসরণের পর অভিলম্ব CSN-এর দিকে বেঁকে SA পথে চলে যায়। এই প্রতিসরিত রশ্মি দুটি পরস্পর অপসারী হয়। এই রশ্মিদ্বয়কে পিছনের দিকে বাড়িয়ে দিলে এরা Q বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়। সুতরাং Q হচ্ছে P বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব।

এখন ধরা যাক, আপতন কোণ $= \angle PSC = i$ এবং

প্রতিসরণ কোনো $= \angle NSA = \angle CSQ = r$

এখন ঘন মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

বা, $\sin i = \mu \sin r$

i ও r খুব ছোট বলে $\sin i = i$ এবং $\sin r = r$ রেডিয়ান লেখা যায়।

সুতরাং $i = \mu r$ ... ... (6.4)

ধরা যাক, $\angle SPO = \alpha, \angle SQO = \beta, \angle SCO = \gamma$

এখন SCP ত্রিভুজ থেকে, $\gamma = i + \alpha$

[$\because$ ত্রিভুজের বহিস্থ কোণ অন্তস্থ বিপরীত দুই কোণদ্বয়ের যোগফলের সমান]

$\therefore i = \gamma - \alpha$ ... (6.5a)

আবার, SCQ ত্রিভুজ থেকে, $\gamma = r + \beta$

$\therefore r = \gamma - \beta$ ... (6.5b)

(6.4) সমীকরণে i ও r-এর মান বসিয়ে,

$(\gamma - \alpha) = \mu(\gamma - \beta)$

বা, $\gamma - \alpha = \mu\gamma - \mu\beta$ বা, $\mu\beta - \alpha = \mu\gamma - \gamma$

বা, $\mu\beta - \alpha = (\mu - 1)\gamma$ ... ... (6.6)

গোলীয় পৃষ্ঠের উন্মেষ খুব ছোট হওয়ায় α, β ও γ কোণগুলোও খুব ছোট হবে। কোণগুলোকে রেডিয়ানে প্রকাশ করলে (6.6) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$\mu \frac{SO}{SQ} - \frac{SO}{OP} = (\mu - 1)\frac{SO}{OC}$$

বা, $\dfrac{\mu}{SQ} - \dfrac{1}{OP} = \dfrac{(\mu - 1)}{OC}$ (6.7)

এখন চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুসারে অর্থাৎ গোলীয় পৃষ্ঠের মেরু থেকে সকল বাস্তব দূরত্ব ধনাত্মক এবং সকল অবাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক ধরে আমরা পাই,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $OP = +u$

বিম্বের দূরত্ব, $OQ = -v$

বক্রতার ব্যাসার্ধ, $OC = -r$

এখন (6.7) সমীকরণে মান বসিয়ে,

$$\frac{\mu}{-v} - \frac{1}{u} = \frac{(\mu - 1)}{-r}$$

বা, $\dfrac{\mu}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{(\mu - 1)}{r}$ (6.8)

গোলীয় উত্তল প্রতিসারক তলের জন্যেও একই সম্পর্ক পাওয়া যায়।

আলো যদি μ প্রতিসরণাঙ্কের ঘন মাধ্যম থেকে বায়ুতে প্রতিসরিত হয় তাহলে (6.8) সমীকরণের রূপ হবে

$$\frac{1}{v}+\frac{\mu}{u}=\frac{1-\mu}{r} \qquad \ldots \qquad (6.9)$$

আলো গোলীয় অবতল পৃষ্ঠে আপতিত হোক বা উত্তল পৃষ্ঠে আপতিত হোক, বিম্ব বাস্তব হোক বা অবাস্তব হোক, সোজা হোক বা উল্টো হোক (6.8) এবং (6.9) সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

৬.৬। লেন্স (Lens)

দুটি গোলীয় অথবা একটি গোলীয় ও একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অথবা একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

৬.৪ চিত্রে ক ও খ দুটি গোলীয় লেন্স। এই অধ্যায়ে আমরা গোলীয় লেন্স নিয়ে আলোচনা করব। লেন্স সাধারণত কাচ, কোয়ার্টজ, প্লাস্টিক ইত্যাদি দ্বারা তৈরি হয়। লেন্সের পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে একটি সমতল ও একটি গোলক পৃষ্ঠের অংশ হতে পারে অথবা দুটিই গোলকের অংশ হতে পারে।

লেন্স প্রধানত দু'রকমের হতে পারে; যথা-

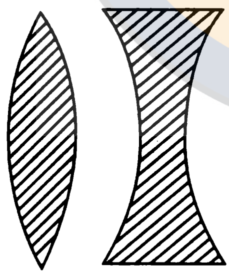
ক. স্থূলমধ্য বা উত্তল বা অভিসারী লেন্স (Convex lens) এবং

খ. ক্ষীণমধ্য বা অবতল বা অপসারী লেন্স (Concave lens)।

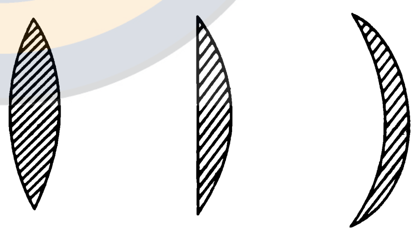
স্থূলমধ্য বা উত্তল বা অভিসারী লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ মোটা ও প্রান্ত সরু তাকে স্থূলমধ্য লেন্স বলে। স্থূল মধ্য লেন্সে আলোক রশ্মি উত্তল পৃষ্ঠে আপতিত হয় বলে তাকে উত্তল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত এক গুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অভিসারী করে থাকে বলে তাকে অভিসারী লেন্সও বলা হয় [চিত্র ৬.৪ (ক)]।

ক্ষীণমধ্য বা অবতল বা অপসারী লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে ক্ষীণমধ্য লেন্স বলে। ক্ষীণমধ্য লেন্সে আলোক রশ্মি অবতল পৃষ্ঠে আপতিত হয় বলে তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত এক গুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারী করে থাকে বলে তাকে অপসারী লেন্সও বলা হয় [চিত্র ৬.৪ (খ)]।

তলের আকৃতির উপর নির্ভর করে প্রত্যেক প্রকার লেন্স আবার তিন ধরনের হতে পারে।



চিত্র : ৬.৪



চিত্র : ৬.৫

ক. উত্তল লেন্স :

১. উভোত্তল বা দ্বি-উত্তল লেন্স (Double convex lens or bi-convex lens) : যে লেন্সের দুটি তলই উত্তল তাকে উভোত্তল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৫ (ক)]।

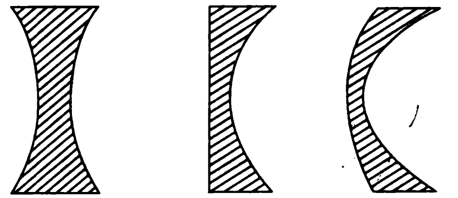
২. সমতলোত্তল লেন্স (Plano convex lens) : যে লেন্সের একটি তল সমতল ও অপরটি উত্তল তাকে সমতলোত্তল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৫ (খ)]।

৩. অবতলোত্তল লেন্স (Concavo-convex lens) : যে উত্তল লেন্সের একটি তল উত্তল ও অপরটি অবতল তাকে অবতলোত্তল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৫ (গ)]।

খ. অবতল লেন্স :

১. উভাবতল বা দ্বি-অবতল লেন্স (Double concave or bi-concave lens): যে লেন্সের দুই তলই অবতল তাকে উভাবতল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৬ (ক)]।

২. সমতলাবতল লেন্স (Plano concave lens) : যে লেন্সের একটি তল সমতল ও অপরটি অবতল তাকে সমতলাবতল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৬ (খ)]।



(ক) (খ) (গ)

চিত্র : ৬.৬

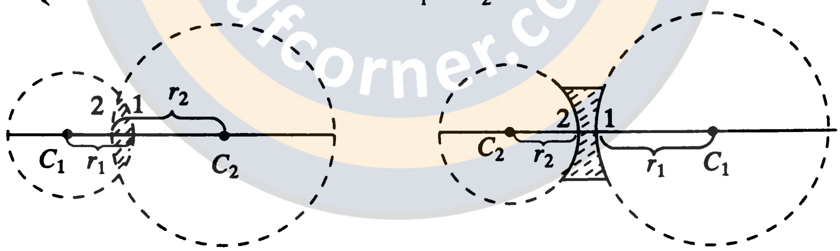
৩. উত্তলাবতল লেন্স (Convexo-concave lens) : যে অবতল লেন্সের একটি তল অবতল ও অপরটি উত্তল তাকে উত্তলাবতল লেন্স বলে [চিত্র ৬.৬ (গ)]।

লেন্স সম্পর্কিত কতিপয় প্রয়োজনীয় রাশি

১. লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠ : যে পৃষ্ঠ দিয়ে আলোক রশ্মি লেন্সের মধ্যে প্রবেশ করে অর্থাৎ লেন্সের যে পৃষ্ঠে আলোক রশ্মি আপতিত হয় তাকে লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠ বলে। আর যে পৃষ্ঠ থেকে আলোক রশ্মি বেরিয়ে যায় তাকে লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠ বলে। যে লেন্সে দুই পৃষ্ঠের মধ্যবর্তী দূরত্ব খুব কম তাকে সরু লেন্স বলে। ৬.৭ চিত্রে 1 ও 2 যথাক্রমে লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠ।

২. বক্রতার কেন্দ্র (Centre of curvature) : লেন্সের সংজ্ঞা থেকে দেখা যায় যে, এর প্রত্যেকটি পৃষ্ঠ এক একটি গোলকের অংশ। সুতরাং লেন্সের বক্রতার কেন্দ্র দুটি। লেন্সের কোনো পৃষ্ঠ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের কেন্দ্রকে লেন্সের ঐ পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র বলে। ৬.৭ চিত্রে C_1 ও C_2 লেন্সের বক্রতার কেন্দ্র।

pdfcorner.com



(ক) (খ)

চিত্র : ৬.৭

৩. বক্রতার ব্যাসার্ধ (Radius of curvature) : লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ দুটি। লেন্সের কোনো পৃষ্ঠ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে লেন্সের ঐ পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। ৬.৭ চিত্রে r_1 ও r_2 যথাক্রমে লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

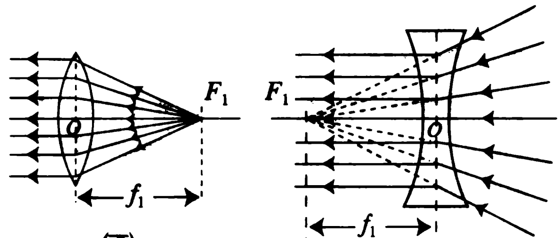
৪. প্রধান অক্ষ (Principal axis) : লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে গমনকারী সরলরেখাকে প্রধান অক্ষ বলে। লেন্সের একটি পৃষ্ঠ সমতল ও অপর পৃষ্ঠ গোলীয় হলে গোলীয় পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র থেকে সমতল পৃষ্ঠের উপর অভিলম্বই হবে লেন্সের প্রধান অক্ষ। ৬.৭ চিত্র C_1 ও C_2 সরলরেখা লেন্সের প্রধান অক্ষ।

৫. প্রধান ফোকাস (Principal focus) : লেন্সের দুটি প্রধান ফোকাস থাকে; যথা-

ক. প্রথম প্রধান ফোকাস (First principal focus) ও

খ. দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস (Second principal focus)।

ক. প্রথম প্রধান ফোকাস, F_1 : উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রধান অক্ষের উপরস্থ যে নির্দিষ্ট বিন্দু থেকে নিঃসৃত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়ে চলে যায় সেই বিন্দুকেই উত্তল লেন্সের প্রথম-প্রধান ফোকাস বলে [চিত্র ৬.৮ (ক)] । অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রধান অক্ষের উপরস্থ যে নির্দিষ্ট বিন্দু অভিমুখী অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়ে চলে যায় তাকে অবতল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস বলে [চিত্র ৬.৮ (খ)]।

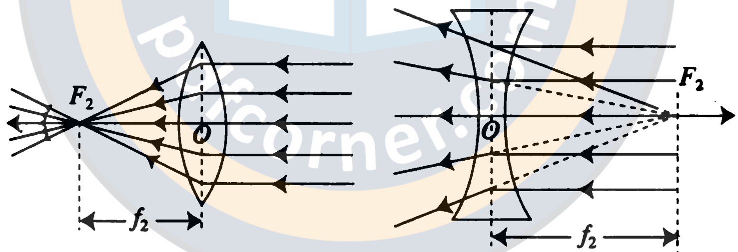


(ক) (খ)

চিত্র : ৬.৮

লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর যে বিন্দু থেকে আলোক রশ্মি নির্গত হলে (উত্তল লেন্সে) বা যে বিন্দু অভিমুখে আলোক রশ্মি আপতিত হলে (অবতল লেন্সে) প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরালে নির্গত হয় তাকে প্রথম প্রধান ফোকাস বলে।

খ. দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস, F_2 : প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একগুচ্ছ আলোক রশ্মি উত্তল লেন্সে প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হয় [চিত্র ৬.৯ (ক)]। অপরপক্ষে অবতল লেন্সে দেখা যায় প্রতিসরণের উপর রশ্মিগুলো এমনভাবে নির্গত হয় যে এগুলোকে পেছন দিকে বাড়ালে প্রধান অক্ষকে একটি বিন্দুতে ছেদ করে, অর্থাৎ প্রতিসরিত রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দু থেকে নিঃসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়। এই বিন্দুই হচ্ছে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস [চিত্র ৬.৯ (খ)]।



(ক) (খ)

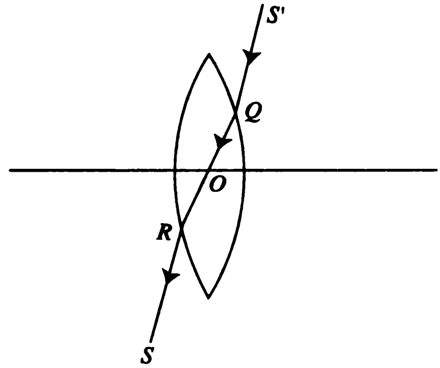
চিত্র : ৬.৯

লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের উপর যে বিন্দুতে মিলিত হয় (উত্তল লেন্সে) বা যে বিন্দু থেকে নিঃসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে) সেই বিন্দুকে লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস বলে। ৬.৯ চিত্রে F_2 দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস।

লেন্সে বিম্ব গঠনের জন্য দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস সক্রিয় ভূমিকা পালন করে বলে **লেন্সের প্রধান ফোকাস** বলতে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসকেই বোঝায়।

৬. আলোক কেন্দ্র (Optical centre) : কোনো আলোক রশ্মি যদি কোনো লেন্সের এক পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে নির্গত হওয়ার সময় আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তাহলে সেই রশ্মি লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর যে বিন্দু দিয়ে যায় সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক কেন্দ্র বলে। অর্থাৎ লেন্সের প্রধান অক্ষের উপরস্থ যে বিন্দুর মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গেলে প্রতিসরণের ফলে এর দিকের কোনো পরিবর্তন হয় না সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক কেন্দ্র বলে।

pdfcorner.com



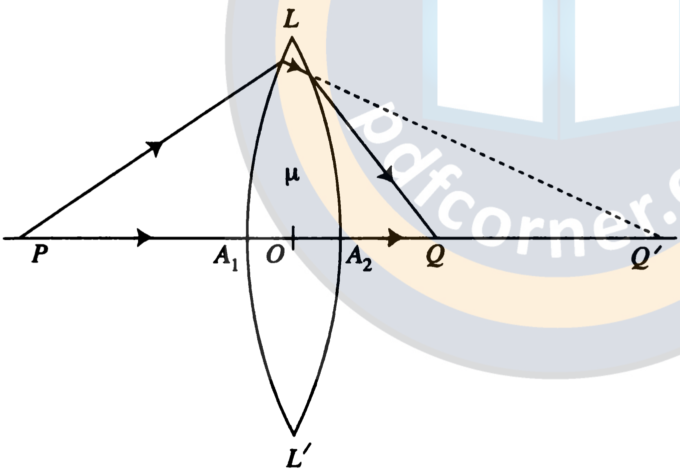
চিত্র : ৬.১০

৬.১০ চিত্রে $S'Q$ রশ্মি লেন্সে আপতিত হয়ে RS পথে বেরিয়ে গেলে QR রশ্মি প্রধান অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করে। O লেন্সের আলোক কেন্দ্র। সরু লেন্সের ক্ষেত্রে $S'Q$, QR ও RS একই সরলরেখায় থাকে। লেন্সের আকৃতির উপর নির্ভর করে আলোক কেন্দ্র লেন্সের ভেতরে বা বাইরে হতে পারে।

৭. ফোকাস দূরত্ব (Focal length) : আলোক কেন্দ্র থেকে প্রধান ফোকাস বা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বলে। ফোকাস দূরত্বকে f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আলোক কেন্দ্র থেকে প্রথম প্রধান ফোকাসের দূরত্বকে প্রথম ফোকাস দূরত্ব f_1 আর দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসের দূরত্বকে দ্বিতীয় ফোকাস দূরত্ব f_2 বলে। লেন্সের চারদিকে একই সমসত্ত্ব মাধ্যম থাকলে এই দুই ফোকাস দূরত্বের মান সমান হয়।

৬.৭। লেন্স তৈরির সমীকরণ (Lens maker's equation)

কোনো প্রতিসারক মাধ্যম দুটি গোলীয় পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ হলে লেন্স গঠিত হয়। সুতরাং লেন্সের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমনের সময় দুবার প্রতিসরিত হয়। একবার লেন্সে প্রবেশের সময় ও দ্বিতীয়বার লেন্স থেকে বের হবার সময়।



চিত্র : ৬.১১

ধরা যাক, LOL' একটি সরু লেন্স [চিত্র ৬.১১]। লেন্সটি বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ। ধরা যাক, লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর P একটি বিন্দু লক্ষ্যবস্তু। P বস্তু থেকে নিঃসৃত একটি আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষ PO বরাবর A_1 বিন্দুতে আপতিত হয়ে সোজাসুজি প্রতিসরিত হয়। অপর আলোকরশ্মি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে প্রতিসরিত হয়ে প্রধান অক্ষের উপরস্থ Q' বিন্দুতে বিম্ব গঠন করে। সুতরাং লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বেলায় আলো Q' বিন্দু থেকে আসছে বলে মনে হয়। সুতরাং Q' হবে দ্বিতীয় পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে অবাস্তব লক্ষ্যবস্তু। রশ্মি দুটি দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের পর Q বিন্দুতে প্রকৃতপক্ষে মিলিত হয়। সুতরাং Q হচ্ছে P বিন্দুর চূড়ান্ত বাস্তব বিম্ব [চিত্র ৬.১১]।

এখন লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে প্রতিসরণ বিবেচনা করলে এবং সরু লেন্স বলে এর পুরুত্ব উপেক্ষা করলে প্রথম পৃষ্ঠের মেরু A_1 এবং লেন্সের আলোক কেন্দ্র O কে একই বিন্দু O বিবেচনা করা যায়। অতএব,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $OP = u$

বিম্বের দূরত্ব, $OQ' = v'$

(6.8) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \quad \ldots \qquad (6.10)$$

এখানে r_1 লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

আবার, লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের সময় আলো লেন্স থেকে বায়ুতে প্রবেশ করেছে। এক্ষেত্রে দ্বিতীয় পৃষ্ঠের মেরু A_2 এবং লেন্সের আলোক কেন্দ্র O কে একই বিন্দু O বিবেচনা করে

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $OQ' = -v'$ [$\because$ অবাস্তব লক্ষ্যবস্তু]

বিম্বের দূরত্ব, $OQ = v$

(6.9) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{\mu}{-v'} = \frac{1-\mu}{r_2} \quad \ldots \qquad (6.11)$$

এখানে, r_2 লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

সমীকরণ (6.10) ও (6.11) যোগ করে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu-1}{r_1} + \frac{1-\mu}{r_2}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (6.12)$$

কোনো লেন্সের সামনে লক্ষ্যবস্তু অসীম দূরত্বে থাকলে যেখানে বিম্ব গঠিত হয় সেটি লেন্সের প্রধান ফোকাস এবং আলোক কেন্দ্র থেকে এর দূরত্বকে ফোকাস দূরত্ব বলে।

অতএব $u = \infty$ হলে $v = f$ হয়। সুতরাং (6.12) সমীকরণ ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\therefore \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (6.13)$$

এই সমীকরণকে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ বলে। লেন্স তৈরির কাজে এই সমীকরণ ব্যবহার করা হয় বলে একে লেন্স তৈরির সমীকরণ বা প্রস্তুতকারকের সমীকরণও বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm এবং 30 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে এর উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\frac{1}{20 \text{ m}} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15 \text{ cm}} - \frac{1}{-30 \text{ cm}}\right)$

বা, $(\mu - 1) = \frac{30}{3 \times 20} = 0.5$

$\therefore \mu = 1.5$

উ: 1.5

এখানে,

উত্তল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = +15$ cm

উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm

উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f = +20$ cm

প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = ?$

pdfcorner.com

গাণিতিক উদাহরণ ৬.২। কোনো উভাবতল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 20 cm ও 40 cm। এর ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক বের কর।

এখানে,
অবতল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = -20$ cm
অবতল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = +40$ cm
অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f = -20$ cm
প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = ?$

আমরা জানি, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$$\frac{1}{-20\text{ cm}} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{-20\text{ cm}} - \frac{1}{40\text{ cm}}\right)$$

$$\frac{1}{-20} = (\mu - 1)\frac{-3}{40}$$

$$\therefore (\mu - 1) = \frac{40}{3 \times 20} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore \mu = 1 + \frac{2}{3} = 1.67$$ উ: 1.67

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৩। একটি সমোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 30 cm। এর উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক 1.52 হলে এর পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

ধরা যাক, প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, r
উত্তল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = r$
উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -r$
উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f = 30$ cm.
লেন্সের প্রতিসরণাঙ্ক $\mu = 1.52$

আমরা জানি, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\frac{2}{r}$$

বা, $\frac{1}{30\text{ cm}} = (1.52 - 1) \times \frac{2}{r}$ বা, $\frac{1}{30\text{ cm}} = \frac{0.52 \times 2}{r}$

$\therefore r = 31.2$ cm

উ: 31.2 cm.

উদাহরণ ৬.৪। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm এবং 20 cm। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক 1.52 হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত?

এখানে,
অবতল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = -30$ cm
অবতল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = +20$ cm
প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = 1.52$
অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f = ?$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{f} = (1.52 - 1)\left(-\frac{1}{30\text{ cm}} - \frac{1}{20\text{ cm}}\right)$

বা, $\frac{1}{f} = 0.52 \times \left(\frac{-5}{60\text{ cm}}\right)$ বা, $f = -23.1$ cm

উ: -23.1 cm

৬.৮। অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ (Microscope)

যে সকল যন্ত্র কোনো বস্তু দেখার ব্যাপারে আমাদের চোখকে সাহায্য করে তাদেরকে বীক্ষণ যন্ত্র বা দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র ইত্যাদি দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ : যে যন্ত্রের সাহায্যে চোখের নিকটবর্তী অতিক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ বলে।

pdfcorner.com

অণুবীক্ষণ যন্ত্র দু ধরনের হয়। যথা—

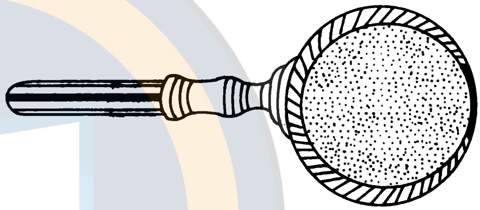
১. সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও

২. যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা কম্পাউন্ড মাইক্রোস্কোপ (Compound microscope)

৬·৯। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ বা বিবর্ধক কাচ Simple Microscope or Magnifying Glass

করে দেখো : তোমার জীববিজ্ঞানের বাক্সে সাধারণত একটি উত্তল লেন্স থাকে। না থাকলে স্টেশনারি দোকান থেকে একটি ম্যাগনেফাইং গ্লাস জোগাড় করে নাও। লেন্সটি তোমার বইয়ের লেখার উপর ধর। এখন এটি উপর নিচে উঠানামা করে দেখো। লেখাগুলো বড় দেখা যাচ্ছে কি?

কোনো উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে কোনো বস্তুকে স্থাপন করে লেন্সের অপর পাশ থেকে বস্তুটিকে দেখলে বস্তুটির একটি সোজা, বিবর্ধিত ও অবাস্তব বিম্ব দেখা যায়। এখন এই বিম্ব চোখের যত কাছে গঠিত হবে চোখের বীক্ষণ কোণও তত বড় হবে এবং বিম্বটিকেও বড় দেখাবে। কিন্তু বিম্ব চোখের নিকট বিন্দুর চেয়ে কাছে গঠিত হলে সেই বিম্ব আর স্পষ্ট দেখা যায় না। সুতরাং বিম্ব যখন চোখের নিকট বিন্দু অর্থাৎ স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে গঠিত হয় তখনই তা খালি চোখে সবচেয়ে স্পষ্ট দেখা যায়। ফলে যে সমস্ত লেখা বা বস্তু চোখে পরিষ্কার দেখা যায় না তা স্পষ্ট ও বড় করে দেখার জন্য স্বল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করা হয়। উপযুক্ত ফ্রেমে আবদ্ধ এই উত্তল লেন্সকে বিবর্ধক কাচ বা পঠন কাচ বা সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে [চিত্র ৬·১২]। এই যন্ত্রে খুব বেশি বিবর্ধন পাওয়া যায় না।



চিত্র : ৬.১২

এর বিবর্ধনের রাশিমালা,

$$M = 1 + \frac{D}{f} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.14)$$

এখানে, D = চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব। সুস্থ ও স্বাভাবিক চোখের জন্য, $D = 25$ cm

f = লেন্সের ফোকাস দূরত্ব।

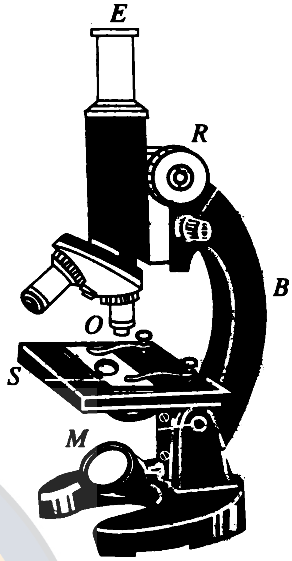
৬·১০। যৌগিক বা জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা কম্পাউন্ড মাইক্রোস্কোপ Compound Microscope

লক্ষ্যবস্তু খুব ছোট হলে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র তাকে যথেষ্ট বিবর্ধিত করতে পারে না। সেক্ষেত্রে জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যনীতি নিচে বর্ণনা করা হলো।

গঠন : এই যন্ত্রে দুখানি উত্তল লেন্স একটি ধাতব নলের দুই প্রান্তে একই অক্ষ বরাবর বসানো থাকে। লক্ষ্যবস্তুর কাছে যে লেন্সখানি থাকে তাকে অভিলক্ষ্য (O) বলে [চিত্র : ৬.১৩]। এর ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত ছোট। অপর লেন্সটিকে অভিনেত্র (E) বলে। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত বড়। লক্ষ্যবস্তু দেখার জন্য অভিনেত্রের পিছনে চোখ রাখতে হয়। অভিনেত্রটি মূল নলের ভিতর একটি টানা নলের মধ্যে বসানো থাকে। টানা নলটি ওঠা-নামা করে অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটি একটি খাড়া দণ্ডের (B) সাথে লাগানো থাকে। একটি স্ক্রু (R) সাহায্যে মূল নলটিকে লক্ষ্যবস্তু থেকে দূরে বা কাছে সরানো যায়। লক্ষ্যবস্তুকে একটি পাটাতনের (S) উপর রাখা হয় এবং একটি অবতল দর্পণের (M) সাহায্যে একে প্রয়োজনানুসারে আলোকিত করা হয়।

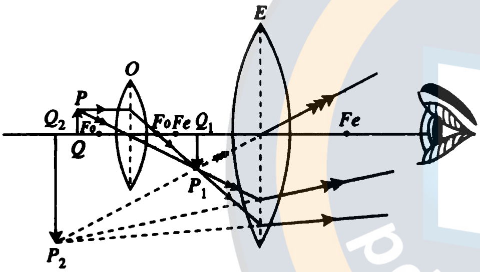
ক্রিয়া : যন্ত্রটির নল নিচে নামিয়ে অভিলক্ষ্যকে বস্তুর খুব কাছাকাছি আনা হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত স্পষ্ট ও বিবর্ধিত বিম্ব দেখা না যায় ততক্ষণ নলটিকে ধীরে ধীরে উপরে উঠানো হয়।

প্রকৃতপক্ষে অভিলক্ষ্য অভিনেত্র দুটি একাধিক লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত হলেও আমাদের আলোচনার সুবিধার জন্য এদের প্রত্যেককে অল্প ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্স হিসেবে কল্পনা করা হয়।



চিত্র : ৬.১৩

৬.১৪ চিত্রে যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের আলোক ক্রিয়া বোঝানো হয়েছে। O ও E যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র। অতি ক্ষুদ্র বস্তু PQ-কে অভিলক্ষ্যের প্রধান ফোকাস F_o-এর ঠিক বাইরে স্থাপন করা হয়। এই অবস্থায় বস্তু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মি অভিলক্ষ্য দ্বারা প্রতিসৃত হওয়ার পর বাস্তব, উল্টো ও বিবর্ধিত বিম্ব P_1Q_1 গঠন করে। এখন P_1Q_1 থেকে আলোক রশ্মি অভিনেত্রে প্রতিসৃত হয় অর্থাৎ P_1Q_1 অভিনেত্র লেন্সের জন্য লক্ষ্যবস্তু হিসেবে কাজ করে। এবার অভিনেত্রকে সরিয়ে এমন স্থানে রাখা হয় যেন P_1Q_1 অভিনেত্রের প্রধান



চিত্র : ৬.১৪

ফোকাস Fe-এর ভিতরে পড়ে। এই অবস্থায় আলোক রশ্মি প্রতিসৃত হওয়ার পর একটি অবাস্তব, P_1Q_1-এর সাপেক্ষে সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব P_2Q_2 গঠিত হয়। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে দূরত্বও এমন রাখা হয় যেন P_2Q_2 বিম্ব চোখের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়। ফলে দর্শক বিনাক্লেশে PQ লক্ষ্যবস্তুর উল্টো ও বিবর্ধিত বিম্ব P_2Q_2 স্পষ্ট দেখতে পান।

বিবর্ধন : বিবর্ধন বলতে বিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বোঝায়। এই যন্ত্রে বিম্ব দুবার বিবর্ধিত হয়। একবার অভিলক্ষ্য ও আর একবার অভিনেত্র দ্বারা। যন্ত্রের মোট বিবর্ধন M হলে,

$$M = \frac{\text{বিম্বের আকার}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর আকার}}$$

বা, $M = \frac{P_2Q_2}{PQ} = \frac{P_1Q_1}{PQ} \times \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1}$

$$\therefore\ M = m_1 \times m_2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.15)$$

এখানে m_1 ও m_2 যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্সের বিবর্ধনের পরিমাণ।

ধরা যাক,

u_1 = অভিলক্ষ্য থেকে PQ লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব

v_1 = অভিলক্ষ্য থেকে P_1Q_1 বিম্বের দূরত্ব

f_o = অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব

u_2 = অভিনেত্র থেকে P_1Q_1-এর দূরত্ব

v_2 = অভিনেত্র থেকে P_2Q_2 এর দূরত্ব

f_e = অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব

এখন, লেন্সের সাধারণ সমীকরণ[১] থেকে অভিলক্ষ্যের জন্য,

$\frac{1}{v_1}+\frac{1}{u_1}=\frac{1}{f_o}$ বা, $1+\frac{v_1}{u_1}=\frac{v_1}{f_o}$ বা, $-\frac{v_1}{u_1}=1-\frac{v_1}{f_o}$ কিন্তু $m_1=-\frac{v_1}{u_1}$

$$\therefore m_1 = 1-\frac{v_1}{f_o} \qquad (6.16)$$

একইভাবে অভিনেত্রের জন্য

$$m_2 = -\frac{v_2}{u_2} = 1-\frac{v_2}{f_e} \qquad (6.17)$$

সুতরাং (6.15) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$M = \left(1-\frac{v_1}{f_o}\right)\left(1-\frac{v_2}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.18)$$

আবার, $M = m_1 \times m_2 = \left(-\frac{v_1}{u_1}\right)\times\left(-\frac{v_2}{u_2}\right)$ বা, $M = -\frac{v_1}{u_1}\left(1-\frac{v_2}{f_e}\right)$

কিন্তু অভিনেত্রে (উত্তল লেন্সে) অবাস্তব বিম্বের ক্ষেত্রে v_2 ঋণাত্মক ও f_e ধনাত্মক

সুতরাং $M = -\frac{v_1}{u_1}\left(1+\frac{v_2}{f_e}\right)$

কিন্তু চূড়ান্ত বিম্ব চোখের নিকট বিন্দুতে গঠিত হলে $v_2 = D$ [এখানে, D = স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব]

$$\therefore M = -\frac{v_1}{u_1}\left(1+\frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \qquad (6.19)$$

> প্রতিবেদন তৈরি : তুমি বেশি বিবর্ধনের যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র তৈরি করতে চাইলে কী কী ব্যবস্থা গ্রহণ করবে নিম্নোক্ত সংকেতের আলোকে একটি প্রতিবেদন তৈরি করো।
>
> ১. u_1-এর মান কমিয়ে m-এর মান বাড়ানো যায়।
>
> ২. f_e-এর মান কমিয়ে m-এর মান বাড়ানো যায়।
>
> ৩. v_1-এর মান বাড়িয়ে তথা নলের দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে ও m-এর মান বাড়ানো যায়। v_1 হচ্ছে অভিলক্ষ্য থেকে প্রথম বাস্তব বিম্বের দূরত্ব।

৬.১১। দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা টেলিস্কোপ (Telescope)

যে যন্ত্রের সাহায্যে বহু দূরের বস্তু পরিষ্কারভাবে দেখা যায় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা টেলিস্কোপ বা দূরবীণ বলে।

মূলনীতি : বহুদূরে অবস্থিত বস্তু থেকে আগত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে একাধিক লেন্স বা দর্পণে প্রতিসরিত বা প্রতিফলিত করে বস্তুর একটি অবাস্তব ও সোজা বিম্ব গঠন করা হয়। সাধারণত লেন্স বা দর্পণগুলোকে এমনভাবে সমন্বয় করা হয় যাতে বিম্বটি চোখের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়।

---

[১] দর্পণ ও লেন্সের সাধারণ সমীকরণ

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

এখানে u = দর্পণ বা লেন্স থেকে বস্তুর দূরত্ব

v = দর্পণ বা লেন্স থেকে বিম্বের দূরত্ব

f = দর্পণ বা লেন্সের ফোকাস দূরত্ব

দর্পণ অবতল হোক বা উত্তল হোক, লেন্স উত্তল হোক বা অবতল হোক, বিম্ব বাস্তব হোক বা অবাস্তব হোক, বিবর্ধিত হোক বা না হোক, ফোকাস দূরত্ব ও লক্ষ্যবস্তুর দূরত্বের সাথে বিম্বের দূরত্বের সম্পর্ক হচ্ছে এটি এবং বিবর্ধনের রাশিমালা হচ্ছে $m=-\frac{v}{u}$

দূরবীক্ষণ যন্ত্র সাধারণত দু'ধরনের হয়। যথা—
ক. প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা রিফ্রাক্টিং টেলিস্কোপ (Refracting Telescope) ও
খ. প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ (Reflecting Telescope)।

যে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে বড় উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্বের লেন্স ব্যবহার করা হয় তাকে প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে প্রধানত তিনভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—
১. নভো বা জ্যোতিষ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical telescope)
২. ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial telescope)।
৩. গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean telescope)।

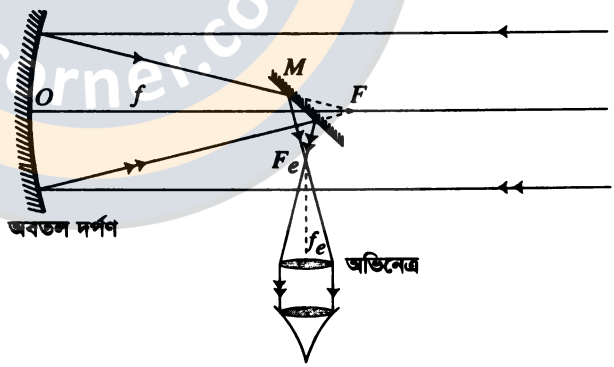
যে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে অবতল দর্পণ ব্যবহার করা হয় তাকে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। **প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবার তিন ধরনের হয়। যথা—**
১. নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Newton's telescope),
২. হার্সেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Harchel's telescope) ও
৩. গ্রেগরীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Gregory's telescope)।
নিচে আমরা একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালি আলোচনা করছি।

৬.১২। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ (Reflecting Telescope)

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে দর্পণ ব্যবহার করা হয়। ১৬৬৩ সালে বিজ্ঞানী **গ্রেগরী** সর্বপ্রথম এই দূরবীক্ষণ যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। তবে সবচেয়ে প্রচলিত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন **স্যার আইজ্যাক নিউটন** ১৬৬৮ সালে। নিচে এই দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দেওয়া হলো।

গঠন : একটি ধাতব নলের এক প্রান্তে একটি বড় উন্মেষবিশিষ্ট অবতল দর্পণ লাগিয়ে এই যন্ত্র তৈরি করা হয়। অবতল দর্পণটি যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের কাজ করে। নলের খোলা মুখ লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয় [চিত্র ৬.১৫] অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের উপর প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে একটি সমতল দর্পণ M, অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে স্থাপন করা হয়। সমতল দর্পণের সামনে নলের গায়ে বসানো উত্তল লেন্স যন্ত্রের অভিনেত্র হিসেবে কাজ করে।

মূলনীতি : বহু দূরবর্তী লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত সমান্তরাল রশ্মিসমূহ অবতল প্রতিফলকে প্রতিফলিত হলে প্রতিফলকের ফোকাস তলে একটি বাস্তব, উল্টো ও খর্বিত বিম্ব গঠন করতো যদি সমতল দর্পণটি এর অবস্থানে থেকে প্রতিফলিত রশ্মিকে বাধা না দিত। কিন্তু সমতল দর্পণ প্রতিফলিত রশ্মিকে বাধা দেওয়ায় এখন বিম্ব সমতল দর্পণের সম্মুখে গঠিত হয়। অভিনেত্র লেন্সটিকে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন দর্পণে গঠিত বিম্বটি এর প্রধান ফোকাসে থাকে ফলে এর একটি অবাস্তব, সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয়। দেখার সুবিধের জন্য অভিনেত্র লেন্সটিকে একটু সামনের দিকে এগিয়ে দিয়ে চোখের নিকট বিন্দুতে বিম্ব গঠন করা হয়।



চিত্র : ৬.১৫

বিবর্ধন : দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বলতে বিম্ব ও লক্ষ্যবস্তুর দ্বারা চোখে সৃষ্ট কোণের অনুপাতকে বোঝায়। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন M হলে, অসীমে গঠিত বিম্বের ক্ষেত্রে

$$M = \frac{\text{অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব}}{\text{অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব}}$$

বা, $M = \frac{f_o}{f_e}$ (6.20)

বিম্ব চোখের স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হলে বিবর্ধন,

$$M = f_o \left(\frac{1}{f_e} + \frac{1}{D}\right)$$

এখানে, f_o = অবতল দর্পনের ফোকাস দূরত্ব, f_e = উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব এবং D = স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব।

বাস্তব ক্ষেত্রে অভিনেত্রে একটি উত্তল লেন্সের পরিবর্তে একাধিক লেন্সের সমন্বয় ব্যবহার করা হয়।

সুবিধা : প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের প্রধান সুবিধা হচ্ছে দূরবর্তী লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত আলো দর্পণে প্রতিফলিত হয় বলে সেখানে আলোর শোষণ তুলনামূলকভাবে কম হয়। ফলে এই যন্ত্রে সৃষ্ট বিম্ব অধিকতর উজ্জ্বল হয়।

প্রজেক্ট : একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরি কর।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৫। কোনো যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4 mm ও 5 cm। যদি অভিলক্ষ্য থেকে বাস্তব বিম্বের দূরত্ব 20 cm হয় এবং অভিনেত্র থেকে শেষ অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব 25 cm হয় তবে ঐ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কত?

এখানে, অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_o = 4 \text{ mm} = 0.4 \text{ cm}$

অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5 \text{ cm}$

অভিলক্ষ্যের জন্য বাস্তব বিম্বের দূরত্ব, $v_1 = 20 \text{ cm}$

অভিনেত্রের জন্য অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব, $v_2 = -25 \text{ cm}$

মোট বিবর্ধন, $M = ?$

আমরা জানি,

$$M = \left(1 - \frac{v_1}{f_o}\right)\left(1 - \frac{v_2}{f_e}\right)$$

$$= \left(1 - \frac{20 \text{ cm}}{0.4 \text{ cm}}\right)\left(1 - \frac{-25 \text{ cm}}{5 \text{ cm}}\right)$$

$$= -49 \times 6$$

$$= -294$$

$\because M = -$, বিম্ব উল্টো $|M| = 294$ উ: 294.

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৬। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm ও 5 cm এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। অভিলক্ষ্য থেকে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে একটি বিবর্ধিত অবাস্তব বিম্ব গঠিত হবে?

এখানে, অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_o = 2 \text{ cm}$

অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5 \text{ cm}$

অভিনেত্র থেকে চূড়ান্ত অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব, $v_2 = -25 \text{ cm}$

নলের দৈর্ঘ্য, $l = 20 \text{ cm}$

অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্ব অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তু হিসেবে কাজ করে। অভিনেত্র থেকে এই লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u_2 হলে, $\frac{1}{u_2} + \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_e}$ বা, $\frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e} - \frac{1}{v_2} = \frac{1}{5 \text{ cm}} - \frac{1}{-25 \text{ cm}} = \frac{5+1}{25 \text{ cm}}$ $\therefore u_2 = \frac{25}{6} \text{ cm}$

সুতরাং অভিলক্ষ্য থেকে অভিলক্ষ্যের জন্য সৃষ্ট বিম্বের দূরত্ব,

$$|v_1| = l - |u_2| = 20 \text{ cm} - \frac{25}{6} \text{ cm} = \frac{95}{6} \text{ cm}$$

এই বিম্ব বাস্তব বলে v_1 ধনাত্মক। $\therefore v_1 = \frac{95}{6} \text{ cm}$

এখন অভিলক্ষ্য থেকে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u_1 হলে,

$$\frac{1}{v_1} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_o} \quad \text{বা, } \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_o} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{2 \text{ cm}} - \frac{6}{95 \text{ cm}} = \frac{95 - 12}{2 \times 95 \text{ cm}}$$

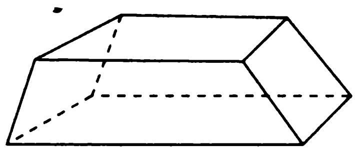
$\therefore u_1 = \frac{190}{83} \text{ cm} = 2.29 \text{ cm}$ উ: 2.29 cm.

৬.১৩ । প্রিজম (Prism)

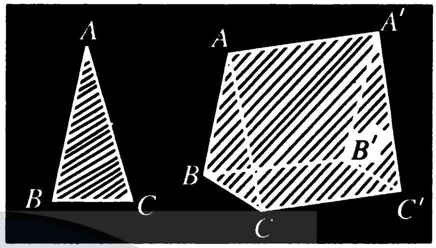
দুটি হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

প্রিজমে ছয়টি আয়তক্ষেত্রিক তল [চিত্র ৬.১৬] অথবা তিনটি আয়তক্ষেত্রিক ও দুটি ত্রিভুজাকৃতি তল থাকে [চিত্র ৬.১৭]।

pdfcorner.com



চিত্র : ৬.১৬

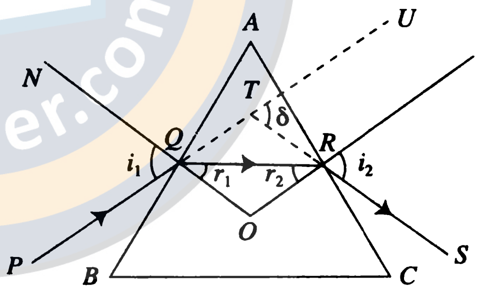


চিত্র : ৬.১৭

যে সমতল পৃষ্ঠদ্বয় পরস্পর আনত থাকে তাদেরকে প্রিজমের প্রতিসারক পৃষ্ঠ বলে। ৬.১৭ চিত্রে $ABB'A'$ ও $ACC'A'$ প্রতিসারক পৃষ্ঠ। প্রতিসারক পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণকে **প্রিজমের কোণ** বা **প্রতিসারক কোণ** বলে। চিত্রে $\angle BAC$ প্রিজমের প্রতিসারক কোণ। প্রতিসারক পৃষ্ঠদ্বয় যে রেখা বরাবর পরস্পরের সাথে মিলিত হয় তাকে প্রিজমের **প্রতিসারক প্রান্ত** বা **প্রান্তরেখা** বলে। চিত্রে AA' রেখা প্রান্তরেখা। প্রিজমের প্রতিসারক প্রান্তের সাথে লম্বভাবে থাকে এমন যে কোনো অংশকে প্রিজমের **প্রধান ছেদ** বলে। চিত্রে ABC প্রিজমের প্রধান ছেদ। প্রিজমের প্রতিসারক প্রান্তের বিপরীত দিকের পৃষ্ঠকে **প্রিজমের ভূমি** বলে। চিত্রে $BB'C'C$ প্রিজমের ভূমি।

৬.১৪ । প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ (Refraction of Light through Prism)

ধরা যাক, ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬.১৮]। PQ আলোক রশ্মি বায়ু মাধ্যমে AB তলে Q বিন্দুতে আপতিত হয়। Q বিন্দুতে মাধ্যমের পরিবর্তন হওয়ায় PQ রশ্মিটি প্রতিসরিত হয়ে AB তলে আঁকা NQO অভিলম্বের দিকে সরে QR পথে চলে যায়। QR রশ্মিটি R বিন্দুতে আপতিত হয়ে পুনরায় প্রতিসরিত হয় এবং AC তলে আঁকা $N'RO$ অভিলম্ব থেকে দূরে সরে RS পথে বায়ু মাধ্যমে নির্গত হয়। সুতরাং $PQRS$ হচ্ছে আলোক রশ্মির সমগ্র পথ। এখানে PQ আপতিত রশ্মি, QR প্রতিসরিত রশ্মি এবং RS নিষ্ক্রান্ত বা নির্গত রশ্মি। চিত্র থেকে দেখা যায় যে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার ফলে রশ্মিটি প্রিজমের ভূমি BC-এর দিকে বেঁকে গেছে বা রশ্মিটির বিচ্যুতি ঘটেছে। যদি প্রিজমটি না থাকতো তাহলে PQ রশ্মি $PQTU$ পথে চলে যেত। প্রিজমের উপস্থিতির জন্য আলোক রশ্মির বিচ্যুতি হয়।



চিত্র : ৬.১৮

আলোক রশ্মি প্রিজমে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর যখন নির্গত হয় তখন আপতিত রশ্মি ও নির্গত রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল হয় না। নির্গত রশ্মি আপতিত রশ্মি থেকে যে কোণে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ আপতিত রশ্মি ও নির্গত রশ্মির অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।

বিচ্যুতি কোণকে δ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। ৬.১৮ চিত্রে আপতিত রশ্মি PQ ও নির্গত রশ্মি RS এর মধ্যবর্তী কোণই প্রিজমে প্রতিসরণ হেতু PQ রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাপ। এখন PQ এবং RS-কে বাড়ালে T বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং বিচ্যুতি কোণ $\delta = \angle UTR$।

নিজে কর : ৬.১৮ চিত্রের $AQOR$ চতুর্ভুজ এবং QOR ও TQR ত্রিভুজদ্বয় বিবেচনা করে দেখাও যে, $\delta = i_1 + i_2 - A$

সংকেত : চিত্রে AB তলে PQ রশ্মির আপতন কোণ i_1 ও প্রতিসরণ কোণ r_1 এবং AC তলে QR রশ্মির আপতন কোণ r_2 এবং নির্গমন কোণ i_2 । এখন বিচ্যুতি কোণ δ হলো QRT ত্রিভুজের বহিস্থ কোণ, সুতরাং

$$\delta = \angle TQR + \angle TRQ = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$

$$\therefore \delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.21)$$

এখন $AQOR$ চতুর্ভুজের চার কোণের সমষ্টি চার সমকোণ।

অর্থাৎ $\angle A + \angle O + \angle AQO + \angle ARO =$ চার সমকোণ।

এখানে $\angle A =$ প্রিজমের কোণ।

আবার, NQO ও $N'RO$ যথাক্রমে AB ও AC তলে অভিলম্ব হওয়ায়,

$\angle AQO + \angle ARO =$ দুই সমকোণ।

সুতরাং $\angle A + \angle O =$ দুই সমকোণ।

আবার, QRO ত্রিভুজের $\angle O + \angle r_1 + \angle r_2 =$ দুই সমকোণ

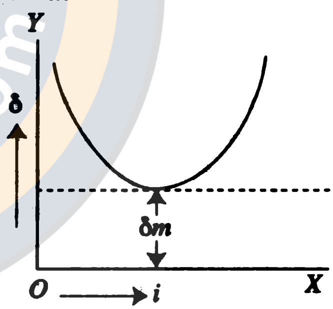
$$\therefore \angle A = \angle r_1 + \angle r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.22)$$

6.21 ও 6.22 সমীকরণ থেকে,

বিচ্যুতি কোণ $\delta = i_1 + i_2 - A \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.23)$

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ (Angle of minimum deviation), δ_m

আমরা জানি যে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মির প্রতিসরণের ফলে আপতিত রশ্মির বিচ্যুতি হয়। একটি প্রিজমে এই বিচ্যুতির পরিমাণ আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মির আপতন কোণ খুব নিম্নমান থেকে ধীরে ধীরে বাড়াতে থাকলে প্রথমত বিচ্যুতি কোণ কমতে থাকে। কিন্তু আপতন কোণ একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম করলে বিচ্যুতি কোণ কমার পরিবর্তে আপতন কোণের বৃদ্ধির সাথে সাথে বাড়তে শুরু করে [চিত্র ৬.১৯]। এই বিশেষ মানের আপতন কোণের বেলাতে বিচ্যুতি কোণের মান সবচেয়ে ছোট হয়। আপতন কোণের মান এর চেয়ে কম হলে বা বেশি হলে বিচ্যুতি কোণ সব সময়ই বড় হবে। নিম্নতম মানের এই বিচ্যুতি কোণকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণকে সাধারণত δ_m বা D_m দ্বারা প্রকাশ করা হয়।



চিত্র : ৬.১৯

প্রিজমে আপতিত আলোক রশ্মির বিচ্যুতি কোণের মান আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। আপতন কোণের মান খুব কম হলে বিচ্যুতি কোণের মান বেশি হয়। আপতন কোণের মান ধীরে ধীরে বাড়াতে থাকলে বিচ্যুতি কোণের মান কমতে থাকে। বিচ্যুতি কোণের মান কমতে কমতে একটি সর্বনিম্ন মানে পৌঁছার পর আর না কমে আপতন কোণের বৃদ্ধির সাথে সাথে বাড়তে থাকে। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।

বিচ্যুতি কোণ ন্যূনতম হওয়ার শর্ত : $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$ হলে অর্থাৎ আপতন কোণ ও নির্গমন কোণ সমান হলে বিচ্যুতি কোণ ন্যূনতম হয়।

প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক ও ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের সম্পর্ক

আমরা জানি, প্রিজমে বিচ্যুতি কোণ, $\delta = i_1 + i_2 - A$

এখানে প্রিজম কোণ, $A = r_1 + r_2$

ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে $i_1 = i_2$ ও $r_1 = r_2$ এবং $\delta = \delta_m$ অর্থাৎ বিচ্যুতি কোণের মান ন্যূনতম হয়।

সুতরাং $r_1 = \frac{A}{2}$

$$\delta_m = i_1 + i_2 - A = 2i_1 - A \quad \therefore \quad i_1 = \frac{A + \delta_m}{2}$$

এখন প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.24)$$

সরু প্রিজমে আলোক রশ্মির বিচ্যুতি (Deviation of Light through thin Prism)

যে সকল প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 4°থেকে 6°-এর চেয়ে বড় নয় তাদেরকে সরু প্রিজম বলে।

কোনো সরু প্রিজমের উপর একটি রশ্মি খুব ছোট কোণে আপতিত হলে অর্থাৎ প্রায় লম্বভাবে আপতিত হলে বিচ্যুতি কোণ,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

এবং $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

এখন i_1 ও r_1 খুব ছোট হওয়ায় i_2 ও r_2 ও খুব ছোট হয়। কাজেই,

$\mu = \frac{i_1}{r_1} = \frac{i_2}{r_2}$ [$\because$ i_1 খুব ছোট বলে $\sin i_1 = i_1$]

$$\therefore \quad \delta = \mu r_1 + \mu r_2 - A = \mu (r_1 + r_2) - A = \mu A - A$$

$$\therefore \quad \delta = A (\mu - 1) \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.25)$$

অর্থাৎ সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণের মান আপতন কোণের উপর নির্ভর করে না কেবল প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ও প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৭। একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত?

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}} \quad \text{বা,} \quad \sqrt{2} = \frac{\sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{\sin \frac{60°}{2}}$$

বা, $\sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)$

$= \sqrt{2} \times \sin 30°$

$= \sqrt{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sin 45°$

এখানে,

প্রতিসারক কোণ, $A = 60°$ [$\because$ সমবাহু প্রিজম]

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \sqrt{2}$

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = ?$

$$\therefore \frac{60° + \delta_m}{2} = 45° \quad \text{বা, } \delta_m = 30°$$

উ: 30°

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৮। একটি ফ্লিন্ট কাচের তৈরি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণ 10°। লাল আলোর জন্য উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.57 হলে বিচ্যুতি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\delta = (\mu - 1) A$

$= (1.57 - 1) \times 10°$

$= 5.7°$

উ : 5.7°

এখানে

প্রতিসারক কোণ, $A = 10°$

কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1.57$

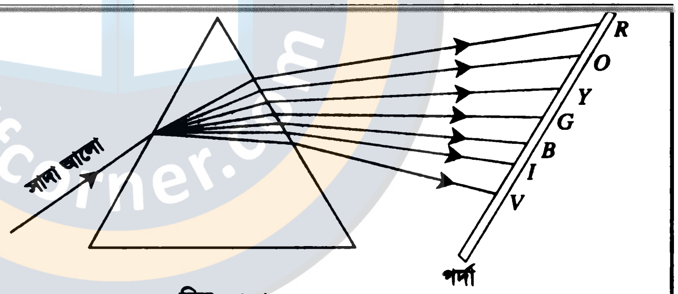
বিচ্যুতি, $\delta = ?$

৬.১৫। প্রিজমে আলোর বিচ্ছুরণ (Dispersion of Light through Prism)

আমরা দেখেছি যে, সূর্যের সাদা আলো যদি কোনো কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়ে যায় তাহলে তা সাতটি রঙে বিশ্লিষ্ট হয়। প্রিজম থেকে নির্গত রশ্মিগুলোকে যদি কোনো পর্দার উপর ফেলা যায় তাহলে পর্দায় সাতটি রঙের পটি (Band) দেখা যায়। আলোর এই রঙিন পটিকে বর্ণালি (Spectrum) বলে। প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় সাদা রঙের আলো সাতটি মূল রঙের আলোকে বিশ্লিষ্ট হওয়ার প্রণালিকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

কোনো মাধ্যমে প্রতিসরণের ফলে যৌগিক আলো থেকে মূল বর্ণের আলো পাওয়ার পদ্ধতিকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

পরীক্ষা : ১৬৬৬ সালে স্যার আইজ্যাক নিউটন একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে সর্বপ্রথম আলোর বিচ্ছুরণ আবিষ্কার করেন। তিনি তাঁর ঘরের জানালায় একটি ছোট ছিদ্র করে এই পরীক্ষা করেন। অন্ধকার ঘরে জানালার এই ছোট ছিদ্র দিয়ে সূর্যালোক বিপরীত দিকে দেওয়ালের উপর পড়ে। এখন আলোর গতিপথে একটি প্রিজম স্থাপন করে তিনি দেওয়ালে সাদা আলোর পরিবর্তে সাতটি রং দেখতে পান [চিত্র ৬.২০]। সাতটি রঙের এই পট্টিকে নিউটন **বর্ণালি** আখ্যা দেন। বর্ণালিতে তিনি বেগুনি (Violet), নীল (Indigo), আসমানী (Blue), সবুজ (Green), হলুদ (Yellow), কমলা (Orange) ও লাল (Red)-এ সাতটি রং পর পর দেখতে পান। রংগুলোর নাম ও ক্রম সহজে মনে রাখার জন্য এদের নামের আদ্যাক্ষরগুলো নিয়ে ইংরেজিতে VIBGYOR ও বাংলায় বেনীআসহকলা শব্দ গঠন করা হয়।



চিত্র : ৬.২০

বর্ণালি থেকে দেখা যায় যে, লাল রঙের আলোর বিচ্যুতি সবচেয়ে কম এবং বেগুনি আলোর বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশি। হলুদ রঙের আলোর বিচ্যুতি লাল ও বেগুনি আলোর মাঝামাঝি বলে এর বিচ্যুতিকে গড় বিচ্যুতি বলে এবং হলুদ রশ্মিকে মধ্যরশ্মি বলে।

এ পরীক্ষা থেকে নিউটন এই সিদ্ধান্তে আসেন যে, সূর্যের সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক (Composite) এবং এই আলো সাতটি মূল রঙের আলোর সমষ্টি।

নিজে কর : কোনো সরু ছিদ্র পথে আসা সাদা আলোকে একটি প্রিজমের সাহায্যে সাতটি রঙে বিশ্লিষ্ট করে বর্ণালি গঠন কর।

বর্ণালি উৎপত্তির কারণ

কোন মাধ্যমে প্রতিসরণের ফলে যৌগিক আলোর বিচ্ছুরণের জন্য মূল রংগুলোর যে পট্টি পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।

আমরা জানি, আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে অপর স্বচ্ছ মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন আলোক রশ্মি বিভেদতলে বেঁকে যায়। এই বাঁকার পরিমাণ মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতি ও আলোর রঙের উপর নির্ভর করে। সূর্যের সাদা আলো সাতটি রঙের সমন্বয়ে সৃষ্টি তাই যখন সূর্যের সাদা আলো কোনো প্রিজমের মধ্যে প্রবেশ করে তখন প্রতিসরণের ফলে রশ্মির গতিপথ বেঁকে যায়। এখন ভিন্ন ভিন্ন বর্ণের আলোর বাঁকার পরিমাণ ভিন্ন হওয়ার জন্য প্রিজমের মধ্যে সাদা আলো সাতটি বর্ণে বিশ্লিষ্ট হয় এবং এই বিশ্লিষ্ট অবস্থায়ই প্রিজম থেকে নির্গত হয়। ফলে পর্দার উপর আমরা বর্ণালি দেখতে পাই। এখন প্রশ্ন হচ্ছে বর্ণভেদে আলোক রশ্মির বাঁকার পরিমাপ বিভিন্ন কেন? শূন্য মাধ্যমে সবক'টি বর্ণের আলোক রশ্মি একই বেগে চলে। কিন্তু অন্য যে কোনো মাধ্যমে এক এক বর্ণের আলোর বেগ এক এক রকমের হয়। যেমন কাচের মধ্যে লাল রঙের আলোর বেগ, বেগুনি রঙের আলোর বেগের প্রায় 1.8 গুণ বেশি। তাই বেগুনি আলো সবচেয়ে বেশি এবং লাল আলো সবচেয়ে কম বাঁকে। ফলে বর্ণালি উৎপন্ন হয়। এ কারণে একই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ভিন্ন ভিন্ন রঙের জন্য বিভিন্ন হয়। সুতরাং বলা যায়, **বিভিন্ন বর্ণের আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতার জন্য বর্ণালি উৎপন্ন হয়।**

কৌণিক বিচ্ছুরণ ও বিচ্ছুরণ ক্ষমতা

সরু প্রিজমের মধ্য দিয়ে একবর্ণের রশ্মি নির্গত হলে ঐ রশ্মির বিচ্যুতি,

$$\delta = (\mu - 1) A \qquad (6.26)$$

এখানে, A = প্রিজমের প্রতিসরক কোণ

μ = ঐ বর্ণের আলোর সাপেক্ষে প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক

এখন একটি পাতলা প্রিজমের ওপর সাদা আলো আপতিত হয়ে নির্গত হলে আলোক রশ্মি লাল থেকে বেগুনি পর্যন্ত সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিচ্ছুরিত হয় এবং প্রত্যেক রশ্মির বিচ্যুতিও ভিন্ন হয়। লাল ও বেগুনি আলোর জন্য বিচ্যুতি যথাক্রমে δ_r ও δ_v হলে,

$$\delta_r = (\mu_r - 1) A \qquad (6.27)$$

$$\delta_v = (\mu_v - 1) A \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.28)$$

এখানে μ_r ও μ_v যথাক্রমে লাল ও বেগুনি আলোর সাপেক্ষে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক। লাল ও বেগুনি আলোর মধ্যবর্তী বিচ্যুতিকে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে। সুতরাং, কৌণিক বিচ্ছুরণ $= \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r)$ A

বিচ্ছুরণের মান প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

প্রতিসরাঙ্ক যত বেশি হবে বিচ্ছুরণের পরিমাণও তত বেশি হবে। বিভিন্ন পদার্থের তৈরি প্রিজমের বিচ্ছুরণ ঘটানোর ক্ষমতাও বিভিন্ন।

পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে বর্ণালির দুই প্রান্তের রশ্মির বিচ্যুতির প্রভেদ ও মধ্যরশ্মির বিচ্যুতির অনুপাতকে বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে। একে ω দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মধ্যরশ্মির বিচ্যুতি, $\delta = (\mu - 1)$ A হলে

$$\omega = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta} = \frac{(\mu_v - \mu_r)A}{(\mu - 1)A}$$

$$\therefore \omega = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1} \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.29)$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৯। এক প্রকার ক্রাউন কাচে তৈরি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 8°। হলুদ ও নীল আলোর জন্য এর প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.51 ও 1.54 হলে কৌণিক বিচ্ছুরণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\delta_b - \delta_y = (\mu_b - \mu_y)A$

$= (1.54 - 1.51) \times 8° = 0.24°$

উ : 0.24°

এখানে,
নীল আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_b = 1.54$
হলুদ আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক $\mu_y = 1.51$
প্রতিসারক কোণ, $A = 8°$
কৌণিক বিচ্ছুরণ $\delta_b - \delta_y = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১০। বেগুনি ও লাল আলোর জন্য একপ্রকার কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.65 ও 1.57। এই দুই বর্ণের আলোর মধ্যে আলোচ্য কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বের কর।

মধ্যবর্তী আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক μ হলে

$$\omega = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$$

এখানে $\mu = \frac{\mu_v + \mu_r}{2} = \frac{1.65 + 1.57}{2} = 1.61$

$$\therefore \omega = \frac{1.65 - 1.57}{1.61 - 1} = 0.13$$

উ: 0.13

এখানে,
বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_v = 1.65$
লাল আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_r = 1.57$
বিচ্ছুরণ ক্ষমতা $\omega = ?$

৬.১৬ । ব্যবহারিক (Practical)

পরীক্ষণের নাম	সমতল দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরল পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	

মূলতত্ত্ব : f_1 ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স এবং f_2 ফোকাস দূরত্বের একটি সমতলাবতল (planoconcave) লেন্সের সমবায় বিবেচনা করা যাক। যদি সমবায়ের তুল্য ফোকাস দূরত্ব F হয় তাহলে,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_1} \quad \therefore f_2 = \frac{F f_1}{f_1 - F}$$

পরীক্ষার সাহায্যে f_1 এবং F নির্ণয় করে f_2 এর মান বের করা যায়।

আবার, লেন্স তৈরির সমীকরণ অনুসারে সমতলাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

এখানে μ হচ্ছে সমতলাবতল লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক।

সমতলাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে $r_2 = \infty$

$$\therefore \frac{1}{f_2} = \frac{\mu - 1}{r_1}$$

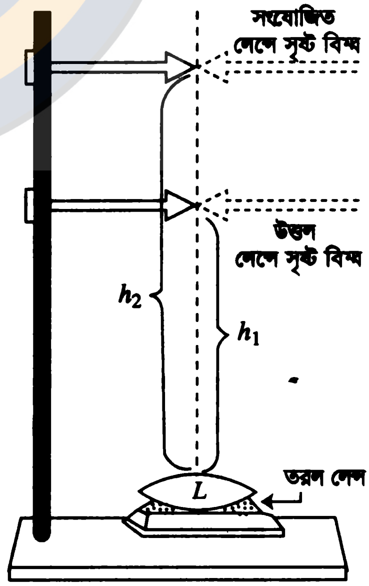
$$\text{বা,} \quad \mu - 1 = \frac{r_1}{f_2} \quad \therefore \mu = 1 + \frac{r_1}{f_2}$$

সমতলাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে f_2 এবং r_1 উভয়ই ঋণাত্মক হয়।

লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}$

এখানে, d = স্ফেরোমিটারের যে কোনো দুই পায়ের মধ্যবর্তী গড় দূরত্ব।

h = বক্রতলের পৃষ্ঠ স্পর্শ করানোর জন্য স্ফেরোমিটারের স্ক্রুকে যতটুকু ওপরে ওঠাতে বা নিচে নামাতে হয়।



চিত্র : ৬.২১

যন্ত্রপাতি : একটি সমতল দর্পণ, উত্তল লেন্স, স্ট্যান্ড পিন, পরীক্ষণীয় তরল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ফেরোমিটার ও মিটার স্কেল।

কাজের ধারা

১. স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে উত্তল লেন্সের পুরুত্ব t নির্ণয় করা হলো। t-কে 2 দ্বারা ভাগ করে লেন্সের উপরিতলের পুরুত্ব পাওয়া গেল।

২. স্ফেরোমিটারের সাহায্যে লেন্সের এক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হলো। লেন্সের এই পৃষ্ঠে একটি ক্রস চিহ্ন দেওয়া হলো। পরীক্ষাগারের মেঝেতে একটি কাঠের বোর্ডের উপর সমতল দর্পণটি রেখে তার উপর উত্তল লেন্সটি রাখা হলো।

৩. একটি স্ট্যান্ডের সাহায্যে বস্তু পিনটাকে এমনভাবে রাখা হলো যেন পিনের শীর্ষ উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে।

৪. এখন উপর থেকে খাড়াভাবে তাকিয়ে পিনের অবস্থান বদলে এমনভাবে রাখতে হবে যেন পিনের উল্টানো বিম্ব পিনের শীর্ষ স্পর্শ করে থাকে। এখন এক চোখ বন্ধ করে মাথা অনুভূমিকভাবে এদিক ওদিক নাড়ালে যদি পিন ও পিনের বিম্বের মধ্যে কোনো ফাঁক সৃষ্টি না হয় তাহলে বুঝতে হবে বিম্বের অবস্থান সঠিকভাবে নির্ণীত হয়েছে। এখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু থেকে পিনের শীর্ষ পর্যন্ত দূরত্ব h_1 পরিমাপ করা হলো।

৫. এখন লেন্সটিকে দর্পণের উপর থেকে সরিয়ে পরীক্ষণীয় তরলের কয়েক ফোঁটা দর্পণের উপর ঢেলে লেন্সটিকে এর উপর বসিয়ে দেওয়া হলো। লেন্সের যে পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয়েছে সে পৃষ্ঠ তরলের সংস্পর্শে রাখতে হবে। অর্থাৎ ক্রস চিহ্ন দেওয়া পৃষ্ঠ তরলের দিকে রাখতে হবে। লেন্স রাখার ফলে তরল পদার্থ দর্পণের উপর ছড়িয়ে পড়বে ফলে কাচের উভোত্তল লেন্স ও তরলের সমতলাবতল লেন্সের সমবায় তৈরি হবে। এখন ৪ নং কাজের ধারায় বর্ণিত পদ্ধতিতে সমবায়ের জন্য বিম্বের দূরত্ব h_2 নির্ণয় করা হলো। পুরো প্রক্রিয়াটি তিনবার পুনরাবৃত্তি করা হলো।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন

ক. স্লাইড ক্যালিপার্সের ভার্নিয়ার ধ্রুব নির্ণয় :

প্রধান স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘরের মান, $s =$ ....m

ভার্নিয়ার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা, $n =$

$\therefore$ ভার্নিয়ার ধ্রুবক, $VC = \frac{s}{n} =$ .... m

খ. স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ গণন নির্ণয় :

১. স্ফেরোমিটারের রৈখিক স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ঘরের মান = ...m

২. বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা =................

বৃত্তাকার স্কেল সম্পূর্ণ একবার ঘুরালে রৈখিক স্কেলে ....mm দৈর্ঘ্য অতিক্রম করে।

সুতরাং যন্ত্রের পিচ = ...mm

$$\therefore \text{লঘিষ্ঠ গণন} = \frac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেল ভাগ সংখ্যা}} = \text{.................................m}$$

৩. স্ফেরোমিটারের যে কোনো দুই পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব

(i) $d_1 =$ ....m

(ii) $d_2 =$ ....m

(iii) $d_3 =$ ....m

গড় দূরত্ব $d = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} =$ ....m

স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে লেন্সের পুরুত্ব t নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ M m	ভার্নিয়ার সমপাতন V	ভার্নিয়ার ধ্রুবক VC m	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ $F=V\times VC$ m	আপাত পুরুত্ব $t'=M+F$ m	যান্ত্রিক ত্রুটি $\pm e$ m	প্রকৃত পুরুত্ব $t=t'-(\pm e)$ m	গড় পুরুত্ব t m
1								
2								
3								

h এবং r_1 নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বক্রতলের ওপর বৃত্তাকার স্কেলের আদি পাঠ	বৃত্তাকার স্কেলের পূর্ণ ঘূর্ণন সংখ্যা M	লঘিষ্ঠ গণন LC m	বৃত্তাকার স্কেলের অতিরিক্ত ভাগ সংখ্যা N	$h = M \times$ পিচ $+ N \times LC$ m	গড় h m	বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 m
1							
2							
3							
4							
5							

লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_1 নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লেন্সের উপরি পৃষ্ঠ থেকে পিনের শীর্ষ পর্যন্ত দূরত্ব h_1 m	লেন্সের পুরুত্ব t m	উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $f_1=\left(h_1+\frac{t}{2}\right)$ m	গড় ফোকাস দূরত্ব f_1 m
1				
2				
3				

সমবায়ের ফোকাস দূরত্ব F নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লেন্সের উপরি পৃষ্ঠ থেকে পিনের শীর্ষ পর্যন্ত দূরত্ব h_2 m	লেন্সের পুরুত্ব t m	সংযোজিত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $F=\left(h_2+\frac{t}{2}\right)$ m	গড় ফোকাস দূরত্ব F m
1				
2				
3				

pdfcorner.com

হিসাব

১. লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ $r_1 = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2} =$ .... m

২. সমতলাবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f_2 = \frac{Ff_1}{f_1 - F}$ .... m

৩. তরলের প্রতিসরাঙ্ক $\mu = 1 + \frac{r_1}{f_2} =$ ....

ফলাফল : প্রদত্ত তরলের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu =$ ....

সতর্কতা :

১. সমতল দর্পণকে সম্পূর্ণ অনুভূমিকভাবে স্থাপন করতে হবে।

২. খুব সামান্য পরিমাণ তরল নিতে হবে।

৩. লেন্সের মধ্য বিন্দু দিয়ে গমনকারী উল্লম্ব রেখার উপরই পিনের শীর্ষ থাকতে হবে।

৪. পিন থেকে যথেষ্ট দূরে চক্ষু স্থাপন করতে হবে।

৫. বিম্বের অবস্থান নির্ণয়ে লম্বন ত্রুটি পরিহার করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম	উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	

তত্ত্ব : লেন্সের আলোক কেন্দ্র থেকে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বলে। লেন্সের ক্ষেত্রে আমরা জানি, $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ ... (1)

এখানে, $f =$ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব

$u =$ লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব (+)

$v =$ বিম্বের দূরত্ব (+)

উত্তল লেন্সের প্রধান ফোকাসের বাইরে লক্ষ্যবস্তু স্থাপন করলে লেন্সের অপর পাশে বাস্তব ও উল্টো বিম্ব গঠিত হয়। উত্তল লেন্স যখন বাস্তব বিম্ব গঠন করে, তখন লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u এবং বাস্তব বিম্বের দূরত্ব v ধনাত্মক হয়। সুতরাং (1) সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ বা, $f = \frac{uv}{u+v}$ ... (2)

বিভিন্ন লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u এর জন্যে বিম্বের দূরত্ব v নির্ণয় করে সমীকরণ (2) এর সাহায্যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

লেন্সের ক্ষমতা : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে কোনো লেন্সের অভিসারী গুচ্ছে (উত্তল লেন্সে) বা অপসারী গুচ্ছ (অবতল লেন্সে) পরিণত করার প্রবণতাকে লেন্সের ক্ষমতা বলে।

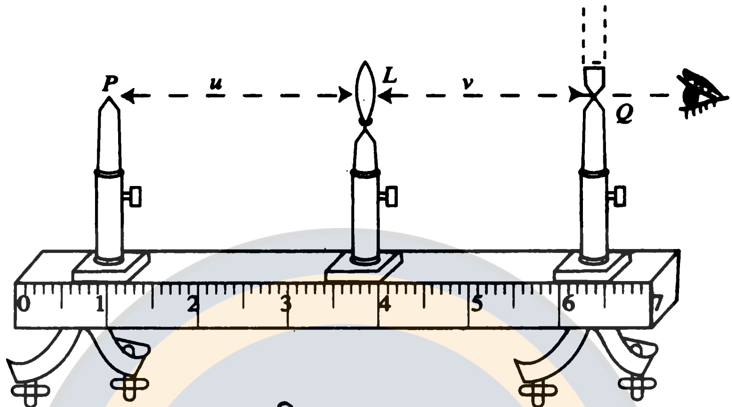
লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f কে মিটারে (m) প্রকাশ করে নিচের সমীকরণের সাহায্যে ডাইঅপ্টারে (D) লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।

$$P = \frac{1}{f} \quad ... \quad ... \quad (3)$$

যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য উপকরণ : আলোকবেঞ্চ, উত্তল লেন্স, স্ট্যান্ডসহ দুটি পিন ইত্যাদি।

কাজের ধারা : পিন পদ্ধতি

১. একটি আলোক বেঞ্চ নিয়ে একটি স্ট্যান্ডের সাহায্যে উত্তল লেন্সটিকে আটকে বেঞ্চের উপর এমনভাবে রাখা হয় যেন এর প্রধান অক্ষ অনুভূমিক থাকে এবং আলোক বেঞ্চের সমান্তরাল হয়।



চিত্র : ৬.২২

২. এবার দুটি পিন নিয়ে স্ট্যান্ডের সাহায্যে লেন্সের একদিকে একটি পিন ও বিপরীত দিকে অপর পিনটি বেঞ্চের উপর এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন পিনদ্বয়ের শীর্ষ লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে। পিন দুটি একটি লক্ষ্যবস্তু এবং অপরটি বিম্ব পিন বা সাহায্যকারী পিন যার সাহায্যে বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা হয়।

৩. লেন্সের বাম দিকের পিনটিকে লক্ষ্যবস্তু পিন P হিসেবে ধরে লেন্সের ডান দিক থেকে দেখলে পিনটির একটি বাস্তব উল্টো বিম্ব দেখা যাবে। এখন P পিনটিকে সামনে পিছনে সরিয়ে এমন অবস্থানে রাখা হয় যেন বিম্বের আকৃতি লক্ষ্যবস্তুর প্রায় সমান হয়।

৪. P পিনটিকে এই অবস্থানে স্থির রেখে Q পিনটিকে সামনে পিছনে সরিয়ে এমন অবস্থানে আনা হয়, যেন P পিনের বিম্বটি Q পিনের মাথার উপর (চিত্র ৬.২২) থাকে। এই অবস্থায় এদের মধ্যে যেন কোনো লম্বন ত্রুটি না থাকে। Q পিনের অবস্থানই বিম্বের অবস্থান।

৫. আলোক বেঞ্চের স্কেল থেকে লেন্স, লক্ষ্যবস্তু ও বিম্বের অবস্থানের পাঠ নেয়া হয় এবং তা থেকে লক্ষ্যবস্তু ও বিম্বের দূরত্ব u ও v নির্ণয় করা হয়।

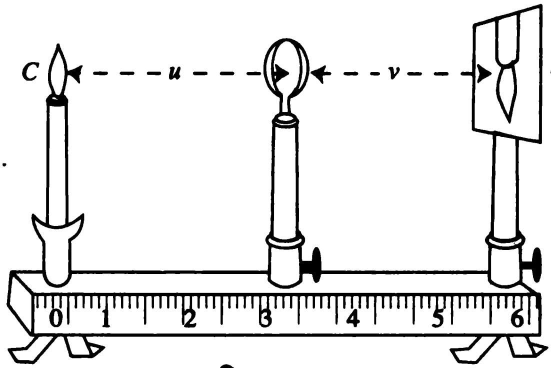
৬. লক্ষ্যবস্তুকে আলোক বেঞ্চে পাঁচটি ভিন্ন ভিন্ন অবস্থানে রেখে উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় প্রতি ক্ষেত্রে u ও v এর মান নির্ণয় করা হয়।

৭. (2) সমীকরণে u এবং v এর মান বসিয়ে f হিসাব করা হয়।

বিকল্প কাজের ধারা : মোমবাতি পদ্ধতি

১. একটি আলোক বেঞ্চ নিয়ে এর মাঝামাঝি একটি স্ট্যান্ডের সাথে উত্তল লেন্সটি এমনভাবে আটকানো হয় যেন উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষ অনুভূমিক থাকে। অপর একটি স্ট্যান্ডের উপর একটি মোমবাতি আটকিয়ে আলোক বেঞ্চে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন জ্বলন্ত মোমবাতির শিখা লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে। মোমবাতির শিখাই হবে লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬.২৩]।

২. অন্য একটি স্ট্যান্ডের সাথে একটি পর্দা (সাদা কাগজ বা কাপড় বা বোর্ড) আটকিয়ে আলোক বেঞ্চের উপর লেন্সের পেছনে রাখা হয়।



চিত্র : ৬.২৩

৩. এবার মোমবাতি ও পর্দাকে সামনে পেছনে নাড়াচাড়া করে এমনভাবে সমন্বয় কর যেন পর্দার উপর মোমবাতির শিখার প্রায় সমান আকৃতির একটি উজ্জ্বল ও উল্টো বিম্ব পড়ে।

৪. পর্দার যে অবস্থানে এর উপর বিম্বটি সবচেয়ে স্পষ্ট ও উজ্জ্বল হবে সেটিই হবে বিম্বের অবস্থান। এই অবস্থান থেকে পর্দাকে সামান্য একটু সামনে বা পেছনে সরালেই বিম্ব আর আগের মত স্পষ্ট ও উজ্জ্বল থাকবে না।

৫. এবার মোমবাতি তথা লক্ষ্যবস্তুকে আরো সামনে এগিয়ে আনা হয়। এতে পর্দায় বিম্ব অস্পষ্ট হয়ে যায়। পর্দা পেছনে সরালে বিম্ব স্পষ্ট ও বড় হয়। মোমবাতিকে আরো সামনে সরালে বিম্ব আরো পেছনে সৃষ্টি হয়। লেন্স থেকে মোমবাতির সবচেয়ে কাছের যে অবস্থানের জন্য পর্দায় সবচেয়ে স্পষ্ট ও বিবর্ধিত বিম্ব পাওয়া যায় তা নির্ণয় করা হয়।

৬. আলোক বেঞ্চ থেকে লেন্স, লক্ষ্যবস্তুর (মোমবাতি) অবস্থান এবং বিম্বের (পর্দা) অবস্থানের পাঠ যথাক্রমে x, y, z দেখে নেওয়া হয়।

৭. লক্ষ্যবস্তুর অবস্থান ও লেন্সের অবস্থানের পার্থক্যই লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u এবং বিম্বের অবস্থান এবং লেন্সের অবস্থানের পার্থক্যই বিম্বের দূরত্ব v।

৮. এবার মোমবাতি তথা লক্ষ্যবস্তুকে একটু পেছনে সরিয়ে দেওয়া হয়। এতে পর্দায় বিম্ব অস্পষ্ট হয়ে যায়। এরপর পর্দাকে সামনে এগিয়ে পুনরায় পর্দায় স্পষ্ট ও উজ্জ্বল বিম্ব গঠন করা হয়। এখন আবার আলোক বেঞ্চ থেকে লেন্স মোমবাতি এবং পর্দার অবস্থান দেখে নেয়া হয়।

৯. এভাবে মোমবাতি তথা লক্ষ্যবস্তুকে পেছনে সরিয়ে আলোক বেঞ্চের প্রায় প্রান্ত পর্যন্ত অনেকগুলো অবস্থানে রেখে উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় (কাজের ধারা ৮) প্রতিক্ষেত্রে u এবং v এর মান নির্ণয় করা হয়।

১০. (2) সমীকরণে u এবং v এর মান বসিয়ে f হিসাব করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন

উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আলোক বেঞ্চে অবস্থান			দূরত্ব		ফোকাস দূরত্ব $f=\frac{uv}{u+v}$ cm	গড় ফোকাস দূরত্ব f cm	ক্ষমতা $P=\frac{1}{f}$ D
	লেন্সের অবস্থান x cm	লক্ষ্যবস্তুর অবস্থান y cm	বিম্বের অবস্থান z cm	লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $u=x\sim y$ cm	বিম্বের দূরত্ব $v=x\sim z$ cm			
1								
2								
3								
4								
5								

হিসাব : $f=\frac{uv}{u+v}$ = ...

ফলাফল : প্রদত্ত উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, f = ... m

প্রদত্ত উত্তল লেন্সের ক্ষমতা, $P=\frac{1}{f}$ = ... ডাইঅপ্টার (D)

সতর্কতা :

পিন পদ্ধতির ক্ষেত্রে :

১. পিন দুটির শীর্ষ এবং লেন্সের প্রধান অক্ষ একই সরলরেখায় রাখা হয়।

২. বস্তুর ও বিম্বের মধ্যবর্তী দূরত্ব লেন্সের ফোকাস দূরত্বের কমপক্ষে চারগুণ নেয়া হয়।

৩. লম্বন ত্রুটি পরিহার করে পাঠ নেয়া হয়।

৪. বিম্ব একটু দূর থেকে দেখতে হয়।

মোমবাতি পদ্ধতির ক্ষেত্রে :

১. লেন্সের আলোক কেন্দ্র ও মোমবাতির শিখার মধ্যবিন্দু একই সরলরেখায় রাখা হয়।

২. বিম্বের অবস্থান নির্ণয়ের সময় লক্ষ রাখা হয় যে পর্দায় সৃষ্ট বিম্ব যেন সবচেয়ে উজ্জ্বল ও স্পষ্ট হয়।

সার-সংক্ষেপ

আলোকপথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোকপথ বলতে বোঝায় ঐ নির্দিষ্ট সময়ে আলোকরশ্মি শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতিক্রম করে।

আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য।

ফার্মাটের নীতি : আলোক রশ্মি এক বিন্দু থেকে প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর আর এক বিন্দুতে যেতে যে পথ অনুসরণ করে তা হবে চরম বা অবম দৈর্ঘ্যের পথ বা স্থির দৈর্ঘ্যের পথ এবং এই পথ অতিক্রম করতে সর্বাপেক্ষা অধিক অথবা কম সময় লাগবে।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ : যে যন্ত্রের সাহায্যে চোখের নিকটবর্তী ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা মাইক্রোস্কোপ বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা টেলিস্কোপ : যে যন্ত্রের সাহায্যে বহু দূরের বস্তু পরিষ্কারভাবে দেখা যায় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বা টেলিস্কোপ বলে।

প্রিজম : দুটি হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

আলোর বিচ্ছুরণ : কোনো মাধ্যমে প্রতিসরণের ফলে যৌগিক আলো থেকে মূল বর্ণের আলো পাওয়ার পদ্ধতিকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

বর্ণালি : কোনো মাধমে প্রতিসরণের ফলে যৌগিক আলোর বিচ্ছুরণের জন্য মূল রংগুলোর যে পটি পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।

বিভিন্ন বর্ণের আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতার জন্য বর্ণালি উৎপন্ন হয়।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। 1.6 প্রতিসরাঙ্কের একটি সমতলোত্তল লেন্সের বক্র পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 60cm। এর ফোকাস দূরত্ব কত?

(ক) 50cm ○ (খ) 100cm ○
(গ) 200 cm ○ (ঘ) 96cm ○

২। কোনো অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধন যথাক্রমে m_1 ও m_2 হলে এর মোট বিবর্ধন কত হবে?

(ক) $M = m_1 \times m_2$ ○ (খ) $M = m_1 + m_2$ ○
(গ) $M = \frac{m_1}{m_2}$ ○ (ঘ) কোনোটিই নয় ○

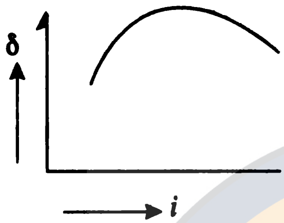
৩। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানের জন্য কোনটি সঠিক?

(ক) আপতন কোণ > নির্গমন কোণ ○ (খ) আপতন কোণ < নির্গমন কোণ ○
(গ) আপতন কোণ = নির্গমন কোণ ○ (ঘ) আপতন কোণ = প্রতিসরণ কোণ ○

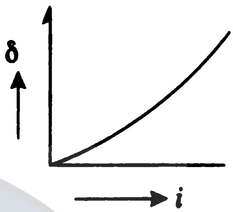
৪। দুটি হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে কী বলে?
(ক) লেন্স ○ (খ) দর্পণ ○
(গ) প্রিজম ○ (ঘ) বাইনোকুলার ○

৫। একটি সমবাহু প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত?
(ক) 45° ○ (খ) 40° ○
(গ) 30° ○ (ঘ) এর কোনোটি নয় ○

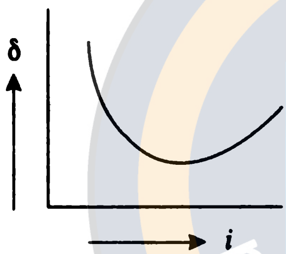
৬। নিচের মানের আপতন কোণ i-এর জন্য একটি প্রিজমের বিচ্যুতি কোণ δ পরিমাপ করা হলো। নিচের কোন লেখচিত্রটি i-এর সাথে δ -এর পরিবর্তন নির্দেশ করবে?

(ক) 

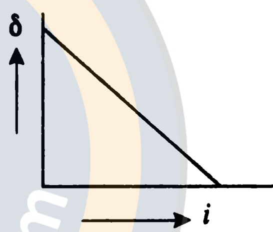
○

(খ) 

○

(গ) 

○

(ঘ) 

○

৭। কোনো মাইক্রোস্কোপের নলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে বিবর্ধনের কী ঘটবে?
(ক) বৃদ্ধি পাবে ○ (খ) হ্রাস পাবে ○
(গ) কোনো পরিবর্তন হবে না ○ (ঘ) উভয়ই ঘটতে পারে ○

৮। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা হচ্ছে—

(i) $M = \left(1 - \frac{v_1}{f_o}\right)\left(1 - \frac{v_L}{f_e}\right)$

(ii) $M = -\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$

(iii) $M = -\frac{v_1}{u_1}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$

নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○ (গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৯। তিনটি বিবৃতি দেওয়া হলো—
(i) কোনো আলোক রশ্মি যখন প্রতিসরণের সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।
(ii) অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব এবং অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্বের অনুপাতই হচ্ছে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন।
(iii) কোনো মাধ্যমে প্রতিসরণের ফলে যৌগিক আলো থেকে মূল বর্ণের আলো পাওয়ার পদ্ধতিকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

pdfcorner.com

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (খ) ২. (ক) ৩.(গ) ৪. (গ) ৫. (গ) (৬) (গ) ৭. (ক) ৮. (গ) ৯. (গ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। দুটি হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে। লেন্সের মধ্য দিয়ে যৌগিক বর্ণের আলোক রশ্মি প্রতিসরিত হলে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে।

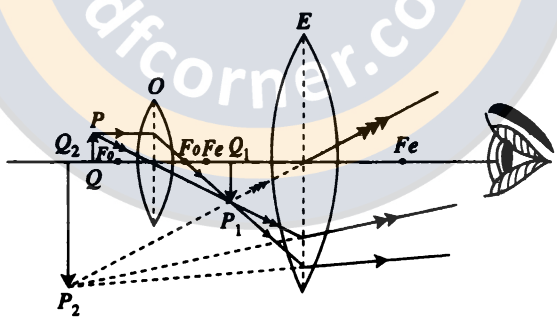
(ক) প্রিজমের প্রতিসারক কোণ কাকে বলে?

(খ) একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ অঙ্কন করে আপতিত রশ্মির গতিপথ দেখাও।

(গ) বর্ণালি কাকে বলে? বর্ণালি উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও যে, একটি নির্দিষ্ট প্রিজমে বিচ্যুতির পরিমাণ আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে।

২। নিচের চিত্রটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) বিবর্ধন কাকে বলে?

(খ) চিত্রটির বর্ণনা দাও।

(গ) একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.02 m এবং 0.05 m। নলের দৈর্ঘ্য 0.16 m। অভিলক্ষের সামনে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0.20 m দূরে বিম্ব গঠিত হবে।

(ঘ) একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের খুব নিকটে একটি বস্তু রেখে চোখের নিকট বিন্দুতে তার একটি বিম্ব গঠন করা হলো। যে রাশিমালা দিয়ে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় কতগুণ বড় হবে জানা যায় সেটি প্রতিপাদন কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। লেন্স তৈরির সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

২। লেন্সের ক্ষেত্রে প্রমাণ কর যে, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$.

৩। পরিষ্কার রশ্মিচিত্র অঙ্কন করে একটি যৌগিক অণুবীক্ষণযন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা নির্ণয় কর।

৪। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কীভাবে বাড়ানো যায়?

৫। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ কী?

৬। একটি রিফ্রেক্টিং টেলিস্কোপের গঠন ও কার্যপ্রণালি বর্ণনা কর।

৭। রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের অভিলক্ষ্য হিসেবে কী ব্যবহার করা হয়? এর সুবিধা কী?

৮। দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন কীভাবে মাপা হয়?

৯। চিত্রসহ প্রিজমে আলোকরশ্মির প্রতিসরণ বর্ণনা কর।

১০। আলোর বিচ্ছুরণ কাকে বলে?

১১। বর্ণালি কী?

১২। আলোর বিচ্ছুরণ কাকে বলে? বর্ণালি কী? বর্ণালি উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। কাচ দ্বারা তৈরি একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হলে দেখাও যে, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান।

২। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 10 cm এবং 20 cm। এর ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বের কর। [উ: 1.33]

৩। একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm ও 60 cm। লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রাখলে 200 cm পেছনে বিম্ব সৃষ্টি হয়। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বের কর। [উ: 1.5]

৪। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm এবং 20 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। [উ: -24 cm]

৫। একটি উত্তল লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 এবং বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 12 cm ও 18 cm। এর ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [উ: 14.4 cm]

৬। একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ 10 cm এবং 15 cm। লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হলে এর ফোকাস দূরত্ব কত? [উ: 12 cm]

৭। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0.15 m। স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব 0.25 m হলে ঐ যন্ত্রের বিবর্ধন বের কর। [উ: 2.67]

৮। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 5 cm এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। যদি শেষ বিম্বটি অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে গঠিত হয়, তবে অভিলক্ষ্য হতে কত দূরে বস্তু স্থাপন করতে হবে? [উ: 1.067 cm]

৯। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.02 m এবং 0.05 m নলের দৈর্ঘ্য 0.16 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0.20 m দূরে বিম্ব গঠিত হবে? [উ : 0.024 m]

১০। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 5 cm। অভিলক্ষ্য থেকে 11 mm দূরে একটি বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 25 cm দূরে এর বিম্ব সৃষ্টি হয়। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত? [উ: 15.17 cm]

১১। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm ও 2 cm। চূড়ান্ত বিম্ব অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে সৃষ্টি হলে লেন্সদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm হয়। যন্ত্রের বিবর্ধক ক্ষমতা কত? [উ: – 231.5]

১২। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.02 m এবং 0.05 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.16 m। অভিলক্ষ্যের সামনে 0.024 m দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে কত দূরে বিম্ব গঠিত হবে? [উ: – 0.2 m]

১৩। প্রিজম কোণ 60° এবং প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে তার ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর। [উ: 30°]

১৪। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.48। ন্যূনতম বিচ্যুতিকোণ নির্ণয় কর। [উ: 35.46°]

১৫। একটি প্রিজমকে ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করে আপতন কোণের মান 40° পাওয়া যায়। প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হলে প্রিজম কোণ কত? [উ: 50.75°]

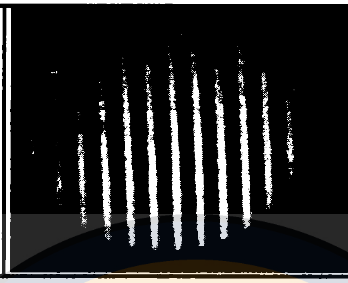
১৬। বেগুনি, লাল ও মধ্যবর্ণ হলুদের জন্য এক প্রকার ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.56, 1.48, 31.52। বেগুনি ও লালের মধ্যে ঐ কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ : 0.154]

pdfcorner.com

সপ্তম অধ্যায়

ভৌত আলোকবিজ্ঞান

PHYSICAL OPTICS



১৮৬০ সালে বিজ্ঞানী **ম্যাক্সওয়েল** তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ তত্ত্বের অবতারণা করেন। তিনি আলোর দ্রুতিতে সঞ্চালনকারী তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের অস্তিত্বের ভবিষ্যদ্বাণী করেন। তাঁর ভবিষ্যদ্বাণীকে ১৮৮৭ সালে বিজ্ঞানী **হেনরিখ হার্জ** পরীক্ষামূলকভাবে নিশ্চিত করেন। হার্জ সর্বপ্রথম তড়িৎ উৎস থেকে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ উৎপাদন ও তা উদ্ঘাটনে সক্ষম হন। এই আবিষ্কার রেডিও, টেলিভিশন ও রাডার যোগাযোগ ব্যবস্থার দিকে বিজ্ঞানীদের পরিচালিত করে। আসলে ম্যাক্সওয়েল আলো ও তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গকে এই ধারণা বিকাশের মাধ্যমে একীভূত করেন এবং বলেন যে, **আলো এক ধরনের তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণ**। ম্যাক্সওয়েলের প্রায় শ দুয়েক বছর আগে ১৬৭৮ সালে **হাইগেন্স** আলোর তরঙ্গতত্ত্ব প্রদান করেন। তরঙ্গতত্ত্বের ওপর ভিত্তি করে আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি আলোকীয় ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হয়।

প্রধান শব্দসমূহ :
তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ, তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি, দৃশ্যমান আলো, অবলোহিত বিকিরণ, বেতার তরঙ্গ, অতি বেগুনি বিকিরণ, এক্স রে, গামা রে, তরঙ্গ মুখ, হাইগেন্সের নীতি, ব্যতিচার, সুসঙ্গত উৎস, গঠনমূলক ব্যতিচার, ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার, অপবর্তন, ফ্রেনেল শ্রেণির অপবর্তন, ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন, সমবর্তন।

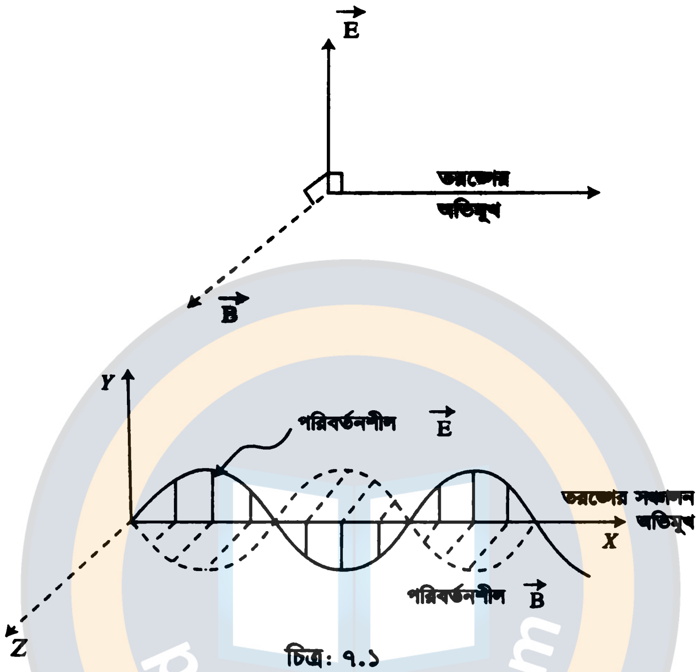
এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখন ফল	অনুচ্ছেদ
১	তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.১
২	আলো তরঙ্গ তাড়িতচৌম্বকীয় স্পেকট্রামের অংশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.২
৩	তরঙ্গমুখের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.৩
৪	তরঙ্গমুখ সৃষ্টিতে হাইগেন্সের নীতির ব্যবহার করতে পারবে।	৭.৪
৫	হাইগেন্সের নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।	৭.৫, ৭.৬
৬	আলোর ব্যতিচার ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.৭
৭	ইয়ং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.৮
৮	আলোর অপবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.৯
৯	আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৭.১০

pdfcorner.com

৭.১। তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ (Electromagnetic Wave)

আলো এক ধরনের তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণ। এই বিকিরণের সাথে দুটি ক্ষেত্র জড়িত। একটি হলো পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র এবং অপরটি পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র।



চিত্র: ৭.১

শূন্যস্থানে X-অক্ষ বরাবর আলো সঞ্চালনের সময় তড়িৎক্ষেত্রের জন্য যে তরঙ্গ সমীকরণ লেখা যেতে পারে তা হলো :

$$E = E_o \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.1)$$

এখানে E হলো t সময়ে x অবস্থানে সাইনসদৃশভাবে পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র, c শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি এবং λ হলো তরঙ্গদৈর্ঘ্য। তড়িৎক্ষেত্র E রয়েছে YZ তলে [চিত্র ৭.১]। সুতরাং $\vec{E}$ আলো সঞ্চালন অভিমুখের সাথে লম্ব এবং E_o হলো তড়িৎক্ষেত্রের বিস্তার বা শীর্ষ মান। আলো সঞ্চালনের সময় তড়িৎক্ষেত্রের সাথে থাকে সাইনসদৃশভাবে পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র B। চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর সঞ্চালনের অভিমুখ তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এর অভিমুখের সাথে লম্ব। চৌম্বকক্ষেত্র B এর জন্য তরঙ্গ সমীকরণটি হলো :

$$B = B_o \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x) \quad (7.2)$$

এখানে B_o হলো চৌম্বকক্ষেত্রের বিস্তার বা শীর্ষ মান।

তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের এরকম পরস্পর লম্ব সমবায়কে বলা হয় শূন্যস্থানে **তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ**।

তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ তড়িৎ আধানের ত্বরণ থেকে উৎপন্ন হয়। বিকীর্ণ তরঙ্গ গঠিত হয় তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধির মাধ্যমে। তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্র সর্বদাই পরস্পর সমকোণে থাকে। এছাড়া এগুলো সঞ্চালনের অভিমুখের সাথেও সমকোণে থাকে। সুতরাং **তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হলো আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ**।

ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্ব থেকে জানা যায় যে, তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের বিস্তার যথাক্রমে E_o ও B_o নিচের সম্পর্ক দ্বারা সম্পর্কিত।

pdfcorner.com

$$E_o = cB_o$$

বা, $$\frac{E_o}{B_o} = c \qquad (7.3)$$

যেখানে c আলোর দ্রুতি। এ সমীকরণকে $c = \frac{E}{B}$ হিসেবেও লেখা যায়।

এ ছাড়া ম্যাক্সওয়েল শূন্যস্থানে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের বেগকে নিচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করেন।

$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \epsilon_o}}$, এখানে μ_o হচ্ছে শূন্যস্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (permeability) এবং ϵ_o হচ্ছে শূন্যস্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা (permitivity)।

তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের কম্পনের ফলে সঞ্চালিত শক্তিকে তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণ বা তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ বলে। আমরা জানি যে, পরিবর্তনশীল চৌম্বক ফ্লাক্স তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং পরিবর্তনশীল তড়িৎ ফ্লাক্স চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এ থেকে বোঝা যায় যে, কোনো অঞ্চলে যদি তড়িৎ বা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, তাহলে সে অঞ্চলের বাইরে পারিপার্শ্বিক স্থানে আলোর দ্রুতিতে তাড়িতচৌম্বকীয় ক্ষেত্র সঞ্চালিত হবে। এরকম চলাচলকারী তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রকে বলা হয় তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণ বা তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ। সুতরাং **তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হলো কোনো স্থান দিয়ে আলোর দ্রুতিতে গতিশীল তড়িৎ ও চৌম্বক আলোড়ন।** এ তরঙ্গে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্র সর্বদা সমকোণে থাকে। উভয়ক্ষেত্র সঞ্চারণের অভিমুখের সাথে সমকোণে থাকে। এ তরঙ্গ তাই আড় তরঙ্গ। কয়েকটি তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের নাম হলো বেতার তরঙ্গ (radio wave), মাইক্রো তরঙ্গ (micro wave), অবলোহিত তরঙ্গ (infrared wave), দৃশ্যমান আলো (visible light), অতি বেগুনি বিকিরণ (ultraviolet radiation), এক্সরে (x-ray) ও গামারশ্মি (gamma ray)।

শূন্যস্থান দিয়ে আলোর দ্রুতিতে গতিশীল তড়িৎ ও চৌম্বক আলোড়ন, যাতে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্র পরস্পর লম্ব এবং এরা উভয়ে তরঙ্গ সঞ্চালন অভিমুখের সাথে লম্ব থাকে তাকে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ বলে।

৭.২। তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি বা স্পেক্ট্রাম (Electromagnetic Spectrum)

তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণে অন্তর্ভুক্ত রয়েছে দৃশ্যমান আলো, অবলোহিত বিকিরণ, বেতার তরঙ্গ, অতিবেগুনি বিকিরণ, এক্সরে ও গামারশ্মি। এসব বিকিরণ যে বর্ণালির সৃষ্টি করে তাকে **তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি** বলা হয়।

দৃশ্যমান আলো : এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 7.80×10^{-7}m থেকে 3.80×10^{-7}m। এটি বিকিরণের একটি ক্ষুদ্র পটি বা ব্যান্ড (band) যার মধ্যে রয়েছে লাল থেকে বেগুনি আলো। দৃশ্যমান আলো কোনো অগ্নিশিখা বা ভাস্বর বস্তু থেকে উৎপন্ন হয় এবং মানব চক্ষু, ফটোগ্রাফিক ফিল্ম ও ফটোইলেকট্রিক সেল দ্বারা উদ্‌ঘাটিত হয়।

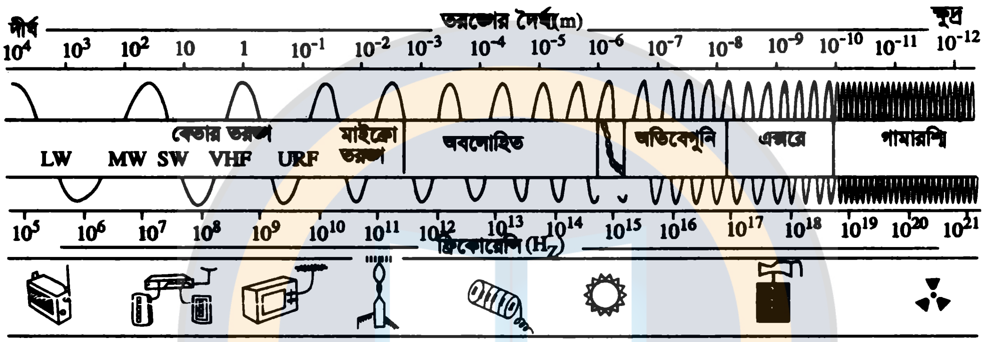
অবলোহিত বিকিরণ : এই বিকিরণ 10^{-6} m থেকে 10^{-8} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লায় একটি বিকিরণ ব্যান্ড। এ ধরনের বিকিরণ উত্তপ্ত বস্তু যেমন সূর্য, তড়িৎশিখা ও তড়িৎচুল্লি থেকে উৎপন্ন হয়। এ বিকিরণকে থার্মোপাইল (thermopine), ফটোট্রানজিস্টর ইত্যাদি দ্বারা উদ্‌ঘাটন করা যায়। এই বিকিরণ প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র মেনে চলে। এর ব্যতিচার ও সমবর্তন (polarization) ঘটে। কোনো বস্তুতে পতিত হলে বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এর বেগ আলোর বেগের সমান। এ বিকিরণ সৌরচুল্লি ও সৌর হিটারে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া আবহাওয়ার পূর্বাভাস দিতে, কুয়াশার মধ্যে ছবি তুলতে, ফলকে শুষ্ক করতে, মাংসপেশির ব্যথা বা টান এর চিকিৎসায় এ রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

বেতার তরঙ্গ : তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণের মধ্যে যাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 10^{-2} m থেকে 5×10^{4} m তাদের বলা হয় বেতার তরঙ্গ। বেতার তরঙ্গকে আবার কয়েকটি উপবিভাগে ভাগ করা যায়। এরা হলো মাইক্রোওয়েভ বা মাইক্রোতরঙ্গ; রাডার তরঙ্গ ও টেলিভিশন তরঙ্গ।

বেতার তরঙ্গ উৎপাদিত হয় তড়িৎ স্পন্দনের মাধ্যমে। সাধারণ কোনো অ্যারিয়েল বা অ্যানটেনা দ্বারা ইলেকট্রনকে স্পন্দিত করে বেতার তরঙ্গ উৎপাদন করা হয়। দূরবর্তী স্থানে শব্দ বা ছবি প্রেরণের জন্য এ বেতার তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়।

অ্যানটেনা দ্বারা বিকীর্ণ যে তড়িৎশক্তি শূন্যস্থানে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হিসেবে থাকে তাকে বলা হয় বেতার তরঙ্গ।

এ তরঙ্গের শক্তি তড়িৎ ও চৌম্বক এ দুই ক্ষেত্রের মধ্যে সমানভাবে বণ্টিত থাকে। মধ্যম ও দীর্ঘ তরঙ্গের পথে বাধা থাকলেও অপবর্তনের মাধ্যমে তাদের পথের বাধা (পাহাড়-পর্বত) পেরিয়ে যেতে পারে। ফলে ট্রানজিস্টর ও রেডিও সিগন্যাল প্রেরক অ্যানটেনা থেকে গ্রাহক যন্ত্রে পৌছায়। এছাড়া পৃথিবীর উর্ধ্ব বায়ুমণ্ডলের আধানযুক্ত কণিকার স্তর দ্বারা মধ্যম ও দীর্ঘ বেতার তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়। ভূ-পৃষ্ঠের বাঁক থাকা সত্ত্বেও দূরবর্তী স্থানে এ ধরনের তরঙ্গ সঞ্চালিত হতে পারে। টেলিভিশন (VHF ও UHF) তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতর। এরা উর্ধ্ব বায়ুমণ্ডলের স্তর থেকে প্রতিফলিত হয় না এবং কোনো উঁচু বাধা (যেমন পাহাড়-পর্বত) দ্বারা খুব সামান্যই পরিবর্তিত হয়। গ্রাহকযন্ত্রে উত্তম সিগন্যাল পেতে হলে এই ধরনের তরঙ্গের জন্য প্রেরক অ্যানটেনা থেকে গ্রাহক (টিভি) অ্যারিয়েল পর্যন্ত ভ্রমণ-পথ সরলরেখা হওয়া উচিত।



চিত্র ৭.২ : বিভিন্ন ধরনের তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণ।

এ জন্য দূরবর্তী স্থানে টেলিভিশন তরঙ্গ কৃত্রিম উপগ্রহ বা (স্যাটেলাইট)-এর মাধ্যমে রিলে (relay) করা হয়।

অতি বেগুনি বিকিরণ : নাম থেকেই বোঝা যায় যে, তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালির দৃশ্যমান আলোর বেগুনি প্রান্ত ছাড়িয়ে এ বিকিরণের অবস্থান। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-7} m থেকে 5×10^{-9} m। কার্বন-আর্ক-ল্যাম্প, উত্তপ্ত বস্তু ও সূর্য থেকে এই বিকিরণের উৎপত্তি হয়। এই বিকিরণকে ফটোগ্রাফিক প্লেট ও প্রতিপ্রভা দ্বারা উদ্‌ঘাটন করা যায়। এই বিকিরণ প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র মেনে চলে। এর ব্যতিচার ও সমবর্তন ঘটে। কোনো বস্তুতে পতিত হলে তা থেকে ফটোইলেক্ট্রন নির্গত হয়। কোনো পদার্থে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

চুরি নিরোধক অ্যালার্ম, স্বয়ংক্রিয়ভাবে দরজা খোলার যন্ত্র ও কাউন্টারে এ বিকিরণ ব্যবহৃত হয়। এ ছাড়া আসল হীরা ও নকল ব্যাংক নোট উদ্‌ঘাটনে অতি বেগুনি বিকিরণ ব্যবহৃত হয়। শল্য চিকিৎসায় যন্ত্রপাতি জীবাণুমুক্ত করতে এ বিকিরণ ব্যবহৃত হয়।

এক্স-রে (X-ray) : এক্স-রে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-8} m থেকে 5×10^{-15} m-এর মধ্যে। সুতরাং এর এক প্রান্ত অতি বেগুনি বিকিরণ ও অপর প্রান্ত গামা রশ্মির পাল্লার ওপর উপরিলেপিত হয়। অত্যন্ত দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রনকে কোনো ভারী ধাতব বস্তু দ্বারা থামিয়ে দিলে এক্স-রে উৎপন্ন হয়। একে ফটোগ্রাফিক প্লেট বা ফিল্ম দ্বারা উদ্‌ঘাটন করা যায়। এছাড়া ধাতুতে তাড়িতচৌম্বকীয় প্রভাব তৈরি করে এবং গ্যাসে আয়নায়ন সৃষ্টি করে এক্স-রে উদ্‌ঘাটন করা যায়। ভাঙা হাড় ও দেহের অভ্যন্তরস্থ কোনো অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের ছবি তুলতে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া দেহের ক্ষতিকারক সেল টিউমার ধ্বংস করতে ব্যবহৃত হয়। কোনো ধাতব যন্ত্রের কোথাও কোনো ফাটল আছে কিনা তা শনাক্ত করতেও এক্স-রে ব্যবহৃত হয়।

গামা-রে (Gamma rays) : এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-11} m থেকে 5×10^{-15} m বা এর চেয়েও কম। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দিক দিয়ে এটি এক্স-রের অঞ্চলে উপরিলেপিত হয়। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে এ রশ্মি নির্গত

হয়। ফটোগ্রাফিক প্লেট ও গাইগার মূলার কাউন্টার দিয়ে এ রশ্মি উদ্‌ঘাটন করা যায়। মানবদেহে ক্যান্সার আক্রান্ত কোষকে ধ্বংস করতে এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

দৃশ্যমান আলোর বর্ণালি

সূর্যের সাদা আলোর বর্ণালিতে রয়েছে বেগুনি, নীল, আসমানী, সবুজ, হলুদ, কমলা ও লাল রঙের সাতটি আলো। রংগুলোর নাম ও ক্রম সহজে মনে রাখার জন্য এদের নামের আদ্যাক্ষরগুলো নিয়ে ইংরেজিতে **VIBGYOR** ও বাংলা বেনীআসহকলা শব্দ গঠন করা হয়। এই রংগুলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা নিচে দেয়া হলো :

বেগুনি	:	3.80×10^{-7}m থেকে 4.25×10^{-7}m
নীল	:	4.25×10^{-7}m থেকে 4.45×10^{-7}m
আসমানী	:	4.45×10^{-7}m থেকে 5.00×10^{-7}m
সবুজ	:	5.00×10^{-7}m থেকে 5.75×10^{-7}m
হলুদ	:	5.75×10^{-7}m থেকে 5.85×10^{-7}m
কমলা	:	5.85×10^{-7}m থেকে 6.20×10^{-7}m
লাল	:	6.20×10^{-7}m থেকে 7.80×10^{-7}m

গাণিতিক উদাহরণ ৭.১। একটি কার্বন ডাই-অক্সাইড লেজার X-অভিমুখে ভ্যাকুয়ামে সাইনসদৃশ তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ নিঃসরণ করছে। এই তরঙ্গের সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্র E_o হলো 1.5 MVm^{-1}। এর সর্বোচ্চ চৌম্বকক্ষেত্র কত?

আমরা জানি যে,

$$B_o = \frac{E_o}{c}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^6 \text{ Vm}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}$$

$$= 5.0 \times 10^{-3} \text{ T}$$

উ: 5.0×10^{-3} T

এখানে,

সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্র, $E_o = 1.5$ MV m^{-1}

$= 1.5 \times 10^6$ Vm^{-1}

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

সর্বোচ্চ চৌম্বকক্ষেত্র, $B_o = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৭.২। একটি তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ 25 MHz কম্পাঙ্কসহ মুক্ত স্থানে Z-অক্ষ বরাবর সঞ্চালিত হচ্ছে। কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে এর তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E} = 5\hat{i}$ Vm^{-1} হলে, ঐ বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মান কত?

আমরা জানি যে,

$$B = \frac{E}{c}$$

$$B = \frac{5 \text{ V m}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 1.67 \times 10^{-8} \text{ T}$$

উ: 1.67×10^{-8} T

এখানে,

তড়িৎক্ষেত্রের মান, $E = 5$ V m^{-1}

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

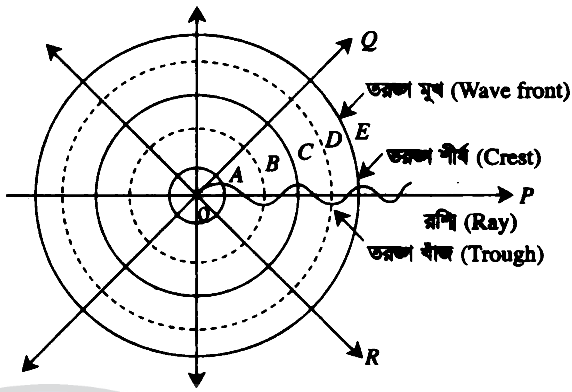
চৌম্বকক্ষেত্রের মান, $B = ?$

৭.৩। তরঙ্গ ও তরঙ্গমুখ (Wave and Wave front)

যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলন কোনো জড় মাধ্যমের একস্থান থেকে অন্যস্থানে শক্তি সঞ্চারিত করে কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলোকে স্থানান্তরিত করে না তাকে তরঙ্গ বলে। কোনো তরঙ্গের ওপর অবস্থিত সমদশা সম্পন্ন কণাগুলোর গতিপথ (Locus) -কে তরঙ্গমুখ বলে।

pdfcorner.com

কোনো তরঙ্গের বেগ v হলে t সময়ে তরঙ্গ vt দূরত্ব অতিক্রম করে। কোনো বিন্দু উৎসকে কেন্দ্র করে vt ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করলে এই গোলক পৃষ্ঠ t সময়ের তরঙ্গমুখ নির্দেশ করে। এ t সময়ে গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি কম্পমান কণা একই দশায় থাকে। সুতরাং যে কোনো সময় তরঙ্গমুখ সেই তল নির্দেশ করে যে তলে কণাসমূহ একই দশায় কম্পমান থাকে। সময়ের সাথে সাথে তরঙ্গমুখসমূহ সমান্তরালভাবে অগ্রসর হয় (চিত্র ৭.৩-এ A, B, C, D, E)। তরঙ্গমুখের সাথে সমকোণে অঙ্কিত সরলরেখা ঐ তরঙ্গ যে শক্তি সঞ্চারণ করে সেই শক্তি সঞ্চারণের দিক নির্দেশ করে। ৭.৩ চিত্রে আলোক উৎস O থেকে A, B, C বা D তরঙ্গমুখের সমকোণে অঙ্কিত OP, OQ, OR প্রভৃতি রেখা বিভিন্ন দিকে আলোক সঞ্চারণের দিক নির্দেশ করে। এদের আলোক রশ্মি বলে। আলোক রশ্মি তরঙ্গমুখের সাথে সমকোণে থাকে। তরঙ্গমুখ যে সর্বদা গোলীয় হবে এমন কোনো কথা নেই। কোনো বিন্দু উৎস থেকে সমসত্ত্ব মাধ্যমে অল্প দূরত্বে তরঙ্গমুখ গোলীয় হবে। বহু দূরবর্তী কোনো উৎস থেকে আগত তরঙ্গমুখের বক্রতা এত সামান্য যে এর অংশবিশেষকে সমতল ধরা যায়। যে কারণে সূর্যের আলোর তরঙ্গমুখকে সমতল বিবেচনা করা যায়।

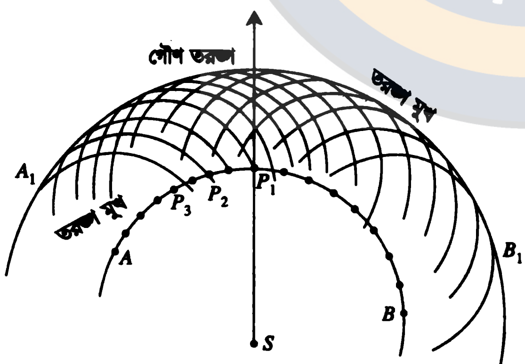


চিত্র : ৭.৩

সুতরাং একগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী আলোক রশ্মির তরঙ্গমুখ গোলীয় এবং সমান্তরাল আলোক রশ্মির তরঙ্গমুখ সমতল হবে।

৭.৪। হাইগেন্‌সের নীতি (Huygens' Principle)

বিবৃতি : *কোনো তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু এক একটি অণুতরঙ্গের (Wavelet) বা গৌণ তরঙ্গের (Secondary wave) উৎস হিসেবে গণ্য হয়। ঐ অণুতরঙ্গগুলো মূল তরঙ্গের সমান বেগ নিয়ে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো মুহূর্তে এই অণুতরঙ্গগুলোকে স্পর্শ করে যে সাধারণ স্পর্শক তল পাওয়া যায় তাই ঐ সময়ে নতুন তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্দেশ করে।*



চিত্র : ৭.৪

ধরা যাক, S আলোক উৎস থেকে চারদিকে আলোক তরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ছে [চিত্র ৭.৪]। কোনো এক সময় AB হচ্ছে তরঙ্গমুখের অবস্থান। এখন সময়ের সাথে সাথে তরঙ্গমুখ সামনের দিকে অগ্রসর হয়। t সময় পরে তরঙ্গমুখের অবস্থান কোথায় হবে তা হাইগেন্‌সের নীতির সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। হাইগেন্‌সের নীতি অনুযায়ী তরঙ্গমুখে অবস্থিত প্রত্যেকটি কণাকে গৌণ উৎস (secondary source) বলে ধরা হয় এবং ঐ কণাগুলো থেকে অণুতরঙ্গ বা গৌণতরঙ্গসমূহ (secondary waves) নির্গত হয়ে চারদিকে একই বেগে ছড়িয়ে পড়ে। সুতরাং t

pdfcorner.com

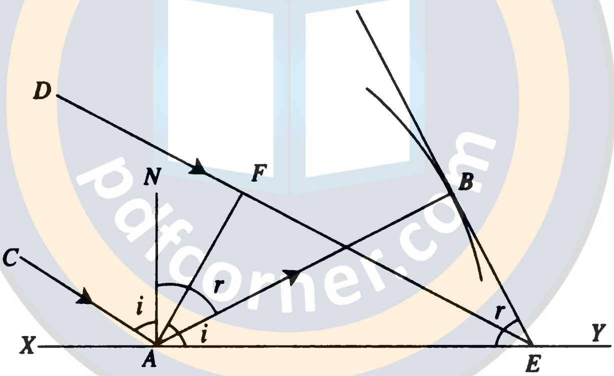
সেকেন্ড পরে তরঙ্গমুখের অবস্থান বের করার জন্য AB তরঙ্গমুখের ওপর P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি কণা নেওয়া হয়। এখন আলোর বেগ c হলে প্রত্যেক কণাকে কেন্দ্র করে ct ব্যাসার্ধের ছোট ছোট গোলক কল্পনা করা হয়। ঐ গোলকগুলোই হবে P_1, P_2 প্রভৃতি গৌণ উৎস থেকে সৃষ্ট গৌণ তরঙ্গের অবস্থান। তখন ঐ ছোট গোলকগুলোকে স্পর্শ করে যে গোলীয় তল A_1B_1 পাওয়া যায় তাই হচ্ছে t সেকেন্ড পরে অগ্রসরমান তরঙ্গমুখের অবস্থান।

৭.৫। হাইগেন্‌সের নীতি ও আলোর প্রতিফলন
Huygens' Principle and Reflection of light

ধরা যাক, AF একটি সমতল তরঙ্গমুখ XY প্রতিফলক তলের উপর তির্যকভাবে আপতিত হয় [চিত্র ৭.৫। AF-এর ওপর অঙ্কিত লম্বগুলো আলোকরশ্মি নির্দেশ করে। এখন হাইগেন্‌সের নীতি অনুসারে AF-এর উপরস্থ প্রত্যেকটি বিন্দু পর্যায়ক্রমে XY তলে পৌঁছে সুতরাং এগুলো গৌণ উৎসের কেন্দ্র হিসেবে কাজ করে। ধরা যাক, আলোক তরঙ্গকে c বেগে F থেকে E-তে পৌঁছতে t সেকেন্ড সময় লাগে। সুতরাং যে সময়ে আলোক তরঙ্গ F থেকে E-তে পৌঁছে সেই একই সময়ে A বিন্দু থেকে তরঙ্গ একই মাধ্যমে $AB\ (= ct)$ দূরত্ব অতিক্রম করে। এখন A-কে কেন্দ্র করে $EF(=ct)$ এর সমান ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি বৃত্তাংশ অঙ্কন করে E থেকে বৃত্তাংশের উপর EB স্পর্শক টানা হয়। তাহলে EB হবে AF-এর প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ। AEB ও EFA সমকোণী ত্রিভুজদ্বয়ে $AB = FE = ct$ এবং AE সাধারণ বাহু।

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম।

সুতরাং $\angle AEB = \angle EAF$ ... ... (7.4)



চিত্র : ৭.৫

এখন A বিন্দুতে XY তলের ওপর NA লম্ব টানা হয়।

সুতরাং $\angle CAN + \angle NAF = \angle EAF + \angle NAF =$ এক সমকোণ।

$\therefore \angle CAN = \angle EAF = i$ (আপতন কোণ)

আবার, $\angle BAN + \angle BAE = \angle AEB + \angle BAE =$ এক সমকোণ।

$\therefore \angle BAN = \angle AEB = r$ (প্রতিফলন কোণ)

(7.4) সমীকরণ থেকে $\angle CAN = \angle AEB = \angle BAN$

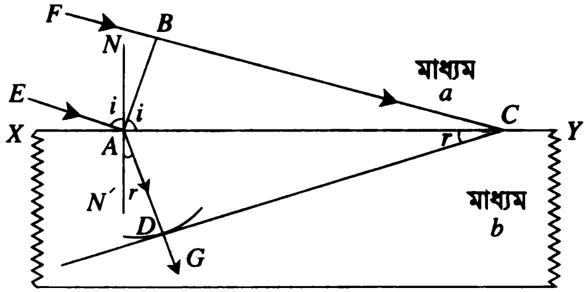
অর্থাৎ আপতন কোণ (i) = প্রতিফলন কোণ (r)। ... ... (7.5)

আবার আপতিত রশ্মি CA অভিলম্ব AN এবং প্রতিফলিত রশ্মি AB একই সমতলে অবস্থিত। সুতরাং হাইগেন্‌সের নীতির সাহায্যে প্রতিফলনের সূত্র প্রতিপাদিত হলো।

আবার যেহেতু আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মি কাগজের তলে অর্থাৎ একই সমতলে অবস্থান করে, সুতরাং প্রতিফলনের প্রথম সূত্রটিও প্রতিষ্ঠিত হয়।

৭.৬। হাইগেন্‌সের নীতি ও আলোর প্রতিসরণ
Huygens' Principle and Refraction of Light

ধরা যাক, XY হচ্ছে a ও b দুটি স্বচ্ছ মাধ্যমের বিভেদতল। ধরা যাক, AB একটি সমতল তরঙ্গমুখ a মাধ্যমে EA অভিমুখে c_1 বেগে চলছে। তরঙ্গমুখটি যখন XY বিভেদতলের A বিন্দুতে তির্যকভাবে পৌঁছে তখন সেখানকার ইথার কণাগুলো আন্দোলিত হয়। হাইগেন্‌সের নীতি অনুযায়ী সেগুলো গৌণ উৎস হিসেবে কাজ করে এবং তা থেকে উৎপন্ন গৌণ তরঙ্গ b মাধ্যমে প্রবেশ করে পরিবর্তিত বেগে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে [চিত্র ৭.৬]। এখন t সময়ে আলোক তরঙ্গ B থেকে একই মাধ্যমে a তে C বিন্দুতে পৌঁছে। সুতরাং $BC = c_1t$। এই একই সময়ে A থেকে আলোক রশ্মি b মাধ্যমে D-তে পৌঁছলে $AD = c_2t$ হয়। এখানে c_2 হলো b মাধ্যমে আলোর বেগ। এখন A কে কেন্দ্র করে c_2t সমান ব্যাসার্ধের বৃত্তচাপ অঙ্কন করে C থেকে CD স্পর্শক টানলে তা প্রতিসরিত তরঙ্গমুখ নির্দেশ করে যা AG বরাবর অগ্রসর হয়। সুতরাং CD তরঙ্গমুখের ওপর লম্ব AG প্রতিসরিত রশ্মি এবং EA আপতিত রশ্মি নির্দেশ করে।



চিত্র : ৭.৬

এখন আপতিত তরঙ্গমুখ AB ও প্রতিসরিত তরঙ্গমুখ CD প্রতিসরণ তল XY-এর সাথে যথাক্রমে $\angle BAC$ এবং $\angle ACD$ উৎপন্ন করে।

এখন EA, AB তলের উপর এবং NA, AC তলের ওপর লম্ব। সুতরাং $\angle EAN + \angle NAB = \angle BAC + \angle NAB$ = এক সমকোণ।

$\therefore \angle EAN = \angle BAC = i$ (আপতন কোণ) আবার, $\angle DAN' + \angle DAC = \angle ACD + \angle DAC$ = এক সমকোণ

$\therefore \angle DAN' = \angle ACD = r$ (প্রতিসরণ কোণ)।

$\because AN'$ ও AD যথাক্রমে AC ও DC-এর ওপর লম্ব।

এখন,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin EAN}{\sin DAN'}$$

$$= \frac{\sin BAC}{\sin ACD} = \frac{BC}{AC} \div \frac{AD}{AC}$$

$$= \frac{BC}{AD} = \frac{c_1t}{c_2t} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\frac{a \text{ মাধ্যমে আলোর বেগ}}{b \text{ মাধ্যমে আলোর বেগ}} = \text{ধ্রুব সংখ্যা}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b \qquad (7.6)$$

এটি প্রতিসরণ সংক্রান্ত **স্নেলের সূত্র** বা প্রতিসরণের **দ্বিতীয় সূত্র**।

আবার যেহেতু আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব ও প্রতিসৃত রশ্মি কাগজের তলে অর্থাৎ একই সমতলে অবস্থান করে, সুতরাং প্রতিসরণের প্রথম সূত্রটিও প্রতিষ্ঠিত হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৩। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 এবং 1.5 হলে কাচে আলোর বেগ কত? পানিতে আলোর বেগ $2.28 \times 10^{৮} ms^{-1}$ ।

$${}_g\mu_w = \frac{c_g}{c_w}$$

বা, $\frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{c_g}{c_w}$ $\therefore c_g = \frac{\mu_w}{m_g} \times c_w$

$= \frac{1.33}{1.5} \times 2.28 \times 10^8\ ms^{-1}$

$= 2.02 \times 10^8\ ms^{-1}$

উ: $2.02 \times 10^{৮}\ ms^{-1}$

এখানে,

পানির প্রতিসরাঙ্ক $\mu_w = 1.33$

কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\mu_g = 1.5$

পানিতে আলোর বেগ, $c_w = 2.28 \times 10^8\ ms^{-1}$

কাচে আলোর বেগ , $c_g = ?$

৭.৭ । আলোর ব্যতিচার (Interference of Light)

সুসঙ্গত উৎস (Coherent Source)

দুটি উৎস থেকে সমদশায় বা কোনো নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যের একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদের সুসঙ্গত উৎস বলে।

সাধারণভাবে দুটি আলাদা আলোক উৎসকে সুসঙ্গত উৎস হিসেবে গণ্য করা যায় না, কেননা যে কোনো একটি উৎসের পরমাণু কর্তৃক নিঃসৃত আলোক তরঙ্গ অন্য উৎসের ওপর কোনোভাবেই নির্ভর করে না। তাই দুটি ভিন্ন উৎস থেকে নির্গত দুটি আলাদা আলোক তরঙ্গ একটি নির্দিষ্ট দশা সম্পর্ক বজায় রাখতে পারে না। আলোর ব্যতিচার সংক্রান্ত পরীক্ষা নিরীক্ষায় সাধারণত একটি উৎস থেকে নির্গত আলোকে দুটি অংশে এমনভাবে বিভক্ত করা হয় যেন প্রতিটি বিভক্ত অংশকেই একটি স্বতন্ত্র উৎস হিসেবে গণ্য করা যায়। ফলে এই দুটি বিভক্ত অংশকে দুটি সুসঙ্গত উৎস হিসেবে বিবেচনা করা যায়। আলোক তরঙ্গকে দুটি সরু পথে বা চিরের (slit) মধ্য দিয়ে যেতে দিয়ে একটি উৎস থেকে দুটি সুসঙ্গত উৎস তৈরি করা যায়।

কোনো স্থানে দুই বা ততোধিক আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে আলোর তীব্রতা তথা আলোক শক্তির পরিবর্তনের ঘটনাকে আলোর ব্যতিচার বলা হয়। দুটি উৎস থেকে নির্গত অভিন্ন দুটি তরঙ্গ (অর্থাৎ একই তরঙ্গদৈর্ঘ্য তথা কম্পাঙ্ক ও বিস্তারবিশিষ্ট দুটি তরঙ্গ) কোনো বিন্দুতে একে অপরের ওপর আপতিত হলে ঐ বিন্দুতে লব্ধি তীব্রতা যে কোনো একটি তরঙ্গের তীব্রতার চেয়ে বেশি বা কম হতে পারে। এই ঘটনাই তরঙ্গের ব্যতিচার। যখন লব্ধি তীব্রতা আলাদা আলাদা তরঙ্গের তীব্রতার চেয়ে বেশি হয় তখন তাকে গঠনমূলক ব্যতিচার আর যদি লব্ধি তীব্রতা আলাদা আলাদা তীব্রতার চেয়ে কম হয় তাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বলে।

দুটি সুসঙ্গত উৎস থেকে নিঃসৃত দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দুর আলোক তীব্রতা বৃদ্ধি পায় আবার কোনো বিন্দুর তীব্রতা হ্রাস পায়। এর ফলে কোনো তলে পর্যায়ক্রমে আলোকোজ্জ্বল ও অন্ধকার অবস্থার সৃষ্টি হয়। কোনো স্থানে বিন্দু থেকে বিন্দুতে আলোর তীব্রতার এই পর্যায়ক্রমিক তারতম্যকে আলোর ব্যতিচার বলে।

ধরা যাক, একই বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য তথা কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দুটি আলোক তরঙ্গ একই রেখা বরাবর কোনো স্থানে অগ্রসর হচ্ছে। কোনো বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় একই দশায় পৌছালে (অর্থাৎ ঐ বিন্দুতে উভয় তরঙ্গের তরঙ্গ চূড়া বা তরঙ্গ খাঁজ আপতিত হলে) ঐ বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তারের সমষ্টির সমান হবে। অপরপক্ষে, কোনো বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় যদি বিপরীত দশায় মিলিত হয় (অর্থাৎ ঐ বিন্দুতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গ চূড়া অপর তরঙ্গের তরঙ্গ খাঁজের সাথে মিলিত হয়) তবে ঐ বিন্দুর লব্ধি বিস্তার শূন্য হবে। যেহেতু আলোর তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক সেহেতু প্রথমোক্ত বিন্দুতে তীব্রতার মান বেড়ে যাবে এবং শেষোক্ত বিন্দুতে এই মান শূন্য হবে। এর ফলে ঐ স্থানের কোনো তলে পরপর আলোকোজ্জ্বল ও অন্ধকার অবস্থার সৃষ্টি হয় অর্থাৎ ব্যতিচার হয়।

গঠনমূলক ব্যতিচার (Constructive Interference) : দুটি উৎস থেকে নিঃসৃত কিন্তু একই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং সমান বা প্রায় সমান বিস্তার বিশিষ্ট দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য বেড়ে গেলে অর্থাৎ আলোক তীব্রতা বৃদ্ধি পেলে তাকে গঠনমূলক ব্যতিচার বলে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার (Destructive Interference) : দুটি উৎস থেকে নি:সৃত কিন্তু একই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং সমান বা প্রায় সমান বিস্তারবিশিষ্ট দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দু অন্ধকার বা প্রায় অন্ধকার হয়ে গেলে তাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বলে।

ব্যতিচারের শর্ত :

১। আলোর উৎস দুটি সুসঙ্গত হতে হবে।

২। যে দুটি তরঙ্গ ব্যতিচার ঘটাবে তাদের বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হতে হবে।

৩। উৎসগুলো খুব কাছাকাছি অবস্থিত হতে হবে।

৪। উৎসগুলো খুব সূক্ষ্ম হতে হবে।

চির বা স্লিট (Slit) : দৈর্ঘ্যের তুলনায় খুবই ক্ষুদ্র প্রস্থবিশিষ্ট আয়তাকার সরু ছিদ্রকে চির বলে। ব্যতিচারের জন্য চিরের প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমের হতে হয়।

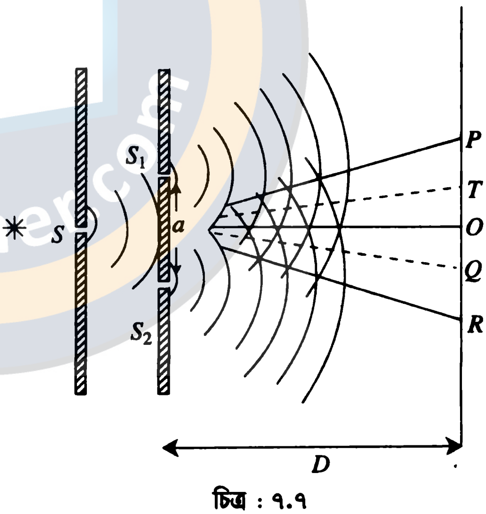
ব্যতিচার ঝালর (Interference Fringe) : কোনো তলের বা পর্দার ওপর আলোর ব্যতিচার ঘটানো হলে সেখানে অনেকগুলো পরপর সমান্তরাল উজ্জ্বল আলোক রেখা বা পট্টি (band) এবং অন্ধকার রেখা বা পট্টি পাওয়া যায়। এই আলোকিত ও অন্ধকার ডোরাগুলোকে (fringe) ব্যতিচার ঝালর বলে।

৭.৮। ইয়ংয়ের দ্বি-চির পরীক্ষা (Young's Double-Slit Experiment)

টমাস ইয়ং ১৮০১ সালে তার দ্বি-চির পরীক্ষার মাধ্যমে আলোর ব্যতিচার প্রদর্শন করেন। এই পরীক্ষা তরঙ্গ তত্ত্বকে জোরালোভাবে সমর্থন প্রদান করে। ৭.৭ চিত্রে ইয়ং-এর পরীক্ষার ব্যবস্থাটি দেখানো হয়েছে। এই পরীক্ষায় তিনি সাদা আলোর উৎস ব্যবহার করেন।

পরীক্ষা : একটি চির S কাগজের তলের অভিলম্বভাবে রাখা আছে। অপর দুটি চির S_1 ও S_2 পরস্পরের খুব কাছাকাছি এবং প্রথম চির S এর সমান্তরালে রাখা আছে। S এর ভেতর দিয়ে সাদা সূর্য রশ্মি যেতে দিয়ে PR অবস্থানে একটি পর্দা রেখে তিনি পর্দার ওপর রঙিন ব্যতিচার পট্টি দেখতে পান।

সাদা আলোর পরিবর্তে একবর্ণী (monochromatic) আলো নিলে পর্যায়ক্রমিকভাবে উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা দেখা যায়। S_1 ও S_2 চিরের যে কোনো একটি বন্ধ করে দিলে আর ব্যতিচার ডোরা দেখা যায় না। এভাবে ইয়ং সর্বপ্রথম পরীক্ষার মাধ্যমে আলোর ব্যতিচার প্রদর্শন করেন এবং আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি প্রমাণ করেন।



চিত্র : ৭.৭

নিজে কর : একটি অন্ধকার ঘরে ইয়ং-এর পরীক্ষাটি সম্পন্ন কর। সূর্যের আলোর পরিবর্তে সোডিয়াম আলো ব্যবহার করো। একটি সলতেকে লবণগোলা পানিতে ভিজিয়ে শুকিয়ে নাও। এখন এই সলতেটি জ্বালালে একবর্ণী আলো বিকিরণ করবে।

ব্যাখ্যা : হাইগেন্সের নীতি ব্যবহার করে ইয়ং-এর দ্বি-চির পরীক্ষায় প্রদর্শিত আলোর ব্যতিচার ব্যাখ্যা করা যায়। চিড় S গোলীয় তরঙ্গমুখ প্রেরণ করে। যেহেতু S_1 ও S_2 চিরের দূরত্ব S থেকে সমান, কাজেই একই তরঙ্গমুখ S_1 ও S_2-তে এসে পৌছায়। এই তরঙ্গমুখের ওপর অবস্থিত S_1 ও S_2 বিন্দু এখন গৌণ তরঙ্গ নিঃসৃত করে যেগুলো পরস্পরের সাথে একই দশায় থাকে। সুতরাং S_1 ও S_2 চির থেকে নিঃসৃত গৌণ তরঙ্গসমূহ সুসঙ্গত, কেননা তাদের

কম্পাঙ্ক ও বিস্তার একই। এখন S_1 ও S_2 থেকে নিঃসৃত তরঙ্গ দুটি উপরিপাতিত হয়ে ব্যতিচার ঘটায়। ৭.৭ চিত্রে অভগ্ন রেখাগুলো বরাবর গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটে এবং পর্দার ওপর P, O, R প্রভৃতি স্থানে উজ্জ্বল ডোরা দেখা যায়। অপরপক্ষে ভগ্ন রেখাগুলো বরাবর ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার ঘটে এবং T ও Q বিন্দুতে অন্ধকার ডোরা দেখা যায়।

দশাপার্থক্য ও পথপার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক

ধরা যাক, λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একরঙা আলোর দুটি উৎস S_1 এবং S_2 (চিত্র ৭.৭) হতে একই সঙ্গে নির্গত আলোক তরঙ্গ প্রায় একই দিকে c বেগে সঞ্চালিত হয়ে P বিন্দুতে উপরিপাতিত হয়। P বিন্দুতে আলোর তীব্রতা সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন হওয়ার শর্ত নির্ণয় করা যাক।

ধরা যাক, যে কোন t সময়ে P বিন্দুতে আলোক তরঙ্গের সরণ S_1 থেকে আগত তরঙ্গের জন্য y_1 এবং S_2 থেকে আগত তরঙ্গের জন্য y_2 হলে,

$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{l}(ct - x_1)$ এবং $y_2 = a \sin \frac{2\pi ß}{l}(ct - x_2)$

এখানে a তরঙ্গের বিস্তার এবং $S_1 p = x_1 \quad S_2P = x_2$

P বিন্দুতে S_1 ও S_2 থেকে আগত তরঙ্গের দশাকোণ যথাক্রমে $\frac{2\pi}{l}(ct - x_1)$ এবং $\frac{2\pi}{l}(ct - x_2)$। অতএব P বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের

দশা পার্থক্য, $\delta = \frac{2\pi}{l}(ct - x_1) - \frac{2\pi}{l}(ct - x_2) = \frac{2\pi}{l}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{l}(\pi S_2 - \pi S_1)$

অতএব, দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{l}$ x পথ পার্থক্য ... (7.7)

গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টির শর্ত :

দুটি তরঙ্গ যখন একই দশায় মিলিত হয় তখন লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তথা প্রাবল্য সর্বাধিক হয় ফলে উজ্জ্বল ডোরার সৃষ্টি হয় বা গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটে। অর্থাৎ গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি হবে যখন,

দশা পার্থক্য, $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi \ldots \ldots$ ইত্যাদি π-এর যুগ্ম গুণিতক।

$= 2\pi n,$ যেখানে $n = 0, 1, 2, 3 \ldots \ldots$

অর্থাৎ $\frac{2\pi}{\lambda}(PS_2 - PS_1) = 2\pi n$

বা, পথ পার্থক্য, $PS_2 - PS_1 = n\lambda = 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ (7.8)

যেখানে, $n = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি।

সুতরাং এই ক্ষেত্রে গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য আমরা পাই,

আলোকীয় পথ পার্থক্য $= n\lambda$

বা, $PS_2 - PS_1 = n\lambda$ (7.9)

আবার দ্বি-চিরের অক্ষের উপর O বিন্দুতে পথ পার্থক্য

$= OS_2 - OS_1$

$= 0 \quad (\because OS_1 = OS_2)$

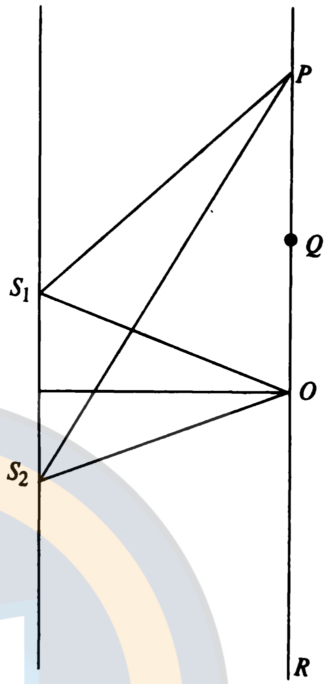
$= 0 \times \lambda \quad (n = 0)$

সুতরাং O বিন্দুতে একটি উজ্জ্বল ডোরা সৃষ্টি হয়। এটিকে অনেক সময় কেন্দ্রীয় চরম (Central maximum) বলা হয়।

O থেকে প্রথম উজ্জ্বল ডোরাটি পাওয়া যাবে P- তে যেখানে $n = 1$ এবং পথ পার্থক্য $= PS_2 - PS_1 = 1 \times \lambda$

সুতরাং (7.9) সমীকরণের অখণ্ড পূর্ণ সংখ্যা n আসলে কেন্দ্র বা মধ্যস্থল থেকে n তম উজ্জ্বল ডোরা নির্দেশ করে।

সুতরাং দেখা যায় যে, পর্দার ওপর যে বিন্দুতে উভয় চির থেকে আগত তরঙ্গ দুটির পথপার্থক্য 1টি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (λ) সমান হয়, সে বিন্দুতে একটি উজ্জ্বল ডোরা পাওয়া যায় এবং মধ্যস্থল থেকে গণনা করলে সেটি হবে ১ম উজ্জ্বল ডোরা। অনুরূপভাবে যে বিন্দুতে পথপার্থক্য ২টি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান হয় সেই বিন্দুতে আরেকটি উজ্জ্বল ডোরা পাওয়া যায় এবং মধ্যস্থল থেকে গণনা করলে সেটি হবে ২য় উজ্জ্বল ডোরা।



চিত্র : ৭.৮

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টির শর্ত :

যখন ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার ঘটে, তখন অন্ধকার ডোরা পাওয়া যায় এবং সাধারণভাবে সেটা ঘটে যখন তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় মিলিত হয় অর্থাৎ যখন দশা পার্থক্য $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi, \ldots\ldots$ ইত্যাদি π-এর অযুগ্ম গুণিতক $= (2n + 1)\pi$, যেখানে $n = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি।

অর্থাৎ যখন, $\frac{2\pi}{\lambda}(PS_2 - PS_1) = (2n + 1)\pi$। অতএব, পথ পার্থক্য $PS_2 - PS_1 = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$

অর্থাৎ পথ পার্থক্য $= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \ldots$ (7.10)

যেখানে, $n = 1, 2, 3$

(৭.৮) চিত্রে Q বিন্দুতে একটি অন্ধকার ডোরা সৃষ্টি হয়, এবং O থেকে এটিই প্রথম অন্ধকার ডোরা। সুতরাং $n = 1$ এবং পথ পার্থক্য $= QS_2 - QS_1 = (1 + \frac{1}{2})\lambda = \frac{3\lambda}{2}$

পাশাপাশি ডোরার ব্যবধান ও ডোরা প্রস্থ

(Separation between two Consecutive fringes and fringe width)

দেখা গেছে, দুটি ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব Δx নিম্নোক্ত বিষয়গুলোর ওপর নির্ভর করে–

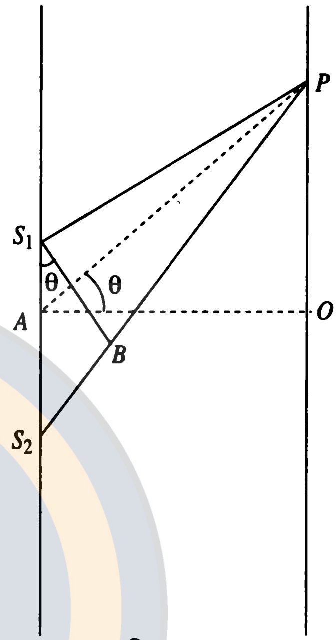
(১) ব্যবহৃত তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ; (২) দ্বি-চির থেকে পর্দার দূরত্ব D; (৩) চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, a।

আমরা এখন ডোরার মধ্যবর্তী ব্যবধানের সাথে এদের সম্পর্ক স্থাপন করব।

ধরা যাক ৭.৯ চিত্রে O থেকে তথা কেন্দ্রীয় চরম থেকে n তম উজ্জ্বল ডোরাটির অবস্থান হচ্ছে P। O থেকে P তথা n তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব x_n। যেহেতু এই সকল দূরত্ব খুবই ক্ষুদ্র, তাই $\angle PAO$ এবং $\angle S_1PS_2$ কোণগুলোও ছোট হবে।

B হচ্ছে S_2P এর ওপর একটি বিন্দু যেখানে $S_1P = BP$ হয়।

যেহেতু D এর তুলনায় a এবং x_n খুবই ক্ষুদ্র, তাই PS_1B সমদ্বিবাহু ত্রিভুজের সমান কোণ দুটিকে প্রায় 90° ধরা যায়। সুতরাং $\angle S_1BS_2$ প্রায় 90° । এ ছাড়াও $\angle BS_1S_2 = \angle PAO = \theta$। P বিন্দুতে S_1 ও S_2 চির থেকে নির্গত আলোক তরঙ্গ দুটির পথ পার্থক্য হবে,



চিত্র : ৭.৯

$$\text{পথ পার্থক্য} = PS_2 - PS_1$$
$$= PS_2 - PB \quad (\because PB = PS_1) = S_2B$$

এখন S_1BS_2 ত্রিভুজে

$$\sin\theta = \frac{S_2B}{S_1S_2} \quad \therefore S_2B = S_1S_2 \times \sin\theta$$
$$= a\sin\theta$$

এখন যেহেতু P হচ্ছে O থেকে n তম উজ্জ্বল ডোরা। কাজেই গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত অনুসারে,

$$\text{পথ পার্থক্য} = n\lambda$$

সুতরাং $a\sin\theta = n\lambda \quad n = 0, 1, 2 \;\ldots\ldots \quad \ldots (7.11)$

আবার, POA ত্রিভুজে θ খুব ক্ষুদ্র বলে

$$\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{PO}{AO} = \frac{x_n}{D}$$

(7.11) সমীকরণে এই মান বসিয়ে, $\frac{ax_n}{D} = n\lambda$

$$\therefore x_n = n\lambda\frac{D}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.12)$$

একইভাবে O থেকে $(n-1)$ তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব

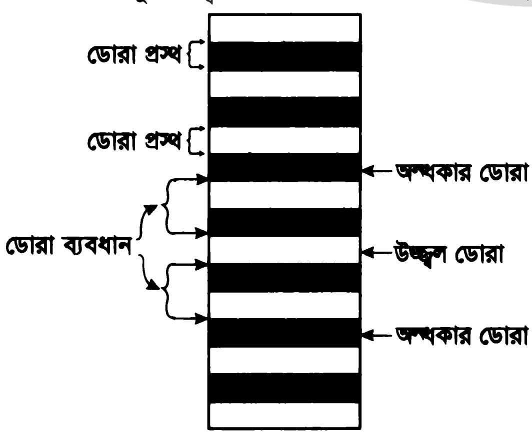
$$x_{n-1} = (n-1)\,\lambda\,\frac{D}{a} \quad (7.13)$$

সুতরাং দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান,

$$\Delta x = x_n - x_{n-1} = n\lambda\frac{D}{a} - (n-1)\,\lambda\frac{D}{a} = (n-n+1)\,\lambda\frac{D}{a}$$

$$\therefore \Delta x = \lambda\frac{D}{a} \quad (7.14)$$

একই রকমভাবে দেখানো যায় যে, দুটি অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী ব্যবধান $\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$ । সুতরাং দেখা যায় যে, দুটি অন্ধকার বা দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী ব্যবধান একই (চিত্র ৭.১০) ।



চিত্র : ৭.১০

একটি উজ্জ্বল বা একটি অন্ধকার ডোরার প্রস্থ দুটি অন্ধকার ডোরা বা দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধানের অর্ধেক (চিত্র ৭.১০) ।

সুতরাং ডোরা প্রস্থ,

$$x = \frac{\lambda D}{2a} \quad (7.15)$$

সমীকরণ (7.15) থেকে দেখা যায়,

(i) D এর মান বাড়ালে অর্থাৎ চির দুটি এবং পর্দার মধ্যবর্তী ব্যবধান বাড়লে ডোরার প্রস্থ বাড়ে;

(ii) a এর মান কমলে অর্থাৎ চির দুটি কাছাকাছি থাকলে ডোরা প্রস্থ বাড়ে।

pdcorner.com

পরীক্ষার ফলাফল

১। দ্বি-চির পরীক্ষা থেকে দেখা যায় আলোর ব্যতিচার ঘটে।

২। যেহেতু ব্যতিচার ঘটে তরঙ্গের, কাজেই আলো এক প্রকার তরঙ্গ। অর্থাৎ ইয়ং এর দ্বি-চির পরীক্ষা আলোর তরঙ্গ তত্ত্বকে সমর্থন করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৪। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যবর্তী পথ পার্থক্য $\frac{3\lambda}{4}$ হলে ঐ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যকার দশা পার্থক্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

দশা পার্থক্য $= \frac{2\lambda}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য

বা, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{31}{4} = \frac{3}{2}\pi$

উ: $\frac{3}{2}\pi$

এখানে,

পথ পার্থক্য, $\frac{3\lambda}{4}$

দশা পার্থক্য, $\delta = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৫। ইয়ং-এর দ্বি-চির পরীক্ষায় চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2.0 mm। এ চির থেকে 1m দূরত্বে ডোরার ব্যবধান 0.295 mm পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের কর।

আমরা জানি যে,

$$\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$$

বা, $\lambda = \frac{\Delta x\, a}{D}$

$$= \frac{0.295 \times 10^{-3}\text{ m} \times 2.0 \times 10^{-3}\text{ m}}{1\text{ m}}$$

$= 5.9 \times 10^{-7}$ m

$= 5900$ Å

উ: 5900 Å

এখানে,

ডোরার ব্যবধান, $\Delta x = 0.295$ mm

$= 0.295 \times 10^{-3}$ m

চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$a = 2.0$ mm $= 2.0 \times 10^{-3}$ m

চির থেকে পর্দার দূরত্ব, $D = 1$ m.

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৬। 0.4 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি চির হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত পর্দার ওপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5000 Å হলে, পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত?

আমরা জানি,

পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ডোরা প্রস্থ $x = \frac{\lambda D}{2a}$

$$= \frac{5 \times 10^{-7}\text{ m} \times 1\text{m}}{2 \times 4 \times 10^{-4}\text{ m}} = 0.625 \times 10^{-3}\text{ m}$$

$= 0.625$ mm

উ: 0.625 mm

এখানে,

আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 5000$ Å $= 5 \times 10^{-7}$ m

চির থেকে পর্দার দূরত্ব, $D = 1$ m

চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $a = 0.4$ mm

$= 4 \times 10^{-4}$ m

ডোরা প্রস্থ, $x = ?$

৭.৯। আলোর অপবর্তন (Diffraction of Light)

আমরা জানি, আলো সরল পথে চলে। আলোক রশ্মির পথে কোনো অস্বচ্ছ বস্তু স্থাপন করলে ঐ বস্তুর ছায়া সৃষ্টি হয়। এটি আলোর সরলরেখ গতির একটি প্রমাণ হিসেবে বিবেচনা করা হয়। আলোক রশ্মির পথে কোনো তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট

কোনো অস্বচ্ছ বস্তু স্থাপন করলে বস্তুর যে ছায়া সৃষ্টি হয় তা ভালোভাবে লক্ষ করলে দেখা যায় যে, আলোর সরলরেখ গতির নিয়মানুযায়ী যে রূপ ছায়া হওয়া উচিত, ঠিক সে রূপ ছায়া হচ্ছে না। দেখা যায় যে, ছায়ার সীমারেখার মধ্যেও কিছুটা আলোক তীব্রতা থাকে যা দ্রুত হ্রাস পেয়ে শূন্য হয়। অর্থাৎ কিছু আলো এমন অঞ্চলে ছড়িয়ে পড়ে যে অঞ্চলে আলো শুধু সরলরেখায় গমন করলে অন্ধকার থাকার কথা। এ থেকে বোঝা যায় যে, কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে আলো সরল পথে না চলে কিছুটা বেঁকে যায় এবং আলো জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের সামান্য ভেতর পর্যন্ত প্রবেশ করে। আলোর অপবর্তনের জন্য এরূপ ঘটে।

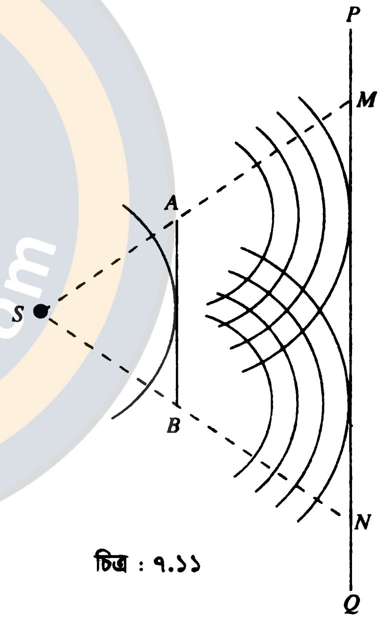
কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে বা সরু চিরের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের মধ্যে আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বলা হয়।

তীক্ষ্ণধার প্রতিবন্ধক, কোনো ছিদ্র বা চিরের আকার যদি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে তুলনীয় বা প্রায় সমান হয় তাহলে অপবর্তনের ঘটনা লক্ষণীয় হয়। সকল প্রকার তরঙ্গ অপবর্তন প্রদর্শন করে।

> **নিজে কর :** দিনের বেলা ঘরের জানালায় বা রাতের বেলা আলোক উৎসের বিপরীত পাশের দেয়ালের সামনে হাতের আঙুল প্রসারিত করে ধরো।

ধরা যাক, S একটি আলোক উৎস এবং তার সামনে একটি অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক AB। প্রতিবন্ধকের পেছনে PQ একটি পর্দা (চিত্র ৭.১১)। আলো সরলরেখায় গমন করে বলে পর্দার ওপর AB প্রতিবন্ধকের একটি ছায়া MN গঠিত হবে।

কারণ, প্রতিবন্ধকের জন্য উৎস থেকে কোনো আলো MN অঞ্চলে এসে পৌছাতে পারে না। MN অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকবে। M বিন্দুর ওপরে এবং N বিন্দুর নিচে পর্দার সমস্ত অংশ সমভাবে আলোকিত হবে কারণ ঐ অঞ্চলে উৎস থেকে আলো পৌছাতে কোনো বাধা পায় না। কিন্তু খুব সূক্ষ্মভাবে লক্ষ করলে দেখা যায় যে, M বিন্দু এবং N বিন্দু থেকে হঠাৎ অন্ধকার শুরু হয় না। অর্থাৎ ছায়ার দুই প্রান্ত খুব তীক্ষ্ণ (Sharp) নয়। M বিন্দুর নিচে এবং N বিন্দুর ওপরেও কিছু অংশে অল্প অল্প আলোর অনুপ্রবেশ ঘটে। অর্থাৎ আলোর অপবর্তন হয়।



চিত্র : ৭.১১

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, S উৎস থেকে কোনো এক সময় গোলীয় তরঙ্গমুখ AB প্রতিবন্ধকে উপস্থিত হলো। এখন হাইগেন্সের নীতি অনুযায়ী অগ্রসরমান প্রতিটি তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত কণাগুলো গৌণ তরঙ্গসমূহের উৎসরূপে ক্রিয়া করে। হাইগেন্সের নীতি অনুসরণ করে অণুতরঙ্গ অঙ্কন করলে দেখা যায় A ও B এর নিকটবর্তী অঞ্চল থেকে কিছু কিছু গৌণতরঙ্গ MN ছায়া অঞ্চলে অনুপ্রবেশ করে M বিন্দুর নিচে এবং N বিন্দুর ওপরে কিছু অংশকে আলোকিত করে।

অপবর্তনের শ্রেণিবিভাগ :

অপবর্তন দু শ্রেণির হয়ে থাকে; যথা–

(১) ফ্রেনেল শ্রেণির অপবর্তন (Fresnel diffraction)

(২) ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন (Fraunhoffer diffraction)

ফ্রেনেল শ্রেণির অপবর্তন : যে সকল অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চির থেকে আলোকের উৎস বা পর্দা অথবা উভয়েই সসীম (finite) দূরত্বে অবস্থান করে সেই সকল অপবর্তনকে ফ্রেনেল শ্রেণির অপবর্তন বলে। এ ক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ গোলীয় বা সিলিন্ডার আকৃতির হয়ে থাকে।

সুই, সরু তার বা সরু চিরের ওপর গোলীয় তরঙ্গমুখের আপতনে এ শ্রেণির অপবর্তন পাওয়া যায়।

ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন : যে সকল অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চির থেকে আলোকের উৎস ও পর্দা উভয়েই অসীম (infinite) দূরত্বে অবস্থান করে সেই সকল অপবর্তনকে ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন বলে। এ ক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ সমতল হয়ে থাকে।

কোনো উত্তল লেন্সের ফোকাসতলে একটি আলোক উৎস স্থাপন করলে লেন্সে প্রতিসরণের পর সমান্তরাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ উৎপন্ন হয় সেগুলোকে কোনো প্রতিবন্ধক বা চিরের ওপর আপতিত করে ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন পাওয়া যায়।

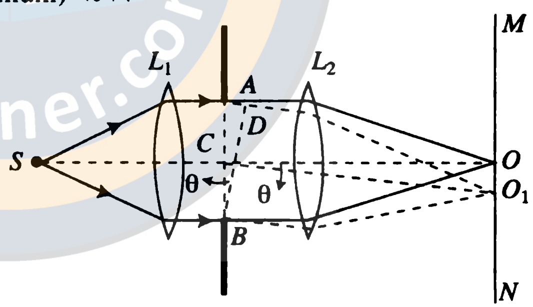
একক বা দ্বি-চির, অপবর্তন গ্রেটিং প্রভৃতির সাহায্যে ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন পাওয়া যায়।

একক চিরের দরুন অপবর্তন
Diffraction at a Single Slit

একটি সরু চির AB বিবেচনা করা যাক। এই চিরের প্রস্থ a। চিরটি বই-এর তলের সাথে অভিলম্বভাবে অবস্থিত। এই চিরের সামনে একটি উত্তল লেন্স L_1 স্থাপন করা আছে। এই লেন্সের প্রধান ফোকাসে স্থাপিত একটি সরু ছিদ্র S থেকে λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো লেন্সে প্রতিসরিত হয়ে সমান্তরাল গুচ্ছে পরিণত হয় (চিত্র ৭.১২)। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ সমতল তরঙ্গমুখের আকারে AB চিরের ওপর পড়ে। AB থেকে নির্গত আলোক রশ্মিগুচ্ছকে অন্য একটি উত্তল লেন্স L_2 এর সাহায্যে তার ফোকাস তলে স্থাপিত MN পর্দার ওপর কেন্দ্রীভূত করা হয়।

AB চিরের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় আলোক রশ্মি A বিন্দুর ওপরে এবং B বিন্দুর নিচের দিকেও ছড়িয়ে পড়ে। কাজেই O বিন্দুতে চিরের একটি সুতীক্ষ্ণ বিম্ব না হয়ে এর উভয় পাশে পর্যায়ক্রমে উজ্জ্বল ও কালো বর্ণের অপবর্তন ঝালর গঠিত হয়। AB চিরে অবস্থিত সমতল তরঙ্গমুখের প্রতিটি কণা সমদশা সম্পন্ন। ফলে ঐ সকল কণা থেকে গৌণ তরঙ্গসমূহ চিরের অক্ষ CO এর সমান্তরালে এসে L_2 উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিসরিত হয়ে O বিন্দুতে একত্রিত হয়। এভাবে এরা O বিন্দুতে সমদশায় পৌঁছে গঠনমূলক ব্যতিচার গঠন করে এবং ঐ বিন্দুর প্রাবল্য তথা উজ্জ্বলতা সর্বোচ্চ বা চরম হয়। O বিন্দুকে মুখ্য চরম বিন্দু (Principal maximum) বলে।

এখন ধরা যাক, কিছু গৌণ তরঙ্গ CO এর সাথে θ কোণে অপবর্তিত হয়ে CO_1 অভিমুখের সমান্তরালে গিয়ে L_2 লেন্সে আপতিত হয়। এখন লেন্স দ্বারা প্রতিসরিত হয়ে এগুলো O_1 বিন্দুতে একত্রিত হয়। এক্ষেত্রে তরঙ্গগুলো সমান পথ অতিক্রম করে না বলে O_1 বিন্দুতে ঐ সকল তরঙ্গের দশা এক হবে না। O_1 বিন্দুর প্রাবল্য সর্বোচ্চ বা চরম (maximum) হবে নাকি সর্বনিম্ন বা অবম (minimum) হবে অর্থাৎ বিন্দুটি চরম বিন্দু হবে না অবম বিন্দু হবে তা নির্ভর করবে গৌণ তরঙ্গগুলোর পথ পার্থক্যের ওপর।



চিত্র : ৭.১২

৭.১২ চিত্র থেকে দেখা যায় যে, AB চিরের দুই প্রান্তবিন্দু A ও B থেকে নির্গত দুটি গৌণ তরঙ্গের পথ পার্থক্য হচ্ছে $AD = AB \sin\theta = a \sin\theta$।

গাণিতিক হিসাবের সাহায্যে O_1 বিন্দুটির অবম বা চরম হওয়ার নিম্নোক্ত শর্ত পাওয়া যায়।

অবমের শর্ত : O বিন্দুর উভয় পাশে n তম অবম বিন্দুর জন্য অপবর্তন কোণ, θ_n হলে

$$a \sin\theta_n = n\lambda, \qquad n = 1, 2, 3, \qquad (7.16)$$

চরমের শর্ত : O বিন্দুর উভয় পাশে n তম চরম বিন্দুর জন্য অপবর্তন কোণ θ'_n হলে

$$a \sin\theta'_n = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (7.17)$$

ব্যতিচার ও অপবর্তনের পার্থক্য
Distinction between Interference and Diffraction

ব্যতিচার	অপবর্তন
১। একই উৎস থেকে নির্গত দুটি সুসঙ্গত তরঙ্গমুখ থেকে প্রাপ্ত তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।	১। একই তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশ থেকে নির্গত গৌণ তরঙ্গসমূহের উপরিপাতনের ফলে অপবর্তনের সৃষ্টি হয়।
২। ব্যতিচারে সৃষ্ট ডোরাগুলোর প্রস্থ সমান হতেও পারে নাও পারে।	২। অপবর্তনে সৃষ্ট ডোরাগুলোর প্রস্থ সমান হয় না।
৩। ব্যতিচারে সৃষ্ট অন্ধকার ডোরাগুলোতে কোনো আলো থাকে না।	৩। অপবর্তনে সৃষ্ট অন্ধকার ডোরাগুলো কখনো সম্পূর্ণ অন্ধকার হয় না। এতে সবসময় কিছু আলো থাকে।
৪। ব্যতিচারের সৃষ্ট সকল উজ্জ্বল ডোরার প্রাবল্য তথা উজ্জ্বলতা সমান হয়।	৪। অপবর্তনে সৃষ্ট সকল উজ্জ্বল ডোরার প্রাবল্য সমান হয় না।

অপবর্তন গ্রেটিং বা ঝাঝরি
Diffraction Grating

আলোর উৎসকে বিশ্লেষণের একটি অতি প্রয়োজনীয় কৌশল (device) হলো অপবর্তন গ্রেটিং। অনেকগুলো সমান ফাঁকবিশিষ্ট সমান্তরাল চির দিয়ে অপবর্তন গ্রেটিং গঠিত।

সংজ্ঞা : ***পাশাপাশি স্থাপিত অনেকগুলো সমপ্রস্থের সূক্ষ্ম চির সম্পন্ন পাতকে অপবর্তন গ্রেটিং বলে।***

নির্মাণ প্রণালি : একটি সূচালো অগ্রভাগ বিশিষ্ট হীরার টুকরা দিয়ে একটি স্বচ্ছ সমতল কাচ পাতে দাগ কেটে বা রেখা টেনে গ্রেটিং তৈরি করা হয়। এই দাগগুলো সমব্যবধানে অবস্থিত থাকে এবং এগুলো পরস্পর সমান্তরাল হয়। এই পাতের ওপর আলো আপতিত হলে আলো দুটি দাগের মধ্যবর্তী স্বচ্ছ অংশের মধ্য দিয়ে যেতে পারে। সুতরাং দুটি দাগের মধ্যবর্তী স্বচ্ছ অংশগুলো চিরের মতো কাজ করে এবং প্রতিটি দাগ অস্বচ্ছ ব্যবধানের কাজ করে। আমরা পরীক্ষাগারে যে সকল গ্রেটিং ব্যবহার করি তার প্রতি সেন্টিমিটারে প্রায় 10,000 পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। ফলে এক একটি চিরের প্রস্থ হয় প্রায় 10^{-4}cm।

গ্রেটিং ধ্রুবক (Grating constant) বা গ্রেটিং উপাদান (Grating element)

সংজ্ঞা : ***গ্রেটিং এর একটি চিরের শুরু থেকে পরবর্তী চিরের শুরু পর্যন্ত দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলে।*** একটি চির তথা স্বচ্ছ অংশ এবং একটি রেখা তথা অস্বচ্ছ অংশের দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলে।

ধরা যাক, প্রতিটি চিরের প্রস্থ $= a$

প্রতিটি রেখার প্রস্থ $= b$

$\therefore$ গ্রেটিং ধ্রুবক, $d = a + b$

সুতরাং গ্রেটিং এর d দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা 1টি। অতএব, একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা $\frac{1}{d}$ টি। এখন গ্রেটিং এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা N হলে,

$$N = \frac{1}{d}$$

$$\text{বা, } N = \frac{1}{a+b} \quad \ldots \quad (7.18)$$

গ্রেটিং এর $(a + b)$ ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুকে অনুরূপ বিন্দু (Corresponding points) বলে।

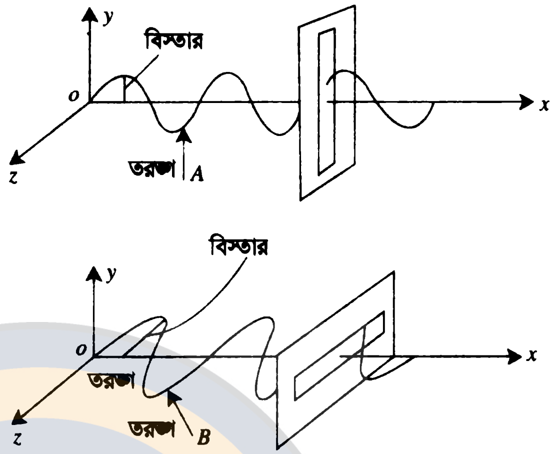
৭.১০। আলোর সমবর্তন (Polarization of Light)

আলোকীয় ঘটনা ব্যতিচার ও অপবর্তন ব্যাখ্যার জন্য আমরা আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি ব্যবহার করেছি। এখন আমরা সমবর্তন আলোচনা করব এবং দেখাব যে, তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হলো আড় তরঙ্গ।

কোনো তরঙ্গের কম্পনের ওপর যদি এমন শর্ত আরোপ করা হয় যে কম্পন কেবল একটা নির্দিষ্ট দিকে বা তলেই সীমাবদ্ধ থাকে তবে তাকে সমবর্তন বলে।

আমরা জানি যে, তরঙ্গ দু'রকম হতে পারে–দীঘল তরঙ্গ ও আড় তরঙ্গ। এ দু ধরনের তরঙ্গকে এভাবে পৃথক করা যেতে পারে যে, আড় তরঙ্গকে সমবর্তিত বা পোলারায়িত করা যায় কিন্তু দীঘল তরঙ্গকে সমবর্তিত করা যায় না।

তরঙ্গ সঞ্চালনের অভিমুখ যে তলে অবস্থিত আড় তরঙ্গের সকল কম্পন যদি সেই সমতলে থাকে তাহলে তাকে সমতল-সমবর্তিত (plane polarized) বা রৈখিক সমবর্তিত (linearly polarized) বলা হয়।



চিত্র ৭.১৩ : সমতল-সমবর্তিত তরঙ্গ।

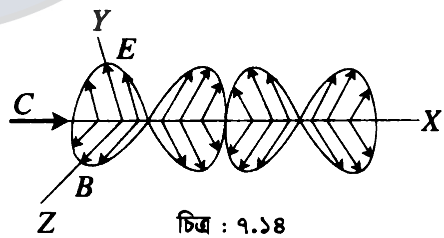
৭.১৩ নং চিত্রে দুটি তার দেখানো হয়েছে যাদের বরাবর আড় তরঙ্গ অগ্রসর হচ্ছে। তরঙ্গ A, XY-তলে সমতল সমবর্তিত এবং তরঙ্গ B, XZ তলে সমতল সমবর্তিত। প্রতিটি তরঙ্গ কোনো বাধা না পেয়ে এর আনুষঙ্গিক চির দিয়ে বেরিয়ে যেতে পারে (চিরগুলো যদি চিত্রের মতো দিকাভিমুখী থাকে)। কিন্তু চির A কে OX-অক্ষের চারদিকে $90°$ ঘুরানো হলে এটি OX-এর সমান্তরাল হয়ে যায় এবং তরঙ্গ A এর চির দিয়ে যেতে অক্ষম হয়ে যায়। দীঘল তরঙ্গের ক্ষেত্রে এরকম প্রভাব কখনো ঘটে না।

আলোক তরঙ্গ ও সমবর্তন (Light Waves and Polarization)

$\vec{E}$, $\vec{B}$ এবং আলোর বেগের অভিমুখ :

আলোক তরঙ্গ এক প্রকার তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ। এর সাথে সংশ্লিষ্ট আছে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$। আলোক তরঙ্গের কম্পন হলো $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ এর পর্যায়বৃত্ত পরিবর্তন। এদের পর্যায়বৃত্ত কম্পনের কম্পাঙ্ক সমান। $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ পরস্পর লম্ব এবং উভয়ই সর্বদা আলোক তরঙ্গ সঞ্চালনের দিক তথা আলোর বেগের দিকের সাথে লম্ব। অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ এর দিক সর্বদা এমন হবে যাতে ভেক্টর গুণফল $\vec{E} \times \vec{B}$ এর অভিমুখ আলোর বেগের অভিমুখ নির্দেশ করে।

৭.১৪ চিত্রে দেখা যাচ্ছে আলোক সঞ্চালনের অভিমুখ X অক্ষ বরাবর। সুতরাং $\vec{E}$ ভেক্টর XY সমতলে এবং $\vec{B}$ ভেক্টর XZ সমতলে কম্পনশীল। এখানে উল্লেখযোগ্য যে, $\vec{E} \times \vec{B}$ অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ ভেক্টর গুণফলের দিক আলোর বেগের দিক নির্দেশ করলেও $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ এর ভেক্টর গুণফলের মান কিন্তু আলোর বেগের মান তথা আলোর দ্রুতি নির্দেশ করে না। বরং E ও B এর অনুপাত অর্থাৎ E/B-ই হচ্ছে আলোর দ্রুতির সমান।



চিত্র : ৭.১৪

সুতরাং $\frac{E}{B} = c$

সার-সংক্ষেপ

তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ : তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হলো কোনো স্থান দিয়ে আলোর দ্রুতিতে গতিশীল তড়িৎ ও চৌম্বক আলোড়ন। এ তরঙ্গে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে সর্বদা সমকোণে থাকে। উভয়ক্ষেত্রই তরঙ্গের সঞ্চালন অভিমুখের সাথে সমকোণে থাকে। এ তরঙ্গ আড় তরঙ্গ।

তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি : তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণের দৃশ্যমান আলো, অবলোহিত বিকিরণ, বেতার তরঙ্গ, অতিবেগুনি বিকিরণ, এক্স-রে, গামারশ্মি ইত্যাদি যে বর্ণালির সৃষ্টি করে তাকে তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি বলে।

আলোর দ্রুতি c : তাড়িতচৌম্বকীয় বিকিরণের বেলায়

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \in_o}} = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \quad \text{এবং} \quad c = \frac{E_o}{B_o} = \frac{E}{B}$$

তরঙ্গমুখ : কোনো তরঙ্গের ওপর অবস্থিত সমদশা সম্পন্ন কণাগুলোর গতিপথকে তরঙ্গমুখ বলে।

হাইগেন্সের নীতি : কোনো তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু এক একটি অণুতরঙ্গের উৎস হিসেবে গণ্য হয়। ঐ অণু তরঙ্গগুলো মূল তরঙ্গের সমান বেগ নিয়ে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো মুহূর্তে এ অণুতরঙ্গগুলোকে স্পর্শ করে যে সাধারণ স্পর্শক তল পাওয়া যায় তাই ঐ সময়ে নতুন তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্দেশ করে।

ব্যতিচার : দুটি সুসঙ্গত উৎস থেকে নিঃসৃত কিন্তু একই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং সমান বা প্রায় সমান বিস্তারবিশিষ্ট দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দুর আলোক তীব্রতা বৃদ্ধি পায় আবার কোনো বিন্দুর তীব্রতা হ্রাস পায়। এর ফলে কোনো তলে পরপর আলোকোজ্জ্বল ও অন্ধকার অবস্থার সৃষ্টি হয়। কোনো স্থানে বিন্দু থেকে বিন্দুতে আলোর তীব্রতার এই পর্যায়ক্রমিক তারতম্যকে আলোর ব্যতিচার বলে।

ব্যতিচারের শর্ত :

১। আলোর উৎস দুটি সুসঙ্গত হতে হবে।

২। যে দুটি তরঙ্গ ব্যতিচার ঘটাবে তাদের বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হতে হবে।

৩। উৎসগুলো খুব কাছাকাছি অবস্থিত হতে হবে।

৪। উৎসগুলো খুব সূক্ষ্ম হতে হবে।

অপবর্তন : কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে বা সরু চিরের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের মধ্যে আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে অপবর্তন বলা হয়।

সমবর্তন : কোনো তরঙ্গের কম্পনের ওপর যদি এমন শর্ত আরোপ করা হয় যে কম্পন কেবল একটা নির্দিষ্ট দিকে বা তলেই সীমাবদ্ধ থাকে তবে তাকে সমবর্তন বলে।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। নিচের কোন তথ্যটি তড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের বেলায় সঠিক নয়?

(ক) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হচ্ছে কোনো স্থানে আলোর দ্রুতিতে গতিশীল তড়িৎ ও চৌম্বক আলোড়ন। ○

(খ) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ অগ্রগামী তরঙ্গ ○

(গ) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ লম্বিক তরঙ্গ ○

(ঘ) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ হচ্ছে তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্ব সমবায় ○

২। এক্স-রের ক্ষেত্রে নিচের কোনটি সঠিক নয়?

(ক) এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-8}m থেকে 5×10^{-15}m ○

(খ) এটি ফটোগ্রাফিক প্লেট দ্বারা উদঘাটন করা যায় না ○

(গ) ধাতব যন্ত্রের ফাটল শনাক্ত করতে ব্যবহৃত হয় ○

(ঘ) ক্ষতিকর টিউমার ধ্বংস করতে ব্যবহৃত হয় ○

৩। দুটি উৎস থেকে সমদশায় বা কোনো নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যের একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদের কী বলে?

(ক) গৌণ উৎস ○ (খ) সুসঙ্গত উৎস ○

(গ) প্রধান উৎস ○ (ঘ) এর কোনোটি নয় ○

৪। সুসঙ্গত উৎস থেকে নিঃসৃত দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দুতে আলোক তীব্রতা বৃদ্ধি পায় আবার কোনো বিন্দুতে তীব্রতা হ্রাস পায়। একে কী বলে?

(ক) অপবর্তন ○ (খ) সমবর্তন ○
(গ) ব্যতিচার ○ (ঘ) বিচ্ছুরণ ○

৫। দশা পার্থক্য পথ পার্থক্যের কতগুণ?

(ক) 2π ○ (খ) $2\pi\lambda$ ○
(গ) $\frac{2\pi}{\lambda}$ ○ (ঘ) $\frac{\lambda}{2\pi}$ ○

৬। গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য কী হবে?

(ক) $\frac{n\lambda}{2}$ ○ (খ) $n\lambda$ ○
(গ) $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ○ (ঘ) $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ○

৭। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য কী হবে?

(ক) $n\lambda$ ○ (খ) $\frac{n\lambda}{2}$ ○
(গ) $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ○ (ঘ) $(n+1)\frac{\lambda}{2}$ ○

৮। ব্যতিচার ঝালরে পরপর দুটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার ব্যবধান কী?

(ক) $\Delta x = \frac{\lambda D}{2a}$ ○ (খ) $\Delta x = \frac{\lambda D}{a}$ ○
(গ) $\Delta x = \frac{\lambda a}{D}$ ○ (ঘ) $\Delta x = \frac{2\lambda a}{D}$ ○

৯। ব্যতিচার ঝালরে একটি উজ্জ্বল বা একটি অন্ধকার ডোরার প্রস্থ কত?

(ক) $x = \frac{\lambda D}{2a}$ ○ (খ) $x = \frac{\lambda a}{D}$ ○
(গ) $x = \frac{\lambda D}{a}$ ○ (ঘ) $x = \frac{2D}{\lambda a}$ ○

১০। কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে যাওয়ার সময় জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের মধ্যে আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে কী বলে?

(ক) ব্যতিচার ○ (খ) অপবর্তন ○
(গ) সমবর্তন ○ (ঘ) প্রতিসরণ ○

১১। পাশাপাশি স্থাপিত সমপ্রস্থের সূক্ষ্ম চির বিশিষ্ট পাতকে কী বলা হয়?

(ক) গ্রেটিং ○ (খ) ঝালর ○
(গ) ব্যতিচার ডোরা ○ (ঘ) কোনোটি নয় ○

১২। কোনো তরঙ্গের উপর যদি এমন শর্ত আরোপ করা হয় যে, কম্পন কেবল একটি নির্দিষ্ট তলে সীমাবদ্ধ থাকে তবে তাকে কী বলা হয়?

(ক) অপবর্তন ○ (খ) ব্যতিচার ○
(গ) সমবর্তন ○ (ঘ) প্রতিফলন ○

১৩। কোনো গ্রেটিং-এর একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা—

(i) $N = \frac{1}{d}$ (ii) $N = \frac{1}{a+b}$ (iii) $N = a + b$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৪। তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে—

(i) এরা আড়তরঙ্গ ; (ii) এরা তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্ব সমবায়
(iii) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

১৫। গামা রশ্মির বৈশিষ্ট্য হচ্ছে—

(i) তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে নির্গত হয়; (ii) গাইগার মূলার কাউন্টার দ্বারা উদঘাটন করা যায়
(iii) ক্যানসার কোষ ধ্বংস করতে ব্যবহার করা হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

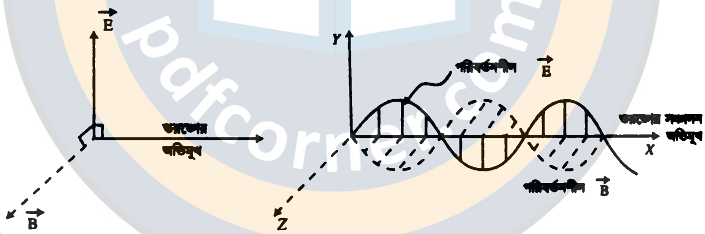
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (গ) ২. (খ) ৩. (খ) ৪.(গ) ৫. (গ) ৬.(খ) ৭. (গ) ৮. (খ) ৯.(ক) ১০. (খ) ১১. (ক) ১২. (গ) ১৩. (ক) ১৪.(ক) ১৫.(ঘ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। নিচের চিত্রে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালন দেখানো হয়েছে। এখানে ভেক্টর $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ পরস্পরের ওপর লম্ব।



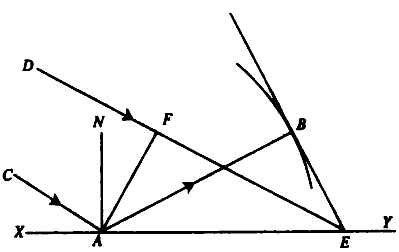
(ক) তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ কাকে বলে?

(খ) কোনো সমীকরণ থেকে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের বেগ পাওয়া যায়?

(গ) কোনো তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্র হলো $9.0 \times 10^2\ NC^{-1}$। তরঙ্গটি X-অভিমুখে সঞ্চালিত হচ্ছে এবং তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখ Y-অক্ষ বরাবর। সর্বোচ্চ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক বের কর।

(ঘ) তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালির বিভিন্ন উপাংশগুলো ব্যাখ্যা কর।

২। পাশের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও।



(ক) তরঙ্গমুখ কাকে বলে?

(খ) চিত্রসহ হাইগেন্সের নীতি ব্যাখ্যা কর।

(গ) পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 এবং 1.5। পানিতে আলোর বেগ $2.28 \times 10^8\ ms^{-1}$ হলে কাচে আলোর বেগ কত?

(ঘ) পাশের চিত্রটি আলোক সঞ্চালনের হাইগেন্সের নীতির ওপর ভিত্তি করে অঙ্কিত। চিত্রটির বর্ণনা দাও এবং দেখাও যে, তা আলোর প্রতিফলনের সূত্র মেনে চলে।

pdfcorner.com

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ কাকে বলে?
২। তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালি কাকে বলে?
৩। তাড়িতচৌম্বকীয় বর্ণালিতে কী কী বিকিরণ থাকে?
৪। তড়িৎচৌম্বক বিকিরণ কী? তড়িৎচৌম্বক বর্ণালির বিভিন্ন উপাংশের বর্ণনা দাও।
৫। দৃশ্যমান আলো কী?
৬। অতিবেগুনি রশ্মির উৎসগুলো কী কী?
৭। তরঙ্গমুখ কাকে বলে?
৮। সমতল তরঙ্গমুখ কী?
৯। হাইগেন্‌সের নীতি ব্যাখ্যা কর।
১০। তরঙ্গ সঞ্চালন সংক্রান্ত হাইগেন্‌সের নীতি চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।
১১। হাইগেন্‌সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলনের সূত্র প্রতিপাদন কর।
১২। হাইগেন্‌সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন কর।
১৩। সুসঙ্গত উৎস কাকে বলে?
১৪। আলোর ব্যতিচার কাকে বলে?
১৫। ব্যতিচারের শর্তগুলো কী কী?
১৬। ইয়ং-এর দ্বি-চির পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা সৃষ্টির শর্ত ব্যাখ্যা কর।
১৭। আলোর অপবর্তন কাকে বলে?
১৮। অপবর্তন কত প্রকার ও কী কী?
১৯। অপবর্তন কী? অপবর্তন কত প্রকার ও কী কী ব্যাখ্যা কর।
২০। আলোর সমবর্তন কাকে বলে?
২১। সমবর্তিত ও অসমবর্তিত আলো বলতে কী বোঝায়?
২২। সমবর্তন কী? তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের সমবর্তন কীভাবে ঘটে ব্যাখ্যা কর।

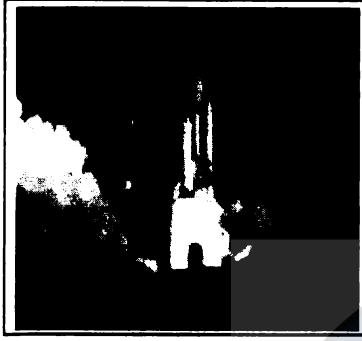
ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

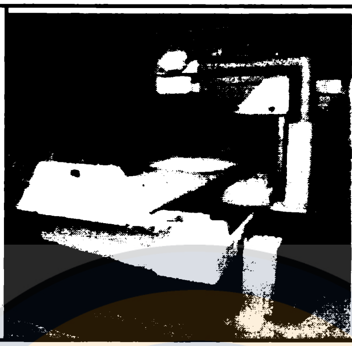
১। কোনো বেতার তরঙ্গের $E_o = 10^{-4}\ \text{V m}^{-1}$। B_o এর মান বের কর। [উ: 3.3×10^{-13} T]
২। কোনো তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের সর্বোচ্চ চৌম্বকক্ষেত্রের মান 3.3×10^{-7} T। এর সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্রের মান কত? [উ: 99 NC^{-1}]
৩। পানি ও হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 এবং 2.4 হলে হীরকে আলোর বেগ নির্ণয় কর। পানিতে আলোর বেগ $2.28 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$ [উ: $1.26 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$]
৪। কেরোসিন ও গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.4 4 ও 1.47। কেরোসিনের মধ্যে আলোর বেগ $2.08 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$ হলে গ্লিসারিনের মধ্যে আলোর বেগ কত? [উ: $2.03 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$]
৫। 0.2 mm ব্যবধান বিশিষ্ট দুটি চির হতে 50 cm দূরত্বে অবস্থিত পর্দার ওপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব 1.42 mm হলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ : 5680 Å]
৬। ইয়ং-এর দ্বি-চির পরীক্ষায় চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2.5 mm। এ চির থেকে 1m দূরত্বে ডোরার প্রস্থ 0.275 mm পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ: 1.375×10^{-5}m]

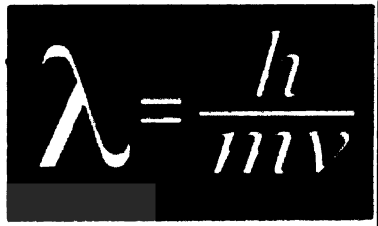
অষ্টম অধ্যায়

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা

BEGINNING OF MODERN PHYSICS







বিংশ শতাব্দীর শুরুতে পদার্থবিজ্ঞান জগতে বিপ্লব আনয়ন করে দুটি বিখ্যাত তত্ত্ব। একটি হলো ১৯০০ সালে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রবর্তিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব, অপরটি ১৯০৫ সালে প্রবর্তিত আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব। চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞান যেসব ঘটনার ব্যাখ্যা দিতে সক্ষম ছিল না, এই দুটি তত্ত্ব প্রবর্তনের মাধ্যমে সেগুলোর সার্বিক ব্যাখ্যা প্রদান সম্ভব হয়। সূচনা হয় আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের। কোয়ান্টাম তত্ত্ব আবিষ্কারের ফলে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া, দ্য ব্রগলি তরঙ্গ, কম্পটন প্রভাব ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়। আপেক্ষিকতা তত্ত্ব স্থান, কাল ও ভরের চিরায়ত ধারণাকে বদলে দেয়। পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞানের বিকাশের জন্য এ তত্ত্ব অপরিহার্য। ভরের আপেক্ষিকতা, ভরকে শক্তিতে রূপান্তর করে। এ দুটি গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারের ওপর ভিত্তি করে পারমাণবিক যুগের সূচনা হয়। এই অধ্যায়ে আমরা আপেক্ষিকতা তত্ত্ব, সময়, ভর ও দৈর্ঘ্যের আপেক্ষিকতা ভর-শক্তি সম্পর্ক, এক্স-রে, ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া, দ্য ব্রগলি তরঙ্গ, কম্পটন প্রভাব ও অনিশ্চয়তা নীতি আলোচনা করব।

প্রধান শব্দসমূহ :
জড় প্রসঙ্গ কাঠামো, আপেক্ষিকতা, কাল দীর্ঘায়ন, দৈর্ঘ্য সঙ্কোচন, ভরবৃদ্ধি, ভরশক্তি সম্পর্ক, এক্স-রে, ফটো ইলেকট্রিক ক্রিয়া, কম্পটন ক্রিয়া, দ্য ব্রগলি তরঙ্গ, অনিশ্চয়তা নীতি।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১
২	জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.২
৩	মাইকেলসন মোরলে পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করতে পারবে।	৮.৩
৪	আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.৪
৫	গ্যালিলিয়ান রূপান্তর ও লরেন্টজ রূপান্তর ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.৫, ৮.৬
৬	আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় সম্প্রসারণ, দৈর্ঘ্য সংকোচন এবং ভর বৃদ্ধি বর্ণনা করতে পারবে।	৮.৭, ৮.৮, ৮.৯
৭	ভর শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১০

৮	মৌলিক চারটি বল ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১১
৯	মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের সময় সম্প্রসারণ ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের নিয়ম ব্যবহার করতে পারবে।	৮.১২
১০	প্লাঙ্কের কালো বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১৩
১১	এক্স-রের উৎপাদন প্রক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবে।	৮.১৪
১২	আইনস্টাইনের ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার ঘটনা বর্ণনা করতে পারবে।	৮.১৫
১৩	দ্য ব্রগলির তরঙ্গ ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১৬
১৪	কম্পটন ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১৭
১৫	হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৮.১৮

৮.১। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা (Concept of Modern Physics)

উনবিংশ শতাব্দীর শেষের দিকে বিজ্ঞানীরা বিশ্বাস করতেন যে, পদার্থবিজ্ঞান সম্পর্কে যা জানা দরকার তার অধিকাংশই তারা জেনে ফেলেছেন। নিউটনের গতিসূত্র ও তাঁর বিশ্বজনীন মহাকর্ষ সূত্র, তড়িৎ বিজ্ঞান ও চৌম্বক বিজ্ঞানকে একত্রিত করে ম্যাক্সওয়েলের তাত্ত্বিক কাজ এবং তাপগতিবিদ্যার সূত্র এবং গতি তত্ত্ব অনেক বৈচিত্র্যময় প্রতিভাসের ব্যাখ্যায় সফলতা লাভ করেছে। বিংশ শতাব্দীর সূচনা লগ্নে দুটি তত্ত্ব পদার্থবিজ্ঞানের জগৎকে কাঁপিয়ে দেয়। এগুলো হলো ১৯০০ সালে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রদত্ত কোয়ান্টাম তত্ত্ব এবং ১৯০৫ সালে বিজ্ঞানী অ্যালবার্ট আইনস্টাইন প্রদত্ত আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব। দুটি ধারণাই প্রকৃতি সম্পর্কে আমাদের উপলব্ধিতে সুগভীর প্রভাব ফেলেছে। কয়েক দশকের সাধনায় এই তত্ত্বগুলো পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞান, নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞান এবং ঘনীভূত পদার্থের পদার্থবিজ্ঞানের উন্নয়ন, বিকাশ ও তত্ত্বকে প্রেরণা জোগায়।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা তাই ১৯০০ সালে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বের আবিষ্কারের মাধ্যমে। এই তত্ত্বের সাহায্যে তিনি কালো বস্তুর বিকিরণের শক্তি কোয়ান্টায়নের কথা বলেন। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের জগতে আরেকটি বিপ্লব আনেন অ্যালবার্ট আইনস্টাইন তাঁর আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব ও আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রবর্তনের মাধ্যমে।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখা হলো কোয়ান্টাম পদার্থবিজ্ঞান, আপেক্ষিকতা তত্ত্ব, পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞান, নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞান, পরিসাংখ্যিক (Statistical) বলবিজ্ঞান, কঠিনাবস্থার পদার্থবিজ্ঞান (Solid state physics) প্রভৃতি।

৮.২। জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো (Inertial and Non Inertial Frames)

স্থিতি ও গতি দুটি আপেক্ষিক পদ। যে কোনো গতির বর্ণনার জন্য একটি প্রসঙ্গ কাঠামো প্রয়োজন যার সাপেক্ষে গতি বিবেচনা করা হয়। গতিশীল কোনো বস্তুর অবস্থান নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজন হয় কোনো না কোনো স্থানাঙ্ক ব্যবস্থা। এই স্থানাঙ্ক ব্যবস্থাকে বলা হয় **প্রসঙ্গ কাঠামো**।

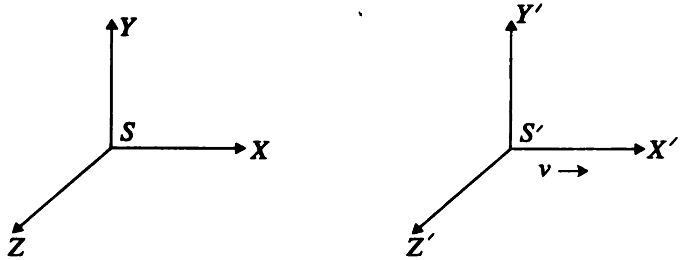
অন্য কথায় বলা যায়, **যে দৃঢ় বস্তুর সাপেক্ষে ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনো বিন্দুকে সুনির্দিষ্ট করা হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।** যে কোনো রাস্তা, পার্ক, পৃথিবীপৃষ্ঠ, সূর্য, ছায়াপথ, কোনো বিন্দু, যে কোনো কিছুকে প্রসঙ্গ কাঠামো হিসেবে বিবেচনা করা যেতে পারে, তবে এদের সবসময়ই সুনির্দিষ্ট করতে হবে।

কোনো বস্তুর গতির বর্ণনার জন্য ত্রিমাত্রিক স্থানে যে সুনির্দিষ্ট স্থানাঙ্ক ব্যবস্থা বিবেচনা করা হয় এবং যার সাপেক্ষে বস্তুটির গতি বর্ণনা করা হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বা জড় কাঠামো (Inertial Reference Frame)

জড় প্রসঙ্গ কাঠামোকে গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ কাঠামো বা নিউটনীয় প্রসঙ্গ কাঠামোও বলা হয়। এই প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের দ্বিতীয় ও তৃতীয় গতিসূত্র খুব ভালো খাটে। একে অন্য কথায় এভাবে বলা যায়, জড় প্রসঙ্গ কাঠামো হলো সে

প্রসঙ্গ কাঠামো যার মধ্যে নিউটনের গতিসূত্র অর্জন করা যায়। এরা পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুব বেগে গতিশীল। চিত্র ৮.১-এ জড় প্রসঙ্গ কাঠামো দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৮.১ : জড় প্রসঙ্গ কাঠামো

পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুব বেগে গতিশীল যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের গতিসূত্র অর্জন করা যায় তাদেরকে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো : যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামো পরস্পরের সাথে ধ্রুব বেগে গতিশীল নয় অর্থাৎ যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামোর ত্বরণ থাকে তাদেরকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

৮.৩। মাইকেলসন মোরলের পরীক্ষা (Michelson-Morley Experiment)

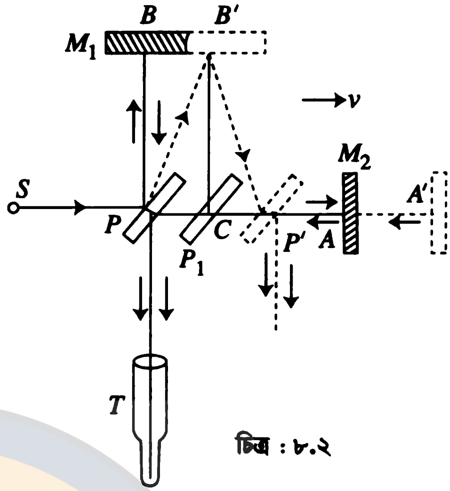
তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্যে মাধ্যমের প্রয়োজন হয়। দৃশ্যমান তরঙ্গসমূহ যেমন পানি তরঙ্গ, টানা তারে সৃষ্ট তরঙ্গ মাধ্যম ছাড়া সঞ্চালিত হতে পারে না। এমনকি শব্দ তরঙ্গও মাধ্যম ছাড়া চলতে পারে না। সূর্য থেকে যে আলো আমাদের পৃথিবীতে আসে তাকে কোটি কোটি কিলোমিটার মহাশূন্যের মধ্য দিয়ে আসতে হয়, সেখানে তাহলে আলো কীভাবে চলে? বিজ্ঞানীরা সেখানে একটি মাধ্যমের কল্পনা করেন যার নাম দেওয়া হয় ইথার। ইথার হলো এমন একটা মাধ্যম যা মুক্তস্থানে তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের জন্যে প্রয়োজনীয় বলে বিজ্ঞানীরা মনে করতেন। চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞান যুগের পদার্থবিদদের পক্ষে এটা বিশ্বাস করা কঠিন ছিল যে, মাধ্যম ব্যতীত তরঙ্গ সঞ্চালিত হতে পারে। তাড়িতচৌম্বকীয় তরঙ্গ সঞ্চালনের কোনো মাধ্যম নেই বলে পদার্থবিদগণ ইথারের অস্তিত্ব স্বীকার করে নেন এবং অনুমান করেন যে, ইথারকে সাধারণভাবে আবিষ্কার করা যায় না।

অ্যালবার্ট মাইকেলসন ও এডওয়ার্ড মোরলে ১৮৮৭ খ্রিস্টাব্দে ইথারের অস্তিত্ব নির্ণয়ের জন্য একটি বিখ্যাত পরীক্ষা সম্পাদন করেন। এটি **মাইকেলসন-মোরলে পরীক্ষা** নামে সুপরিচিত। এই পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয় যে, মহাবিশ্বে ইথারের কোনো অস্তিত্ব নেই।

পরীক্ষার বর্ণনা : একটি একরঙা আলোক উৎস S থেকে আগত আলোক রশ্মি একটি অর্ধস্বচ্ছ কাচপাত P এর উপর আপতিত হয়। কাচপাত P আপতিত রশ্মির সাথে 45° কোণে রাখা হয়। আপতিত রশ্মি কাচপাত P দ্বারা দুভাগে বিভক্ত হয় (চিত্র ৮.২)।

প্রতিফলিত অংশ আপতিত রশ্মির সমকোণে চলে B অবস্থানে রাখা M_1 সমতল দর্পণে লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রতিফলনের পর P পাতে ফিরে আসে এবং P পাতে প্রতিসরণের পর টেলিস্কোপ T-তে প্রবেশ করে। সঞ্চালিত অংশ আপতিত রশ্মির আদি দিক বরাবর চলে A অবস্থানে রাখা M_2 দর্পণে লম্বভাবে আপতিত হয়ে প্রতিফলিত হয় এবং P পাতে ফিরে আসে। P পাতের নিচের পৃষ্ঠ থেকে প্রতিফলিত হয়ে টেলিস্কোপ T-তে প্রবেশ করে। প্রতিফলিত রশ্মি দুটির ব্যতিচারের দরুন ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি হয় যা T টেলিস্কোপের সাহায্যে দেখা যায়। যে রশ্মিটি ওপরের দিকের M_1 দর্পণে প্রতিফলিত হয় সেটি P পাতের পুরুত্বকে তিনবার অতিক্রম করে আর যে রশ্মিটি M_2 দর্পণে প্রতিফলিত হয় সেটি P পাতকে একবার অতিক্রম করে। P পাত থেকে দর্পণ M_1 ও M_2 এর কার্যকর দূরত্ব একই রাখার জন্য সমতা বিধানকারী পাত P_1 ব্যবহার করা হয়।

সমগ্র যান্ত্রিক ব্যবস্থাটিকে পারদের ওপর ভাসমান রাখা হয়। একটি বাহুকে (PA) সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর ঘূর্ণনের দিকবর্তী রাখা হয় এবং অন্য বাহুটিকে (PB) এই গতির দিকের সাথে সমকোণে রাখা হয়। রশ্মি দুটির গতিপথ এবং তাদের প্রতিফলক পৃষ্ঠ M_1 ও M_2 এর অবস্থান ভাঙ্গ ভাঙ্গা রেখা দিয়ে দেখানো হলো।



চিত্র : ৮.২

ধরা যাক, স্থির ইথারের সাপেক্ষে PA বরাবর যন্ত্রটি তথা পৃথিবীর বেগ v। PA বরাবর ভ্রমণরত আলোক রশ্মির আপেক্ষিক বেগ $(c - v)$ এবং প্রতিফলিত রশ্মির আপেক্ষিক বেগ $(c + v)$।

ধরা যাক, $PA = PB = d$

আলোকরশ্মির P থেকে A-তে পৌঁছাতে প্রয়োজনীয় সময় $= \dfrac{d}{c - v}$

আলোক রশ্মির A থেকে P-তে পৌঁছতে প্রয়োজনীয় সময় $= \dfrac{d}{c + v}$

$\therefore$ আলোক রশ্মির P থেকে A-তে যেয়ে পুনরায় P-তে ফিরে আসতে মোট সময়,

$$t = \frac{d}{c - v} + \frac{d}{c + v} = \frac{2cd}{c^2 - v^2} = \frac{2d}{c\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{2d}{c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} = \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{v^2}{c^2} + \cdots\cdots\right)^{১} \quad \cdots\cdots (8.1)$$

এখন P থেকে B-তে গমনকারী ঊর্ধ্বমুখী আলোক রশ্মিটি বিবেচনা করা যাক। পৃথিবীর গতির জন্য এটি M_1 দর্পণে আপতিত হবে B এর পরিবর্তে B' অবস্থানে। আলোক রশ্মির P থেকে যাত্রা শুরু করে M_1 দর্পণে পৌঁছতে যদি t_1 সময় লাগে তাহলে $PB' = ct_1$ এবং $BB' = vt_1$

এখন, $PB'P' = PB' + B'P' = 2P'B'$ যেহেতু $PB' = B'P'$

$(PB')^2 = PC^2 + (CB')^2 = (BB')^2 + PB^2$

অর্থাৎ $c^2 t_1^2 = v^2 t_1^2 + d^2 \quad \therefore t_1 = \dfrac{d}{\sqrt{c^2 - v^2}}$

$\therefore$ সম্পূর্ণ $PB'P'$ পথ অতিক্রমের জন্য আলোকরশ্মির মোট প্রয়োজনীয় সময়

$$t' = 2t_1 = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2d}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2d}{c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) \quad (8.2)$$

স্পষ্টত: $t' < t$। সুতরাং সময়ের পার্থক্য

$$\Delta t = t - t' = \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{2d}{c}\left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) = \frac{2d}{c} \times \frac{v^2}{2c^2} = \frac{dv^2}{c^3}$$

Δt সময়ে আলোকরশ্মি কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব $= c \times \Delta t = \dfrac{dv^2}{c^2}$

---

১ দ্বিপদী উপপাদ্য ব্যবহার করে।

এটি হচ্ছে আপতিত রশ্মির দুটি অংশের মধ্যে পথ পার্থক্য।

এখন যন্ত্রটিকে $90°$ কোণে ঘুরিয়ে দিলে আপতিত আলোক রশ্মির দুটি অংশের মধ্যে পথ পার্থক্য পাওয়া যাবে $\frac{2dv^2}{c^2}$। এই পথ পার্থক্যের কারণে টেলিস্কোপে ব্যতিচার ডোরার কিছু অপসরণ পরিলক্ষিত হওয়ার কথা। মাইকেলসন ও মোরলে এই অপসরণ আশা করেছিলেন 0.4। তাঁরা ধারণা করেছিলেন যে, তাঁরা 0.01 পর্যন্ত অপসারণ পরিমাপে সক্ষম হবেন। কিন্তু পরীক্ষায় তাঁরা কোনো ডোরা অপসরণ মাপতে সক্ষম হননি অর্থাৎ ব্যতিচার ডোরার কোনো অপসারণ ঘটেনি।

পরীক্ষার ফলাফল

মাইকেলসন ও মোরলে ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে এবং বিভিন্ন ঋতুতে এই পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করেন কিন্তু প্রতি বারই তারা ডোরা অপসরণ পরিমাপে ব্যর্থ হন। অর্থাৎ পরীক্ষা থেকে কোনো পর্যবেক্ষণযোগ্য ডোরা অপসরণ পরিলক্ষিত হয়নি। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায়, আলোর পথের পরিবর্তন ঘটালেও আলোর দ্রুতি পরিবর্তিত হয়নি। এ থেকে এটিও প্রমাণিত হয় যে, আলোর দ্রুতি একটি সার্বজনীন ধ্রুবক।

উপরিউক্ত পরীক্ষা থেকে তাঁরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, **এ মহাবিশ্বে ইথার নামক কল্পিত পদার্থের কোনো অস্তিত্ব নেই।**

৮.৪। আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব (Einstein's Theory of Relativity)

বিংশ শতাব্দীর শুরুতে বিজ্ঞান জগতে এক নতুন যুগের সূচনা হয়। আর এ নতুন যুগের সূচনা করেন বিজ্ঞানী আইনস্টাইন তাঁর আপেক্ষিকতা তত্ত্ব প্রবর্তনের মাধ্যমে। চিরায়ত বলবিজ্ঞানের মতে স্থান , কাল এবং ভর ধ্রুব। আইনস্টাইন এগুলো সম্পর্কে চিরায়ত বলবিজ্ঞানের ধারণাকে প্রত্যাখ্যান করেন এবং বলেন, স্থান, কাল এবং ভর এগুলো পরম কিছু নয়; এগুলো আপেক্ষিক। সুতরাং আইনস্টাইনের এ তত্ত্বকে বলা হয় আপেক্ষিকতা তত্ত্ব। আপেক্ষিকতা তত্ত্বটি দুটো ভাগে বিভক্ত। এগুলো হলো :

(ক) আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব (Special theory of relativity) এবং

(খ) আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব (General theory of relativity)

নিউক্লিয় ও পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞানের বিকাশের জন্য অপরিহার্য এবং বিংশ শতাব্দীর পদার্থবিজ্ঞানের দ্বিতীয় বৃহত্তম তত্ত্ব আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের প্রবর্তন করেন আইনস্টাইন ১৯০৫ সালে। **গতিবিজ্ঞানের সূত্র, স্থান, কাল এবং ভরের আপেক্ষিকতার বৈজ্ঞানিক মতবাদ এবং এ মতবাদ থেকে আইনস্টাইনের সিদ্ধান্তসমূহ আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব নামে পরিচিত।** আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্বের কথা আইনস্টাইন বলেন আরো এক দশক পরে ১৯১৫ সালে। **সার্বিক তত্ত্বে তিনি গ্রহ, নক্ষত্র, ধূমকেতু ইত্যাদির গতি, অভিকর্ষ এবং এ মহাবিশ্বের গঠন সম্পর্কিত তাঁর বৈজ্ঞানিক এবং দার্শনিক মতবাদ ব্যক্ত করেন।**

আপেক্ষিকতা তত্ত্বের যে দুটো গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারের উপর ভিত্তি করে আজকের নিউক্লিয় যুগের সূচনা হয়েছিল তা হলো ভরের আপেক্ষিকতা অর্থাৎ গতির সাথে ভরের পরিবর্তন এবং ভরকে শক্তিতে রূপান্তর। **আইনস্টাইনের মতে, ভর এবং শক্তির মধ্যে কোনো পার্থক্য নেই। এরা একই সত্তার দ্বৈত প্রকাশ।** আপেক্ষিকতা তত্ত্বের বিস্ময়কর অবদান ভরশক্তি সম্পর্ক, $E = mc^2$-এর অর্থ হলো কোনো পদার্থে যে শক্তি নিহিত থাকে তা তার ভর এবং আলোর বেগের বর্গের গুণফলের সমান। সুতরাং সামান্য পরিমাণ ভরের মধ্যে নিহিত রয়েছে প্রচুর শক্তি।

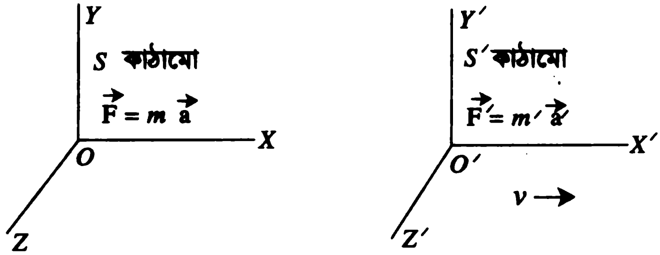
আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব দুটি মৌলিক স্বীকার্যের ওপর প্রতিষ্ঠিত। এগুলো হলো-

প্রথম স্বীকার্য : প্রথম স্বীকার্যকে আপেক্ষিকতার নীতি বলা হয়। একে নিম্নোক্তভাবে বিবৃত করা যায়-

বিবৃতি : সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলোর গাণিতিক রূপ একই থাকে।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, S' কাঠামো S-কাঠামোর সাপেক্ষে X-অক্ষ বরাবর v দ্রুতিতে গতিশীল (চিত্র ৮.৩)। S কাঠামোতে নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্রটি হলো $\vec{F} = m\vec{a}$ । S' কাঠামোতে এই সূত্রটির রূপ হবে

$$\vec{F'} = m'\vec{a'}$$

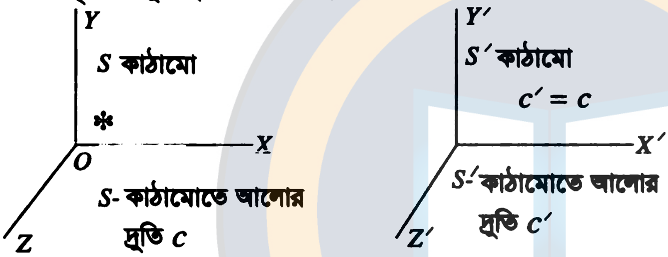


চিত্র : ৮.৩

প্রথম স্বীকার্যের মতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলো পরম, সার্বজনীন এবং সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট একই। এক জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের নিকট এই সূত্রগুলো খাটলে অপর জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের জন্যও খাটবে।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : দ্বিতীয় স্বীকার্যকে বলা হয় আলোর দ্রুতির ধ্রুবতার নীতি। স্বীকার্যটিকে নিম্নোক্তভাবে বিবৃত করা যায়–

বিবৃতি : শূন্যস্থানে সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর দ্রুতি c এর মান একই।



চিত্র : ৮.৪

ব্যাখ্যা : দ্বিতীয় স্বীকার্যে বিবৃত বিষয়টি আমাদের সাধারণ জ্ঞান ও দৈনন্দিন অভিজ্ঞতার পরিপন্থী এবং একে মেনে নেওয়া খুবই কষ্টকর।

মনে করা যাক, তিনজন পর্যবেক্ষক O_1, O_2 ও O_3 যথাক্রমে তিনটি জড়প্রসঙ্গ কাঠামো S_1, S_2 ও S_3 তে রয়েছেন। কাঠামো S_2, S_1 থেকে $c/4$ দ্রুতিতে দূরে সরে যাচ্ছে এবং S_3, S_1 এর দিক $c/4$ দ্রুতিতে এগিয়ে আসছে। S_1 জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর পর্যবেক্ষক O_1 একটি আলোক ঝলক নিঃসরণ করলেন এবং আলোর দ্রুতি পরিমাপ করলেন c। যেহেতু O_2, O_1 থেকে $c/4$ দ্রুতিতে দূরে চলে যাচ্ছেন, সুতরাং আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা অনুসারে পর্যবেক্ষক O_2 এর আলোর দ্রুতি পরিমাপ করার কথা $c - \frac{c}{4} = \frac{3}{4}c$ এবং O_3 এর আলোর দ্রুতি পরিমাপ করার কথা $c + \frac{c}{4} = \frac{5}{4}c$। কিন্তু দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে এটা সম্ভব নয়। সকলেই আলোর দ্রুতি c পরিমাপ করবেন।

ধরা যাক, শূন্যস্থানে S' কাঠামো S-কাঠামোর সাপেক্ষে X-অক্ষ বরাবর v দ্রুতিতে গতিশীল। S কাঠামোতে একটি আলোক শিখা প্রজ্বলিত হলো (চিত্র ৮.৪)। S-কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক আলোর দ্রুতি পরিমাপ করলেন c এবং S'-কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক আলোর দ্রুতি পরিমাপ করলেন c'। এই স্বীকার্য অনুসারে, $c = c'$ হবে। অর্থাৎ উভয়েই আলোর দ্রুতি একই পরিমাপ করবেন। এই স্বীকার্য অনুসারে **আলোর দ্রুতি সার্বজনীন ধ্রুবক।**

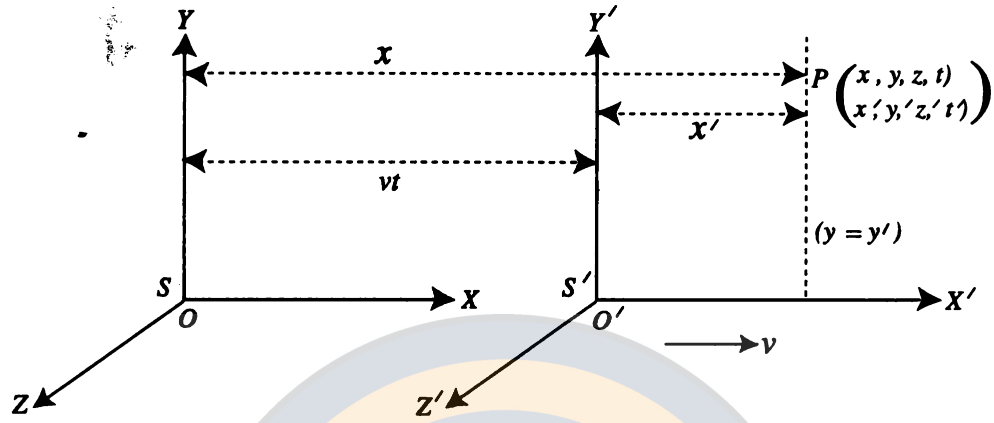
৮.৫। গ্যালিলীয় রূপান্তর (Galilean Transformation)

চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের যে সকল সমীকরণ পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুববেগে গতিশীল দুটি প্রসঙ্গ কাঠামোর সময় ও স্থানাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে তাদের **গ্যালিলীয় রূপান্তরও** বলা হয়। একে নিউটনের রূপান্তরও বলা হয়।

গ্যালিলীয় রূপান্তর এর সমীকরণগুলোকে নিম্নোক্তভাবে বের করা যেতে পারে।

ধরা যাক, S এবং S' দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামো। S' কাঠামোটি S এর সাপেক্ষে X অক্ষের দিকে v ধ্রুব বেগে গতিশীল। ধরা যাক, P বিন্দুতে একটি ঘটনা সংঘটিত হলো। মনে করা যাক, S এ অবস্থানরত একজন পর্যবেক্ষক O, এই কাঠামোতে t সময়ে সংঘটিত এই ঘটনার স্থানাঙ্ক পর্যবেক্ষণ করলেন x, y, z। এখন S' এ অবস্থিত অন্য পর্যবেক্ষক

O' দেখতে পাবেন একই ঘটনা t' সময়ে ঘটেছে এবং তার স্থানাঙ্ক হলো x', y', z' (চিত্র ৮.৫ক)। x, y, z, t এবং x', y', z', t' এর মধ্যে সম্পর্ক হলো-



চিত্র : ৮.৫ ক

$x' = x - vt$ ... (8.3)

$y' = y$ ... (8.4)

$t' = t$ ... (8.5)

এবং আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা থেকে

$t = t'$ ... ... (8.6)

(8.3) থেকে (8.6) পর্যন্ত সমীকরণগুলো গ্যালিলীয় রূপান্তর নামে পরিচিত।

এখন এই সমীকরণগুলোকে সময়ের সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করে S এবং S' কাঠামোর জন্য বেগের উপাংশগুলো পাওয়া যায়,

$$V_{x'} = \frac{dx'}{dt'} = \frac{d}{dt}(x - vt) = \frac{dx}{st} - v\frac{dt}{dt} = V_x - v \qquad (8.7)$$

$$V_{y'} = \frac{dy'}{dt'} = V_y \quad ... \quad ... \qquad (8.8)$$

$$V_{z'} = \frac{dz'}{dt'} = V_z \quad ... \quad ... \qquad (8.9)$$

বিপরীত গ্যালিলীয় রূপান্তর : আমরা যদি S' কাঠামোর পরিমাপকে S কাঠামোর পরিমাপ রূপান্তরিত করতে চাই তাহলে v এর স্থলে $-v$ বসাতে হবে এবং x', y', z', t' এবং x, y, z, t কে পরস্পর বিনিময় করতে হবে। এভাবে যে রূপান্তর পাওয়া যায় তা হলো বিপরীত গ্যালিলীয় রূপান্তর। সুতরাং

$x = x'$ ... ... (8.10)

$y = y'$ ... ... (8.11)

$z = z'$ ... ... (8.12)

$t = t'$ ... ... (8.13)

গ্যালিলীয় রূপান্তরের সীমাবদ্ধতা : গ্যালিলীয় রূপান্তর এবং বেগ রূপান্তর উভয়েই আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের স্বীকার্য দুটোকে লঙ্ঘন করে।

(১) প্রথম স্বীকার্য অনুসারে S এবং S' কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলোকে একই প্রকার সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা উচিত। কিন্তু তড়িৎবিজ্ঞান ও চৌম্বকত্বের বেলায় এক কাঠামোর জন্য প্রযোজ্য সমীকরণগুলো অন্য কাঠামোর জন্য লিখতে গেলে তা পৃথক আকারের হয় যা প্রথম স্বীকার্যের লঙ্ঘন।

(২) দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে আলোর দ্রুতি c, S এবং S' এই উভয় কাঠামোতে একই হবে। S কাঠামোতে X অক্ষের দিকে পরিমাপ করে আলোর দ্রুতি আমরা যদি c পাই, S' কাঠামোতে (8.7) নং সমীকরণ অনুসারে এর মান হবে $c' = c - v$ অর্থাৎ আলোর দ্রুতি পর্যবেক্ষকের দ্রুতির উপর নির্ভরশীল। এটি দ্বিতীয় স্বীকার্যের লঙ্ঘন।

সুতরাং এটা সুস্পষ্ট যে, আপেক্ষিকতার তত্ত্বকে যদি সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা করতে হয় তবে অন্য একটি রূপান্তর খুঁজে বের করতে হবে।

৮.৬। লরেন্টজ রূপান্তর (Lorentz Transformation)

পরীক্ষার ভিত্তির ওপর প্রতিষ্ঠিত আইনস্টাইনের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে আলোর দ্রুতি পর্যবেক্ষকের ওপর নির্ভরশীল নয়। কিন্তু গ্যালিলীয় রূপান্তর অনুসারে আলোর দ্রুতি পর্যবেক্ষকের গতির ওপর নির্ভরশীল। আইনস্টাইন গ্যালিলীয় রূপান্তর এবং দ্বিতীয় স্বীকার্যের মধ্যে অসঙ্গতি খুঁজে পান। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ সত্য বলে তিনি দ্বিতীয় স্বীকার্যকে পরিত্যাগ করতে পারলেন না। সুতরাং চিরায়ত বলবিজ্ঞানে গ্যালিলীয় রূপান্তর আপাত সাফল্য অর্জন করলেও এবং সাধারণ অভিজ্ঞতার কাছে এর অবদান থাকলেও আইনস্টাইনকে স্বীকার্য দুটির সাথে মিল আছে এমন একটি রূপান্তর খুঁজতে হয় যা গ্যালিলীয় রূপান্তরের স্থান দখল করতে পারে এবং যথোপযুক্ত শর্তাবলির মাধ্যমে গ্যালিলীয় রূপান্তরে পৌঁছতে পারে।

১৯৩০ সালে এইচ. এ. লরেন্টজ (H. A. Lorentz)-এর তাড়িতচৌম্বক তত্ত্বের মধ্য দিয়ে এ সমীকরণগুলো জন্মলাভ করেছিল বলে এদেরকে লরেন্টজ রূপান্তর বলা হয়।

লরেন্টজ রূপান্তর সমীকরণগুলো নিচে দেওয়া হলো :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (8.14)$$

$$y' = y \qquad (8.15)$$

$$z' = z \qquad (8.16)$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (8.17)$$

বিপরীত লরেন্টজ রূপান্তর (Inverse Lorentz Transformation) : আমরা যদি S' কাঠামোর পরিমাপকে S কাঠামোর পরিমাপে রূপান্তরিত করতে চাই তাহলে v এর স্থলে $-v$ বসাতে হবে এবং x', y', z', t' এবং x, y, z, t কে পরস্পর বিনিময় করতে হবে। এভাবে যে রূপান্তর পাওয়া যায় তা হলো বিপরীত লরেন্টজ রূপান্তর।

বিপরীত লরেন্টজ রূপান্তর সমীকরণগুলো হলো

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \qquad (8.18)$$

$$y = y' \qquad (8.19)$$

$$z = z' \qquad (8.20)$$

$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \qquad (8.21)$$

লরেন্টজ রূপান্তরের বিশেষত্ব : লরেন্টজ রূপান্তরের দুটি সুস্পষ্ট দিক রয়েছে যা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। প্রথমটি হলো, সময় এবং অবস্থানের পরিমাপ পর্যবেক্ষকের প্রসঙ্গ কাঠামোর উপর নির্ভরশীল এবং একটি কাঠামোতে পৃথক স্থানে দুটি ঘটনা যুগপৎ ঘটলেও অন্য কাঠামোতে যুগপৎ নাও ঘটতে পারে। দ্বিতীয়টি হলো, S এবং S' এর আপেক্ষিক বেগ v আলোর বেগের তুলনায় অত্যন্ত কম হলে লরেন্টজ রূপান্তর গ্যালিলীয় রূপান্তরে পরিবর্তিত হয়ে যায়।

যখন $v << c$, তখন $\frac{v}{c} \approx 0$

এবং লরেন্টজ রূপান্তরের সমীকরণগুলো দাঁড়ায়—

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - 0}} = x - vt$$

এবং $y' = y$

$z' = z$

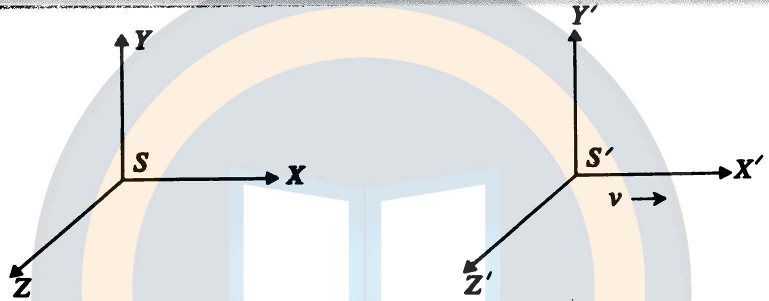
$t' = t$

যা আসলে গ্যালিলীয় রূপান্তর সমীকরণ।

যখন বস্তুর দ্রুতি আলোর দ্রুতির কাছাকাছি তখনই লরেন্টজ রূপান্তর প্রয়োগ করা হয়।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড ঃ লরেন্টজ রূপান্তর সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

সংকেত : কাঠামো S এবং S' বিবেচনা করা যাক (চিত্র : ৮.৫ খ)। S', S এর সাপেক্ষে v বেগে X-অক্ষ বরাবর গতিশীল।



চিত্র ৮.৫ খ : S' কাঠামোটি S কাঠামোর সাপেক্ষে X অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল।

এখানে আদি শর্ত হলো যখন $t = 0$ তখন S এবং S' এর মূলবিন্দু মিলে যাবে এবং তখন t' এর মানও শূন্য অর্থাৎ $t' = 0$। মনে করি, $t = t' = 0$ সময়ে সাধারণ মূলবিন্দু থেকে একটি আলোক শিখা হঠাৎ প্রজ্বলিত করা হলো এবং উভয় কাঠামোর পর্যবেক্ষক আলোক শিখা থেকে ছড়িয়ে পড়া আলোর দ্রুতি পরিমাপ করতে চাইলেন। দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে উভয় পর্যবেক্ষক একই বা অভিন্ন দ্রুতি c পরিমাপ করবেন। অর্থাৎ S কাঠামোতে,

$x = ct$ ... ... (1)

এবং S' কাঠামোতে

$x' = ct'$ ... ... (2)

এখন এমন রূপান্তর সমীকরণ বের করতে হবে যা একই সঙ্গে সমীকরণ (1) ও (2) এর বেলায় খাটে।

নতুন সমীকরণ এমন হতে হবে যাতে S কাঠামোর একটি একক ঘটনা S' কাঠামোর একটি ঘটনার আনুষঙ্গিক হবে। এই সমীকরণ হতে হবে সহজ, যাতে একে সরল করে গ্যালিলীয় রূপান্তর সমীকরণ পাওয়ার সম্ভাবনা থাকবে। যেহেতু X স্থানাঙ্কের জন্য চিরায়িত রূপান্তর সমীকরণ পাওয়া যায়,

$x' = x - vt$ এবং $x = x' + vt'$

সুতরাং এর পরবর্তী সবচেয়ে সাধারণ রৈখিক সমীকরণ হলো,

$x' = k(x - vt)$ ... ... (3)

এবং $x = k(x' + vt')$ ... ... (4)

এখানে k হলো সমানুপাতিক গুণক যা x এবং t এর উপর নির্ভর করে না, কিন্তু v এর আপেক্ষিক হতে পারে।

y এবং x অক্ষের দিকে কোনো আপেক্ষিক বেগ নেই, সুতরাং গ্যালিলীয় রূপান্তরের ন্যায়,

$y' = y$ ... ... (5)

$z' = z$ ... ... (6)

কিন্তু সময় t এবং t' সমান নয়। (3) নং সমীকরণ থেকে x' এর মান (4) নং সমীকরণে বসিয়ে দেখা যায়,

$$x = k\,[k\,(x - vt) + vt']$$

বা, $x = k^2x - k^2vt + kvt'$

বা, $kvt' = x - k^2x + k^2vt = (1 - k^2)\,x + k^2vt$

বা, $t' = kt + \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right) x$ ... ... (7)

এখন, (3) এবং (7) থেকে x' এবং t' এর মান (2) সমীকরণে বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$k(x - vt) = c\left[kt + \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)x\right]$$

বা, $kx - kvt = ckt + \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right) cx$ বা, $kx - \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)cx = ckt + kvt$

বা, $x\left[k - \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)c\right] = ckt + kvt$ বা, $x = \dfrac{ct\left(k + \frac{kv}{c}\right)}{\left[k - \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)c\right]}$

আবার, (1) সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $x = ct$

$\therefore\ ct\left[\dfrac{\left(k + \frac{kv}{c}\right)}{k - \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)c}\right] = ct$ বা, $k + \frac{kv}{c} = k - \left(\frac{1 - k^2}{kv}\right)c$

বা, $k^2v^2 = -(1 - k^2)\,c^2$

বা, $k^2v^2 = -c^2 + k^2c^2$

বা, $k^2(c^2 - v^2) = c^2$ বা, $k^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}$

বা, $k^2 = \dfrac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ [হর ও লবকে c^2 দ্বারা ভাগ করে]

$\therefore\ k = \dfrac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (8)

এখন (3) এবং (7) নং সমীকরণে k এর মান বসালে কোনো ঘটনা S কাঠামোতে সংঘটিত হওয়ার সময় ও স্থানাঙ্ক এবং S' কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনার সময় ও স্থানাঙ্ক এর সম্পর্কযুক্ত নিম্নলিখিত সমীকরণগুলো পাওয়া যায়,

$x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... . (9)

$y' = y$ ... ... (10)

$z' = z$ ... ... (11)

$t' = \dfrac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (12)

এ সমীকরণগুলোই লরেন্টজ রূপান্তর নামে পরিচিত।

৮.৭। সময়ের আপেক্ষিকতা : কাল দীর্ঘায়ন বা সময় সম্প্রসারণ
The Relativity of time : Time Dilation

কাল বা সময়ের পরিমাপ পর্যবেক্ষক ও যা পর্যবেক্ষণ করা হচ্ছে তার আপেক্ষিক গতি দ্বারা প্রভাবিত হয়। গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। অর্থাৎ যে ঘড়ি কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল সেই ঘড়িটি যদি গতিশীল না হয়ে নিশ্চল থাকত তাহলে যে সময় দিত তার চেয়ে গতিশীল অবস্থায় কম সময় দেবে।

কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী কাল ব্যবধান ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় সংঘটিত ঐ একই ঘটনাদ্বয়ের মধ্যবর্তী কাল ব্যবধানের চেয়ে বেশি হয়, এই প্রভাবকে কাল দীর্ঘায়ন বলে।

ধরা যাক, মহাশূন্যযানে অবস্থানকারী কোনো ব্যক্তি মহাশূন্যযানে ঘটা দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী সময় বা কাল ব্যবধান t_0 নির্ণয় করলেন। ভূ-পৃষ্ঠ থেকে কোনো ব্যক্তি ঐ সময় ব্যবধান নির্ণয় করলেন t । দেখা যাবে যে, সময় ব্যবধান t, সময় ব্যবধান t_0 এর চেয়ে দীর্ঘতর। সময় ব্যবধান t_0 কে (যা পর্যবেক্ষকের প্রসঙ্গ কাঠামোতে একই স্থানে ঘটা দুটি ঘটনার সময় ব্যবধান) ঘটনা দুটি ঘটার মধ্যবর্তী প্রকৃতকাল বা প্রকৃত সময় (Proper time) বলা হয়। যে ব্যক্তি ভূ-পৃষ্ঠ থেকে সময় পরিমাপ করছেন তার কাছে সময় ব্যবধানের শুরু ও শেষ দুটি পৃথক স্থানে ঘটছে ফলে সময় ব্যবধান প্রকৃত সময়ের চেয়ে দীর্ঘায়িত বলে দেখা দিচ্ছে। এই প্রভাবকে বলা হয় কাল দীর্ঘায়ন (time dilation)।

সময় t_0 ও t এর মধ্যে সম্পর্ক হলো

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (8.22)$$

কোনো গতিশীল বস্তুর জন্য $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ রাশিটি সব সময় 1 এর চেয়ে ছোট, তাই t সবসময়ই t_0 এর চেয়ে বড়। সমীকরণ (8.22) কালদীর্ঘায়ন প্রকাশকারী সমীকরণ।

সুতরাং ভূ-পৃষ্ঠে অবস্থানকারী কোনো পর্যবেক্ষক এটা দেখতে পাবেন যে চলন্ত মহাশূন্যযানে অবস্থিত কোনো ঘড়ি ভূ-পৃষ্ঠে অবস্থিত নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীর গতিতে চলবে। আপেক্ষিক গতি v এর মান যত বেশি হবে গতিশীল ঘড়ি তত ধীরে চলবে এবং কাল দীর্ঘায়ন তত বেশি হবে। t_0 কে বলা হয় যথোপযুক্ত বা প্রকৃত সময় (proper time)।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। এর ওপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর।

সংকেত : কল্পনা করা যাক যে, গতিশীল S' কাঠামোর x' বিন্দুতে একটি ঘড়ি রয়েছে। S' কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক কোনো সময় t'_1 নির্ণয় করলে স্থির S কাঠামোতে অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষক তা নির্ণয় করবেন t_1। কিছুকাল অতিবাহিত হওয়ার পর S' এর পর্যবেক্ষক সময় নির্ণয় করলেন t'_2 এবং S-এর পর্যবেক্ষক সময় নির্ণয় করলেন t_2।

গতিশীল কাঠামোর পর্যবেক্ষকের ঘড়ি অনুসারে সময় বা কাল ব্যবধান t_0 হবে,

$$t_0 = t'_2 - t'_1 \quad \ldots \quad \ldots \qquad (8.23)$$

কিন্তু S কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক একই কাল ব্যবধান নির্ণয় করলেন t, যেখানে $t = t_2 - t_1$। বিপরীত লরেন্টজ রূপান্তর থেকে আমরা জানি যে,

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \text{ এবং } t_2 = \frac{t'_2 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

যেহেতু $t = t_2 - t_1 = \dfrac{t'_2 + \dfrac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - \dfrac{t'_1 + \dfrac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

$$= \frac{t'_2 + \frac{vx'}{c^2} - t'_1 - \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

সুতরাং $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (8.24)

সুতরাং গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। কোনো গতিশীল বস্তুর জন্য $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ রাশিটি সব সময় 1 এর চেয়ে ছোট, তাই t সবসময়ই t_0 এর চেয়ে বড়। সমীকরণ (8.24) কালদীর্ঘায়ন প্রকাশকারী সমীকরণ।

নিশ্চল কাঠামোতে অবস্থিত একটি ঘড়ি গতিশীল কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনাগুলোর মধ্যবর্তী কাল ব্যবধান গতিশীল কাঠামোতে অবস্থিত ঘড়ির চেয়ে অধিক নির্ণয় করবে। অর্থাৎ গতিশীল কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনাগুলোর বেলায় একটি নিশ্চল কাঠামোতে অবস্থিত ঘড়ি গতিশীল কাঠামোতে অবস্থিত ঘড়ির চেয়ে অধিক কাল ব্যবধান নির্ণয় করবে। একটি উদাহরণ বিবেচনা করা যাক। মনে করা যাক, গতিশীল কাঠামোতে একটি ঘটনা সংঘটিত হলো। গতিশীল কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক এর কাল ব্যবধান তথা ঘটনা সংঘটনের সময় হিসেব করলেন t_o। স্থির কাঠামোতে অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষক এই কাল ব্যবধান হিসেব করলেন t। ধরা যাক, কাঠামো দুটির আপেক্ষিক বেগ $v = 0.98\ c$, যেখানে c আলোর বেগ।

সুতরাং

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{(0.98\ c)^2}{c^2}}} = \frac{t_0}{\sqrt{1 - 0.9604}}$$

$$= \frac{t_0}{\sqrt{0.04}} = \frac{t_0}{0.2} = \frac{t_0}{1/5} = 5t_0$$

সুতরাং গতিশীল কাঠামোর ঘড়ি যে কাল ব্যবধান t_0 পরিমাপ করে, নিশ্চল কাঠামোতে অবস্থিত ঘড়ি উক্ত কাল ব্যবধান পরিমাপ করে $5t_0$, অর্থাৎ গতিশীল কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক ঐ কাঠামোতে কোনো কাজের জন্য যে সময় ব্যয় করেন, স্থির কাঠামোর কোনো পর্যবেক্ষকের কাছে মনে হবে ঐ পর্যবেক্ষক ঐ কাজের জন্য পাঁচগুণ বেশি সময় ব্যয় করেছেন। এটিই কাল দীর্ঘায়ন। সুতরাং গতিশীল কাঠামোর ঘড়ি যখন একটি 'টিক' দেয় নিশ্চল কাঠামোর ঘড়ি তখন পাঁচটি 'টিক' দেয়। এর অর্থ গতিশীল কাঠামোর ঘড়িতে এক সেকেন্ড অতিবাহিত হলে নিশ্চল কাঠামোর ঘড়িতে পাঁচ সেকেন্ড অতিবাহিত হবে। অর্থাৎ নিশ্চল কাঠামোর ঘড়িটি গতিশীল কাঠামোর ঘড়ি অপেক্ষা পাঁচগুণ দ্রুত চলে।

৮·৮। দৈর্ঘ্যের আপেক্ষিকতা : দৈর্ঘ্য সংকোচন

The Relativity of Length : Length Contraction

সময় পরিমাপের মতো আপেক্ষিক গতি দ্বারা দৈর্ঘ্য পরিমাপও প্রভাবিত হয়।

চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের মতে বস্তুর সাপেক্ষে পর্যবেক্ষকের বেগ যাই হোক না কেন সকল পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুর দৈর্ঘ্য সমান বা অভিন্ন থাকে। কিন্তু আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে গতির সাথে বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে।

কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল বস্তুর দৈর্ঘ্য ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় ঐ একই বস্তুর দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হয়, এই প্রভাবকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলা হয়।

যদি পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য হয় L এবং যদি ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় একই বস্তুর দৈর্ঘ্য হয় L_0, তাহলে L সব সময়ই L_0 এর চেয়ে ছোট হবে। অর্থাৎ কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থায় দৈর্ঘ্য ঐ বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট। এখানে L_0 কে বলা হয় যথোপযুক্ত বা প্রকৃত দৈর্ঘ্য (Proper length).

দৈর্ঘ্য সংকোচনের সমীকরণটি হলো,

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.25)$$

এখানে L = পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য

L_0 = পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে স্থির অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য

v = আপেক্ষিক দ্রুতি

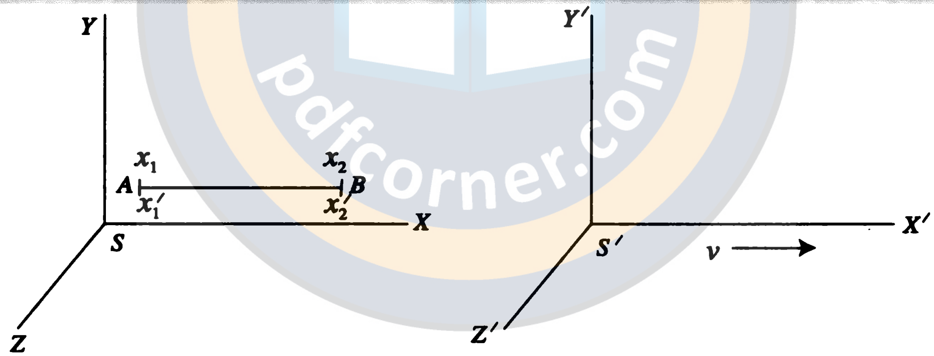
c = আলোর দ্রুতি

এখানে $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ সব সময়ই 1 এর চেয়ে ছোট। সুতরাং L সব সময় L_o এর চেয়ে ছোট।

সুতরাং কোনো দণ্ডের গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য দণ্ডটির নিশ্চল অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হবে। এই ঘটনাকে বলা হয় লরেন্টজ ফিটজেরাল্ড সংকোচন (Lorentz-Fitz Gerald contraction) বা স্থান সংকোচন।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : বিপরীত লরেন্টজ রূপান্তর সমীকরণসমূহ ব্যবহার করে গতিশীল অবস্থায় কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য তার নিশ্চল দৈর্ঘ্যের কত শতাংশ হবে তার জন্য রাশিমালা বের কর।

সংকেত : মনে করি, একটি কাঠামো S এ X অক্ষের বরাবর একটি দণ্ড AB রাখা আছে (চিত্র ৮.৬)। এ কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক দণ্ডটির দু'প্রান্তের স্থানাঙ্ক নির্ণয় করলেন x_1 এবং x_2। সুতরাং দণ্ডটির নিশ্চল অবস্থার দৈর্ঘ্য,



চিত্র: ৮.৬

$$L_0 = x_2 - x_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.26)$$

এখন একজন পর্যবেক্ষক দণ্ডটির সাপেক্ষে v বেগে গতিশীল অন্য একটি প্রসঙ্গ কাঠামো S' থেকে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য পরিমাপ করলেন। তা হবে,

$$L = x'_2 - x'_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.27)$$

বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর থেকে x_1 ও x_2 এর সাথে x'_1 এবং x'_2 এর সম্পর্ক হলো,

$$x_1 = \frac{x'_1 + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \text{ এবং } x_2 = \frac{x'_2 + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(8·26) নং সমীকরণ থেকে,

$L_0 = x_2 - x_1$

$$= \frac{x'_2 + vt'}{\sqrt{1 - v_2/c_2}} - \frac{x'_1 + vt'}{\sqrt{1 - v_2/c_2}} = \frac{x'_2 - x'_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\therefore L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.28)$$

এখন $\frac{L}{L_o}$ কে শতকরা হিসেবে প্রকাশ কর।

যেহেতু (8.25 বা 8.28) নং সমীকরণে S এবং S' কাঠামো দুটির আপেক্ষিক বেগ v এর বর্গ দ্বারা প্রকাশিত হয়েছে, সুতরাং যে কোনো কাঠামোকেই S এবং S' বলি না কেন তাতে কিছু আসে যায় না। উক্ত সমীকরণ থেকে আরো বোঝা যায় যে, বস্তুটি যে কাঠামোতে নিশ্চল সে কাঠামোতে তার দৈর্ঘ্য সর্বাধিক এবং যে কাঠামোতে সে গতিশীল সে কাঠামোতে তার দৈর্ঘ্য কম।

সাধারণ বেগের বেলায় আপেক্ষিক তত্ত্বীয় দৈর্ঘ্য সংকোচন অত্যন্ত কম এবং তা উপেক্ষা করা যেতে পারে। কিন্তু বস্তুর বেগ যখন আলোর কাছাকাছি তখন এই সংকোচন অনেক বেশি হয়।

৮.৯। ভরের আপেক্ষিকতা : ভরবৃদ্ধি (Relativity of Mass : Increase of Mass)

নিউটনীয় বলবিজ্ঞান থেকে আমরা জানি যে, বস্তুর ভর একটি ধ্রুবক। স্থান, কাল ও বেগের পরিবর্তনের ওপর এটি নির্ভরশীল নয় বা এটি পরিবর্তিতও হয় না। কিন্তু আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্বের মতে বস্তুর ভর কোনো ধ্রুবক নয়, আপেক্ষিক। বস্তুর বেগের সাথে ভরের একটি সম্পর্ক আছে এবং বস্তুর চলমান বা গতিশীল ভর ও নিশ্চল ভর সমান নয়। বস্তুর বেগ বৃদ্ধির সাথে সাথে ভর বৃদ্ধি পায়। পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে কোনো বস্তু যদি v দ্রুতিতে গতিশীল হয় তাহলে এর গতিশীল ভর পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে এর নিশ্চল ভরের চেয়ে $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ গুণ বেশি হবে।

মহাশূন্যে চলমান কোনো মহাশূন্যযানের ভর পৃথিবী থেকে মাপা হলে এর ভর পৃথিবীতে অবস্থিত এর নিশ্চল ভরের পরিমাপের চেয়ে বেশি হবে, কিন্তু একে দেখতে ছোট দেখাবে। মহাশূন্যযানের কোনো যাত্রী যদি পৃথিবীর নিশ্চল অবস্থার মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য ও ভর মাপেন তাহলে তিনি গতিশীল মহাশূন্যযানের চেয়ে নিশ্চল মহাশূন্য যানের দৈর্ঘ্য ছোট কিন্তু ভর বেশি মাপবেন (রকেটের যে দ্রুতি রয়েছে সে দ্রুতিতে এই প্রভাব অবশ্য পর্যবেক্ষণযোগ্য নয়)।

কোনো বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় ভর যদি m_0 হয় এবং এর চলমান অবস্থায় ভর যদি m হয় এবং বস্তুটি যদি v দ্রুতিতে গতিশীল হয় তাহলে m_0 ও m এর সম্পর্ককে নিচের সমীকরণ দিয়ে লেখা যায়,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.29)$$

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : আপেক্ষিকতা সংক্রান্ত কাল দীর্ঘায়নের সমীকরণ ব্যবহার করে কোনো বস্তুর নিশ্চল ভরের সাথে গতিশীল ভরের সম্পর্ক স্থাপন কর। লক্ষ্য কর যে, গতিশীল অবস্থায় বস্তুর ভর বৃদ্ধি পায়।

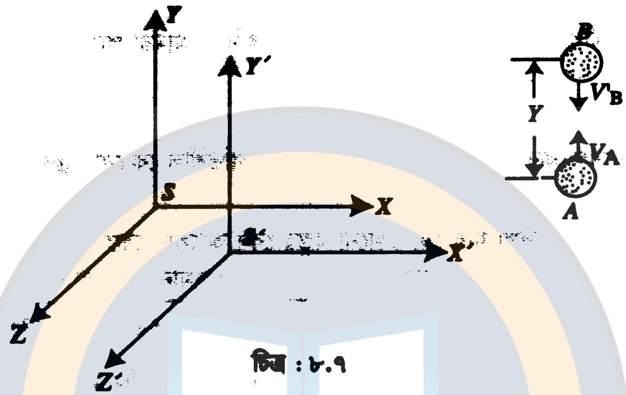
সংকেত : মনে করি, S এবং S' দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামো (চিত্র ৮.৭)। S' কাঠামোটি X অক্ষের অভিমুখে S কাঠামোর সাপেক্ষে v সমবেগে গতিশীল। এ কাঠামোগুলোতে অবস্থিত দু'জন পর্যবেক্ষক দুটি কণা A ও B এর স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ পর্যবেক্ষণ করছেন। কণা দুটির ভর সমান। যে প্রসঙ্গ কাঠামোতে A এবং B স্থির সে প্রসঙ্গ কাঠামোতে তাদের ধর্ম অভিন্ন।

মনে করি, সংঘর্ষের পূর্বে A কণাটি S কাঠামোতে এবং B কণাটি S' কাঠামোতে স্থির রয়েছে। একই মুহূর্তে A কণাটিকে V_A বেগে $+Y$ অক্ষের দিকে এবং B কণাটিকে V'_B বেগে $-Y'$ অক্ষের দিকে নিক্ষেপ করা হলো। এখানে $V_A = V'_B$.

সুতরাং S কাঠামো থেকে দেখা A এর ধর্ম এবং S' কাঠামো থেকে দেখা B-এর ধর্ম সম্পূর্ণভাবে অভিন্ন হবে। সংঘর্ষের পর $A, -Y$ অক্ষের দিকে V_A বেগে এবং $B, +Y'$ অক্ষের দিকে V'_B ফিরে আসে। কণাগুলো যদি Y দূরত্ব থেকে নিক্ষেপ করা হয় তাহলে উভয় পর্যবেক্ষক পর্যবেক্ষণ করবে যে সংঘর্ষটি $\frac{1}{2}Y$ দূরত্বে সংঘটিত হচ্ছে। সুতরাং S কাঠামোতে A এর ভ্রমণকাল হবে,

$$T_0 = \frac{Y}{V_A} \qquad \dots \qquad \dots \qquad (8.30)$$

S' কাঠামোতে B এর ভ্রমণকাল একই থাকবে।



চিত্র : ৮.৭

অতএব,

$$T_0 = \frac{Y}{V'_B} \qquad \dots \qquad \dots \qquad (8.31)$$

S কাঠামোতে ভরবেগ যদি সংরক্ষিত থাকে এবং কাঠামোটিতে m_A ও m_B, এবং V_A ও V_B যথাক্রমে A ও B এর ভর এবং বেগ হয় তাহলে ভরবেগের নিত্যতার সূত্র থেকে পাওয়া যায়,

$$m_A V_A = m_B V_B \qquad \dots \qquad \dots \qquad (8.32)$$

এখন S কাঠামোতে B এর ভ্রমণকাল যদি T হয় তাহলে

$$V_B = \frac{Y}{T} \qquad \dots \qquad \dots \qquad (8.33)$$

আমরা জানি, S' কাঠামোতে B এর ভ্রমণকাল T_0। কালদীর্ঘায়ন থেকে আমরা জানি, T এবং T_0 এর মধ্যে সম্পর্ক হলো,

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(8.33) নং সমীকরণে T এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$V_B = \frac{Y\sqrt{1 - v^2/c^2}}{T_0}$$

এবং (8.30) সমীকরণ থেকে $V_A = \frac{Y}{T_0}$

(8.32) নং সমীকরণে V_A এবং V_B এর মান বসালে, সমীকরণটি দাঁড়ায়,

$$m_A \frac{Y}{T_0} = m_B \frac{Y\sqrt{1 - v^2/c^2}}{T_0}$$

বা, $m_A = m_B\sqrt{1 - v^2/c^2}$

বা, $m_B = \dfrac{m_A}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (8.34)

উপরিউক্ত উদাহরণে A ও B উভয়েই S কাঠামোতে গতিশীল। বেগ V_A এবং V_B খুব কম হলে S কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক দেখবেন যে, A স্থির রয়েছে এবং B, A এর অভিমুখে v বেগে অগ্রসর হয়ে বক্রভাবে সংঘর্ষের পর চলতে শুরু করেছে। অতএব S কাঠামোতে,

$m_A = m_0$

এবং $m_B = m$

এখন (8.34) নং সমীকরণে m_A ও m_B এর নতুন মান বসিয়ে আমরা পাই,

$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (8.35)

সুতরাং কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে v আপেক্ষিক বেগে গতিশীল কোনো বস্তুর ভর, ঐ বস্তুর নিশ্চল ভরের চেয়ে বেশি।

সমীকরণ (8.35) থেকে দেখা যায় যে, কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হলে অর্থাৎ $v = c$ হলে বস্তুর ভর অসীম হয়ে যায়, যা সম্ভব নয় অর্থাৎ কোনো বস্তু আলোর বেগের সমান বেগে গতিশীল হতে পারে না।

বস্তুর দ্রুতি আলোর দ্রুতির যত কাছাকাছি পৌঁছাতে থাকে এর ভর তত তাৎপর্যপূর্ণভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে। বস্তুর দ্রুতি যখন আলোর এক-দশমাংশ অর্থাৎ $\frac{1}{10}c$ বা, 0.1 c তখন এর ভর বৃদ্ধি মাত্র শতকরা 0.5, দ্রুতি যখন আলোর দ্রুতির নয় দশমাংশ অর্থাৎ 0.9 c তখন এর ভর বৃদ্ধি শতকরা 100 ভাগেরও বেশি। পারমাণবিক কণিকা ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন, মেসন ইত্যাদির দ্রুতি এত বেশি যে এদের গতির বেলায় আপেক্ষিকতা প্রভাব বিবেচনায় আনতে হয় এবং এদের গতির ক্ষেত্রে পদার্থবিজ্ঞানের সাধারণ সূত্রগুলো খাটে না।

৮.১০। ভরশক্তি সম্পর্ক : $E = mc^2$ (Mass Energy Relation : $E = mc^2$)

আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের সাহায্যে একটি বিখ্যাত সম্পর্ক বের করেন। এটি হলো ভর ও শক্তির সম্পর্ক। ভরকে শক্তিতে রূপান্তরের সম্পর্ক নিম্নোক্তভাবে লেখা যায়,

$$E = mc^2 \quad \ldots \quad (8.36)$$

যেখানে, E = মোট শক্তি

m = বস্তুর ভর এবং

c = আলোর দ্রুতি

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : গতিশীল অবস্থায় বস্তুর ভর বৃদ্ধি পায় এই তথ্য ব্যবহার করে কোনো বস্তুর গতিশক্তি নির্ণয় করলে দেখা যায় যে, ভরকে শক্তিতে রূপান্তর করলে প্রচুর শক্তি পাওয়া সম্ভব। এই বিষয়ে একটি প্রতিবেদন তৈরি কর।

সংকেত : আমরা জানি যে, কোনো বস্তুকে নিশ্চল অবস্থা থেকে গতিশীল অবস্থায় আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাকে বস্তুর গতিশক্তি বলে। অর্থাৎ

বস্তুর গতিশক্তি = গতিশীল হতে বস্তু দ্বারা সম্পাদিত কাজ।

ধরা যাক, বস্তুটিকে গতিশীল করতে F বল প্রয়োগ করা হলো এবং বস্তুটি বলের দিকে ds পরিমাণ দূরত্ব গেল।

সুতরাং গতিশক্তি = Fds

বস্তুটি মোট দূরত্ব S হলে

মোট গতিশক্তি, $T = \int_0^s F ds$ ... ... (8.37)

আমরা জানি যে,

$$F = \frac{d}{dt}(mv)$$

এবং $\frac{ds}{dt} = v \quad \therefore ds = v\,dt$

এখন F ও ds এর মান বসিয়ে,

$$T = \int_0^{mv} \frac{d}{dt}(mv) \cdot vdt = \int_0^{mv} vd(mv) \quad \left[\because \text{ যখন } s = 0 \text{ তখন } mv = 0 \text{ এবং যখন } s = s, \text{ তখন } mv = mv\right]$$

$$= \int_0^{mv} v(vdm + mdv)$$

$$= \int_0^{mv} (v^2dm + mvdv) \quad ... \quad (8.38)$$

ভরের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি যে, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ।

এই সমীকরণটি বর্গ করে পাওয়া যায়,

$m^2 = \frac{m_0^2}{1-v^2/c^2}$ বা, $(1 - v^2/c^2)\, m^2 = m_0^2$

বা, $\left(\frac{c^2-v^2}{c^2}\right) m^2 = m_0^2$ বা, $m^2c^2 - m^2v^2 = m_0^2c^2$

এই সমীকরণকে অন্তরীকরণ করে পাওয়া যায় যে,

$2mc^2dm - (2mv^2dm + 2vm^2dv) = 0$

উপরোক্ত সমীকরণকে $2m$ দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$c^2dm - v^2dm = mvdv$

বা $mvdv + v^2dm = c^2dm$

এই মান (8.38) সমীকরণে বসালে,

$$T = \int_{m_0}^{m} c^2dm \quad \left[\because \text{ যখন } mv = 0 \text{ তখন } m = m_0 \text{ এবং যখন } mv = mv \text{ তখন } m = m\right]$$

এখানে m_0 হলো নিশ্চল ভর।

$$\therefore T = c^2 \int_{m_0}^{m} dm$$

$$= c^2 [m]_{m_0}^{m} = c^2(m - m_0)$$

$\therefore T = mc^2 - m_0c^2$

বা, $T + m_0c^2 = mc^2$ ... ... (8.39)

কিন্তু মোট শক্তি, $E = T + m_0c^2$ = গতিশক্তি + নিশ্চল শক্তি

$\therefore E = mc^2$ ... ... (8.40)

এই সমীকরণটি আইনস্টাইনের বিশেষ আপেক্ষিকতা তত্ত্বের অন্যতম ফসল যা হলো ভর শক্তির একটি রূপ। আবার শক্তির ও ভর রয়েছে বা শক্তিও ভরের একটি রূপ। ভরকে শক্তিতে রূপান্তর তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষমতার উৎস এবং নিউক্লিয় ক্ষমতা (বিদ্যুৎ) উৎপাদনের ভিত্তি।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১। একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে 2.4×10^8 ms^{-1} বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং 50 বছর পর (পৃথিবীর পঞ্জিকা হিসেবে) ফিরে এলেন। মহাশূন্যচারীর কাছে তার বয়স তখন কত হবে?

আমরা জানি যে,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_0 = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 50\, y \times \sqrt{1 - \frac{(2.4 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2}{(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2}}$$

$$= 50\, y \times \sqrt{0.36}$$

$= 30\, y$. $\therefore$ মহাশূন্যচারীর বয়স $= 30\, y + 30\, y = 60\, y$।

উ: $60\, y$

এখানে,
ভূপৃষ্ঠ থেকে নির্ণীত সময় ব্যবধান সময়, $t = 50$ y
আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
মহাশূন্যযানের দ্রুতি, $v = 2.4 \times 10^8$ ms^{-1}
মহাশূন্যযানে মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি, $t_0 = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.২। পৃথিবীতে একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 100 m. যখন এটা উড়ছিল তখন পৃথিবীতে অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষক এর দৈর্ঘ্য 99 m নির্ণয় করলেন। রকেটটির বেগ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{L}{L_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

বা, $\frac{99 \text{ m}}{100 \text{ m}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $0.99 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $0.98 = 1 - \frac{v^2}{c^2}$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0.98$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = 0.02$

$$v = \sqrt{0.02} \times c$$

$$= \sqrt{0.02} \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$= 4.2 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

উ: $v = 4.2 \times 10^7$ ms^{-1}

এখানে,
পৃথিবীতে দৈর্ঘ্য, $L_0 = 100$ m
চলমান দৈর্ঘ্য, $L = 99$ m
বেগ, $v = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৩। একটি ইলেকট্রন 0.99 c দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত? (ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)।

আমরা জানি যে,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

এখানে,
নিশ্চল ভর, $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg
ইলেকট্রনের দ্রুতি, $v = 0.99\ c$
চলমান ভর, $m = ?$

$$\therefore\ m = \frac{9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.99\ c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}{\sqrt{1 - (0.99)^2}} = 64.5 \times 10^{-31}\text{kg}$$

উ: 64.5×10^{-31}kg

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৪। একটি বস্তুকণার ভর 9.1×10^{-28} kg। এর পুরোটাই শক্তিতে রূপান্তরিত করা হলে কী পরিমাণ শক্তি পাওয়া যাবে (আলোর দ্রুতি $c = 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$)।

আমরা জানি যে,

শক্তি $E = mc^2$

$$\therefore\ E = 9.1 \times 10^{-28}\ \text{kg} \times (3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1})^2$$

$$= 8.19 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

উ: 8.19×10^{-11} J

এখানে,
বস্তুকণার ভর, $m = 9.1 \times 10^{-28}$ kg
আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$
শক্তি, $E = ?$

৮.১১। মৌলিক বল (Fundamental Forces)

আমরা আমাদের প্রাত্যহিক জীবনে দুটি বল সবসময়ই অনুভব করে থাকি। একটি হচ্ছে অভিকর্ষ বল—ভূপৃষ্ঠে বা তার নিকটে সকল বস্তুর ওপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল। অপরটি হচ্ছে ঘর্ষণ বল—কোনো তলের ওপর দিয়ে অপর তলের চলাচলের সময় যে বল উৎপন্ন হয়। এ ছাড়াও আমরা অন্য যে সকল বলের সাক্ষাৎ পাই সেগুলো হলো কোনো বিকৃত স্প্রিং-এর পুনরানয়ন বল, দুটি আহিত বস্তুর মধ্যকার স্থির তড়িৎ বল এবং একটি চুম্বক ও লোহার টুকরার মধ্যকার চৌম্বক বল। পরমাণু ও নিউক্লিয়াসের সূক্ষ্ম জগতেও বল ক্রিয়া করে। যেমন, পরমাণুর অভ্যন্তরে পারমাণবিক বলসমূহ পরমাণুর উপাদানসমূহকে একত্রে রাখে। নিউক্লিয় বল নিউক্লিয়াসের বিভিন্ন অংশে ক্রিয়া করে এই অংশগুলোকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার হাত থেকে রক্ষা করে। এ সকল বল জটিল দেখালেও প্রকৃতিতে কেবল চারটি মৌলিক বল এবং তাদের মধ্যকার ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া বা মিথস্ক্রিয়া (interaction) বিদ্যমান।

যে সকল বল মূল বা স্বাধীন অর্থাৎ যে সকল বল অন্য কোনো বল থেকে উৎপন্ন হয় না বা অন্য কোনো বলের কোনো রূপ নয় বরং অন্যান্য বল এই সকল বলের কোনো না কোনো রূপের প্রকাশ তাদেরকে মৌলিক বল বলে।

এই মৌলিক বলগুলো হলো :

১. মহাকর্ষ বল (Gravitational force)

২. তাড়িতচৌম্বক বল (Electromagnetic force)

৩. সবল নিউক্লিয় বল (Strong Nuclear force)

৪. দুর্বল নিউক্লিয় বল (Weak Nuclear force)

১. মহাকর্ষ বল : মহাবিশ্বের যে কোনো দুটি বস্তুর মধ্যকার পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বল বলে। কোনো বস্তুর ওজন হচ্ছে মহাকর্ষ বলের ফলশ্রুতি। যদিও স্থূল বস্তুগুলোর মধ্যকার মহাকর্ষ বল খুবই তাৎপর্যপূর্ণ হতে পারে, কিন্তু চারটি মৌলিক বলের মধ্যে মহাকর্ষ বল হচ্ছে দুর্বলতম বল। অবশ্য এই কথাটি প্রযোজ্য হয় মৌলিক কণাগুলোর পারস্পরিক বল বিবেচনা করে তাদের আপেক্ষিক সবলতার বিচারে। যেমন, কোনো হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের মধ্যকার মহাকর্ষ বল হচ্ছে $3{\cdot}6 \times 10^{-47}$ N; অপরপক্ষে এই কণা দুটির মধ্যকার স্থির তড়িৎ বল হচ্ছে $8{\cdot}2 \times 10^{-8}$ N। এখানে আমরা দেখি যে, স্থির তড়িৎ বলের তুলনায় মহাকর্ষ বল তাৎপর্যপূর্ণ নয়।

২. তাড়িতচৌম্বক বল : দুটি আহিত কণা তাদের আধানের কারণে একে অপরের ওপর যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তাকে তাড়িতচৌম্বক বল বলে। তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। যখন দুটি আহিত কণা স্থির থাকে তখন তাদের ওপর কেবল তড়িৎ বল ক্রিয়া করে। যখন আহিত কণাগুলো গতিশীল থাকে তখনকার একটি অতিরিক্ত তড়িৎ বল হচ্ছে চৌম্বক বল। যদিও দুটি আহিত মৌলিক কণার মধ্যকার তড়িৎ বল মহাকর্ষ বলের তুলনায় অনেক বেশি শক্তিশালী, তবুও সবলতার বিচারে তড়িৎ বল হচ্ছে মাঝারি ধরনের। লক্ষণীয় যে, আমাদের এই স্থূল জগতের যাবতীয় বলসমূহ (মহাকর্ষ বল ব্যতীত) তড়িৎ বলেরই বহিঃপ্রকাশ। ঘর্ষণ বল, স্পর্শ বল, স্প্রিং বা অন্যান্য বিকৃত বস্তুর মধ্যকার বল আহিত কণাগুলোর তড়িৎ বলেরই ফলশ্রুতি।

৩. সবল নিউক্লিয় বল : পরমাণুর নিউক্লিয়াসে নিউক্লিয় উপাদান তথা নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রে আবদ্ধ রাখে যে শক্তিশালী বল তাকে সবল নিউক্লিয় বল বলে। নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্বের জন্য অবদান রাখে যে বল তা হলো সবল নিউক্লিয় বল। এই বলই নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রে রাখার জন্য আঠার মতো কাজ করে। সবগুলো মৌলিক বলের মধ্যে এই বলই সবচেয়ে শক্তিশালী। এর পাল্লা 10^{-15} m, যা একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধের সমান। দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে সাথে সবল নিউক্লিয় বল হ্রাস পায় এবং 10^{-14}m এর বেশি দূরত্বে এ বল উপেক্ষণীয়।

৪. দুর্বল নিউক্লিয় বল : যে স্বল্প পাল্লার ও স্বল্পমানের বল নিউক্লিয়াসের মধ্যে মৌলিক কণাগুলোর মধ্যে ক্রিয়া করে অনেক নিউক্লিয়াসে অস্থিতিশীলতার উদ্ভব ঘটায় তাকে দুর্বল নিউক্লিয় বল বলে। এই বল কয়েকটি নিউক্লিয় বিক্রিয়ার জন্য দায়ী। এই বল অনেক নিউক্লিয়াসে অস্থিতিশীলতার উদ্ভব ঘটায়। অধিকাংশ তেজস্ক্রিয় ভাঙন বিক্রিয়াগুলো দুর্বল নিউক্লিয় বলের কারণে ঘটে থাকে।

মৌলিক বলসমূহের তুলনা

মৌলিক বলগুলোর তুলনা করা যাক। প্রত্যেকটি বলের পাল্লা তথা যে দূরত্ব পর্যন্ত বলগুলো ক্রিয়া করে তা বিবেচনা করা যাক। মহাকর্ষ বল এবং তাড়িতচৌম্বক বল হচ্ছে বিপরীতবর্গীয় বল। দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে সাথে এই বলগুলোর মান হ্রাস পায়, কিন্তু কখনো শূন্য হয় না। এই দুই বলের পাল্লা হচ্ছে অসীম। সবল নিউক্লিয় বলের পাল্লা খুবই কম; 10^{-15}m-এর বেশি দূরত্বে এই বল অনুভূত হয় না। দুর্বল নিউক্লিয় বলের পাল্লা আরো কম, 10^{-16}m এরও কম।

বলের পাল্লার মধ্যে অবস্থিত মৌলিক কণাগুলোর মধ্যকার বলের মান দ্বারা একটি বলের আপেক্ষিক সবলতা বিচার করা হয়। সবলতার একটি স্কেলে যদি মহাকর্ষ বলের সূচক 1 হয়, তাহলে দুর্বল নিউক্লিয় বলের সূচক 10^{30}, তাড়িতচৌম্বক বলের সূচক 10^{39} এবং সবল নিউক্লিয় বলের সূচক 10^{41} হয়।

মৌলিক বলসমূহের তুলনা

	মহাকর্ষ বল	তাড়িতচৌম্বক	সবল নিউক্লিয় বল	দুর্বল নিউক্লিয় বল
উদাহরণ	তারাগুলোকে একত্রে আবদ্ধ করে গ্যালাক্সি তৈরি করে।	ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ করে পরমাণু তৈরি করে।	প্রোটন ও নিউট্রনকে একত্রে আবদ্ধ করে নিউক্লিয়াস তৈরি করে।	নিউক্লিয় বিটা ভাঙনের জন্য দায়ী।
পাল্লা	অসীম	অসীম	10^{-15}m	10^{-16}m
আপেক্ষিক সবলতা	1	10^{39}	10^{41}	10^{30}

৮.১২। মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের ব্যবহার
Uses of Theory of Relativity in Space Travel

মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের যে বিষয়টি প্রাসঙ্গিক তা হলো কাল দীর্ঘায়ন। আমরা জানি যে, পৃথিবী থেকে কোনো ব্যক্তি মহাকাশ ভ্রমণে গেলে পৃথিবীর কোনো পর্যবেক্ষকের নিকট মহাকাশচারীর ঘড়ি, পৃথিবীতে অবস্থানকারী কোনো ব্যক্তির অভিন্ন ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। অর্থাৎ কম সময় দেয়। মহাকাশ ভ্রমণে এ বিষয়টি বিবেচনায় রাখতে হয়। এ প্রসঙ্গে আমরা যমজ কূটাভাসের (Twin paradox) কথা বলতে পারি। কূটাভাস হলো এমন ঘটনা যা আপাত দৃষ্টিতে সত্য মনে না হলেও আসলে সত্য।

যমজ কূটাভাস : কাল দীর্ঘায়নের একটি মজার ফলাফল বা পরিণতি হলো যমজ কূটাভাস। ২০ বছর বয়সী দুই যমজ ভাই সাদিক ও ইকবালকে নিয়ে একটি নিয়ন্ত্রিত পরীক্ষণ বিবেচনা করা যাক। সাদিক ভ্রমণবিলাসী সে পৃথিবী থেকে ৩০ আলোক বর্ষ দূরে একটি গ্রহে যেতে পৃথিবী থেকে রওনা হলো। তার মহাশূন্য যান প্রায় আলোর সমান দ্রুতিতে যেতে সক্ষম। গ্রহে পৌঁছার পর সাদিকের মন বাড়ির জন্য আনচান করতে লাগল। তাই সে একই দ্রুতিতে (আলোর কাছাকাছি দ্রুতিতে) পৃথিবীতে ফিরে এলো। পৃথিবীতে ফিরে সে দেখে অবাক হলো যে, পৃথিবীর অনেক কিছুই পরিবর্তিত হয়ে গেছে। সাদিকের যমজ ভাই ইকবালের বয়স প্রায় ৮০ বছর। আর সাদিকের বয়স তার চেয়ে কম হয়েছে প্রায় ১০ বছর। স্বাভাবিকভাবেই প্রশ্ন জাগতে পারে কোন যমজ ভাই (সাদিক না ইকবাল) একে অপরের তুলনায় আলোর কাছাকাছি দ্রুতিতে ভ্রমণ করেছে, সুতরাং কার বয়স বাড়েনি। এখানেই রয়েছে কূটাভাস (paradox) ইকবালের প্রসঙ্গ কাঠামোর সাপেক্ষে ইকবাল নিশ্চল কিন্তু সাদিক অত্যন্ত বেশি বেগ নিয়ে ভ্রমণ করেছে। সাদিকের মতে, যদিও ইকবাল পৃথিবীতে সাদিকের সাপেক্ষে দূরে চলে যাচ্ছে এবং পরে ফিরে আসছে। এটাই হলো অসঙ্গতি যে আমাদের উপরোক্ত ভবিষ্যদ্বাণী বা ধারণায় কোনো যমজ ভাই প্রকৃতপক্ষে বেশি বয়স্ক।

এই কূটাভাসের সমাধানের জন্য এটা মনে রাখতে হবে যে আমরা ভ্রমণকে যতোটা প্রতিসম মনে করছি আসলে তা নয়। মহাশূন্যচারী সাদিক তার ভ্রমণকালে ভিন্ন গ্রহে গমন ও পৃথিবীতে ফিরে আসতে একরাশ ত্বরণ ও মন্দনের অভিজ্ঞতা নিয়ে এসেছে। সুতরাং সে তার ভ্রমণকালের একটি বৃহৎ অংশে জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে ছিল না। সুতরাং এই প্রসঙ্গ কাঠামোতে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের ভিত্তিতে করা ভবিষ্যদ্বাণী খাটে না। অপরপক্ষে ইকবাল সকল সময়েই তার জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে রয়েছে, সুতরাং তার বেলায় আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের ভিত্তিতে সঠিক ভবিষ্যদ্বাণী করা সম্ভব। সুতরাং মহাশূন্যচারী সাদিককে পৃথিবীতে ফিরে আসার পর অল্প বয়সী মনে হবে। মহাকাশ ভ্রমণের সময় মহাশূন্যচারীকে কাল দীর্ঘায়নের ব্যাপারটি বিবেচনায় রাখতে হবে। কাল দীর্ঘায়নের কারণে অতিদ্রুতগামী মহাশূন্য যানের

আরোহী তার বয়স খুব কম থেকে যাবে। এর কারণ হলো মহাশূন্যযানের ঘড়ি, পৃথিবীতে থাকা পর্যবেক্ষকের ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলবে। মূলত কম সময় অতিবাহিত হবে। উদাহরণ হিসেবে বলা যায় যে, এক বছর ভ্রমণকাল পৃথিবীর ১০ বছরের সমান হতে পারে। পৃথিবীর ঘড়ির সময় অনুসারে কোনো মহাশূন্যযানে যাত্রী কোটি কোটি বছর পরেও পৃথিবীতে ফিরতে পারে। বাস্তব সমস্যার উপর ভিত্তি করে বর্তমান মহাশূন্য উড্ডয়ন প্রযুক্তিতে একটা তাত্ত্বিক সীমাবদ্ধতা রয়েছে। কারণ মহাশূন্য যানের দ্রুতি আলোর কাছাকাছি পৌঁছাতে হলে এর প্রচলনের (propulsion) জন্য যে শক্তির প্রয়োজন তার সীমাবদ্ধতা রয়েছে।

এছাড়া মহাশূন্য ভ্রমণে অত্যধিক দ্রুতিতে (আলোর কাছাকাছি দ্রুতিতে) স্থান সংকোচনের ব্যাপারটি মাথায় রাখতে হবে। মহাশূন্যচারীর দিকে অগ্রসর হওয়া কোনো যানকে স্থান সংকোচনের কারণে ছোট মনে হবে, অপর মহাশূন্যচারীও তাই দেখবেন। এছাড়া কোনো মহাশূন্যযান পৃথিবীতে ফেরার সময় পৃথিবীর পর্যবেক্ষক একে সে উচ্চতায় দেখবেন, মহাশূন্যচারী তার চেয়ে কম উচ্চতায় দেখবেন।

৮.১৩। কালো বস্তুর বিকিরণ : প্ল্যাঙ্কের ব্যাখ্যা
Blackbody Radiation : Planck's Explanation

যে বস্তু এর ওপর আপতিত সকল বিকিরণ শোষণ করে তাকে কালো বস্তু বলে। তাপগতি বিজ্ঞানের কালোবস্তুকে নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

যে বস্তু তার ওপর আপতিত সকল দৃশ্য ও অদৃশ্য তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ শোষণ করে তাকে কালো বস্তু বলে।

অন্য কথায়, যে বস্তু সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে তাকে আদর্শ কালো বস্তু বলে। আদর্শ কালো বস্তুকে উত্তপ্ত করলে এটি সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ নিঃসরণ করে। তাই একে কালো বস্তু বিকিরণও বলা হয়। অর্থাৎ কোনো আদর্শ কালো বস্তুর ওপর আপতিত সকল বিকিরণ শোষিত হয় আবার ঐ কালো বস্তুকে উত্তপ্ত করলে বস্তুটি সকল বিকিরণ নিঃসরণ করে। তাই বলা হয়, আদর্শ কালো বস্তু উত্তম শোষক ও উত্তম বিকিরক।

আমরা জানি যে, কোনো বস্তুতে যদি বিকিরণ আপতিত হয় তাহলে ঐ বিকিরণের কিছু অংশ বস্তুর দ্বারা শোষিত হয় এবং কিছু অংশ প্রতিফলিত হয় এবং বস্তুটি স্বচ্ছ হলে কিছু অংশ সঞ্চালিত হয়। a দিয়ে যদি বস্তুটিতে আপতিত বিকিরণের শোষিত অংশ, r দিয়ে প্রতিফলিত অংশ এবং t দিয়ে সঞ্চালিত অংশ বোঝায় তাহলে সাধারণ বস্তুর বেলায় $a + r + t = 1$। কিন্তু আদর্শ কালোবস্তুর বেলায় কোনো বিকিরণ প্রতিফলিত ও সঞ্চালিত হয় না। এক্ষেত্রে $r = 0$ এবং $t = 0$, সুতরাং $a = 1$। কালোবস্তু শোষণ ক্ষমতা 1 অর্থাৎ কালোবস্তু আপতিত বিকিরণের সম্পূর্ণটাই শোষণ করে। এটিই কালো ও বাস্তব বিকিরণের প্রধান পার্থক্য।

তাপ বিকিরণ নিয়ে পরীক্ষা নিরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, এই বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বণ্টন বর্ণালির অবলোহিত অঞ্চল থেকে শুরু করে দৃশ্যমান অঞ্চল ও অতিবেগুনি অঞ্চল পর্যন্ত বিস্তৃত।

চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের মতে, বস্তুর পৃষ্ঠের নিকটবর্তী আহিত কণা ত্বরিত হলে তাপ বিকিরণ উৎপন্ন হয় এবং ছোট অ্যানটেনার মতো বিকিরণ নিঃসরণ করে। তাপীয়ভাবে উত্তেজিত আহিত কণার ত্বরণের বিন্যাস এমন হয় যে, বস্তু দ্বারা বিকিরণের নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি নিঃসৃত হয়। উনবিংশ শতাব্দীর শেষের দিকে এটা সুস্পষ্ট হয়ে যায় যে, তাপ বিকিরণের চিরায়ত তত্ত্ব অপর্যাপ্ত কারণ, কালো বস্তু থেকে নিঃসৃত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বণ্টনের ব্যাখ্যা দিতে এটি সক্ষম হয় না। কালোবস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে, কালোবস্তু কর্তৃক নিঃসৃত মোটশক্তি বৃদ্ধি পায়। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, এই শক্তি বিকিরণের হার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। এ সময়ে ভীন বলেন কালো বস্তুর শক্তি বণ্টন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পঞ্চম ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক এবং মর্মে তিনি একটি সূত্র প্রদান করেন।

ভীনের সূত্র ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেলায় খাটে, কিন্তু দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেলায় খাটে না। প্রাথমিকভাবে তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারা এর ব্যাখ্যা সম্ভব হয় না। পরে **রেলি-জিন্স** (Rayleigh-Jeans) কোনো বস্তুর শক্তি বণ্টনের সম্পর্কে বলেন যে, তা' তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক এবং সেই মর্মে তাঁরা একটি সূত্র প্রদান করেন। দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যে রেলি-জিন্সের সূত্র পরীক্ষালব্ধ ফলের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ। কিন্তু ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যে এটি পরীক্ষালব্ধ ফলের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ নয়।

এই প্রেক্ষিতে ১৯০০ সালে **ম্যাক্সপ্লাঙ্ক** বলেন যে, বিকিরণ নিঃসরণকারী স্পন্দনশীল অণু শক্তির যে একক E নিঃসরণ করে তা ছিন্নায়িত এবং $E = hf$

এখানে f হলো অণুর কম্পনের কম্পাঙ্ক এবং h প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, যার মান 6.63×10^{-34} Js। অণুর শক্তিকে বলা হয় কোয়ান্টায়িত এবং অনুমোদিত শক্তি অবস্থাকে বলা হয় **কোয়ান্টাম অবস্থা**।

প্ল্যাঙ্ক শক্তি বণ্টনের যে সূত্রটি প্রদান করেন সেটি হচ্ছে $u(\lambda) = \dfrac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$

এখানে, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক = 6.63×10^{-34}Js, c = আলোর দ্রুতি, λ = বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, k = বোলজম্যান ধ্রুবক এবং T = কেলভিন তাপমাত্রা। প্লাঙ্কের এই সমীকরণ থেকে প্রাপ্তমান পরীক্ষালব্ধ মানের সাথে মিলে যায়।

১৯০০ সালে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক সর্বপ্রথম এই কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রদান করেন এবং আইনস্টাইন তা সম্প্রসারিত করেন। প্ল্যাঙ্ক বললেন, কোনো বস্তু থেকে শক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে নিঃসৃত হয় না। শক্তি বা বিকিরণ ছিন্নায়িত অর্থাৎ শক্তি গুচ্ছ গুচ্ছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃসৃত হয়। আলো তথা যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য বিকিরণ কোয়ান্টার সমষ্টি। প্ল্যাঙ্ক মনে করতেন কেবলমাত্র নিঃসরণ বা শোষণের সময় বিকিরণ বা শক্তি ছিন্নায়িত হয় অর্থাৎ কণারূপে নির্গত বা শোষিত হয় কিন্তু এক স্থান থেকে অন্য স্থানে তরঙ্গ আকারে নিরবচ্ছিন্নভাবে সঞ্চালিত হয়।

১৯০৫ খ্রিস্টাব্দে আইনস্টাইন প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বকে সম্প্রসারিত করে বলেন, শুধু নিঃসরণ বা শোষণের সময়ই শক্তি ছিন্নায়িত হয় না অর্থাৎ কণারূপে নির্গত বা শোষিত হয় না, শক্তি যখন এক স্থান থেকে অন্য স্থানে স্থানান্তরিত হয় তখনও তা কণারূপে বিরাজ করে এবং ঐ কণাগুলোই আলোর বেগে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে ছিন্নায়িতভাবে শক্তি সঞ্চালিত করে। এই কণাগুলোকে বলা হয় ফোটন।

ফোটন : কোনো বস্তু থেকে আলো বা কোনো শক্তির নিঃসরণ নিরবচ্ছিন্নভাবে হয় না। শক্তি বা বিকিরণ ছিন্নায়িত অর্থাৎ গুচ্ছ গুচ্ছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃসৃত হয়। আলো তথা যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য বিকিরণ কোয়ান্টার সমষ্টি। আলোর এই কণা বা প্যাকেট বা কোয়ান্টামকে ফোটন বলে।

৮.১৪। এক্স-রে (X-ray)

১৮৯৫ সালে রন্টজেন পর্যবেক্ষণ করেন যে, দ্রুতগতি সম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুতে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এর প্রকৃতি তখন বিজ্ঞানীদের কাছে ছিল অজানা। এ বিকিরণকে বলা হয় এক্স-রে।

এক্স-রে দু প্রকার;

(ক) কোমল এক্স-রে এবং

(খ) কঠিন এক্স-রে।

এক্স-রে যন্ত্রে কম বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে যে এক্স-রে পাওয়া যায় তাকে **কোমল এক্স-রে** বলে। এক্স-রে যন্ত্রে প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য বেশি হলে যে এক্স-রে উৎপাদিত হয় তাকে **কঠিন এক্স-রে** বলে।

বিজ্ঞানী রন্টজেন তড়িৎক্ষরণ নলে 10^{-3} mm পারদস্তম্ভ চাপে বায়ুর মধ্যে তড়িৎক্ষরণের পরীক্ষা করতে গিয়ে লক্ষ করেন যে, নল থেকে কিছু দূরে অবস্থিত বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড দ্বারা আবৃত পর্দায় প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হচ্ছে। পরে তিনি আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎক্ষরণ নল থেকে ক্যাথোড রশ্মি যখন নলের দেয়ালে পড়ে তখন এই রশ্মির উৎপত্তি হয়। তিনি এই রশ্মির নাম রাখেন এক্স-রে।

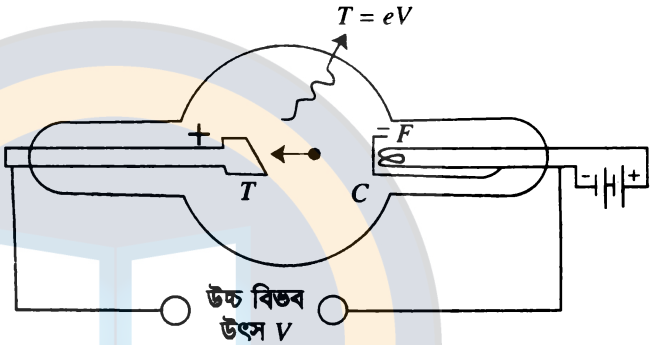
দ্রুতগতি সম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন যে বিকিরণ উৎপন্ন হয়, এ বিকিরণকে এক্স-রে বলে।

এক্স-রে উৎপাদন

৮.৮ চিত্রে একটি 'এক্স-রে টিউব' এর প্রয়োজনীয় অংশসমূহ দেখানো হয়েছে। ফিলামেন্ট F এর ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ ক্যাথোড C-কে উত্তপ্ত করে। ফলে ইলেকট্রনগুলো ক্যাথোড থেকে তাদের বন্ধন মুক্তির যথেষ্ট গতিশক্তি পায় এবং তাপীয় নিঃসরণ প্রক্রিয়ায় ক্যাথোড থেকে মুক্ত হয়ে আসে। তারপর একটি অতি উচ্চ বিভব পার্থক্য V-এর দ্বারা ইলেকট্রনগুলো ত্বরিত হয় ও অ্যানোডরূপী লক্ষ্যবস্তু T-তে আঘাত করে। ক্যাথোড থেকে অ্যানোডে যাবার সময় ও লক্ষ্যবস্তুতে আঘাত করার পূর্বে ইলেক্ট্রনগুলো বিপুল পরিমাণে গতিশক্তি অর্জন করে। এ গতিশক্তি T-কে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা হয়,

$$T = eV$$

এ ক্ষেত্রে e হলো ইলেকট্রনের আধান। ক্যাথোড ত্যাগের সময় ইলেকট্রনের যে গতিশক্তি থাকে তা eV-এর তুলনায় অনেক কম বলে আমরা এখানে তা উপেক্ষা করেছি। ক্যাথোড থেকে আগত ইলেকট্রনগুলো লক্ষ্যবস্তুতে আঘাতের সময় এদের গতিশক্তির কিছু অংশ এক্স-রে উৎপন্ন করে। এক্স-রে টিউবে ইলেকট্রনের স্রোত নিয়ন্ত্রণ করে এক্স-রের তীব্রতার হ্রাস-বৃদ্ধি এবং ক্যাথোড ও লক্ষ্যবস্তুর মধ্যে বিভব পার্থক্যের মান নিয়ন্ত্রণ করে প্রয়োজন মত কোমল বা কঠিন যে কোনো ধরনের এক্স-রে উৎপন্ন করা যায়।



চিত্র ৮.৮ : একটি এক্স-রে টিউবের প্রয়োজনীয় অংশ।

এক্স-রের ধর্ম

বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষার মাধ্যমে এক্স-রের নিম্নোক্ত ধর্মাবলি আবিষ্কৃত হয়েছে :

(১) এ রশ্মি সরলরেখায় গমন করে।

(২) এটি অত্যধিক ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন।

(৩) এক্স-রে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। তড়িৎ ক্ষেত্র বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা এটি বিক্ষিপ্ত হয় না।

(৪) এটার তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুব ছোট, প্রায় 10^{-10} m এর কাছাকাছি।

(৫) সাধারণ আলোর ন্যায় এক্স-রের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ও সমবর্তন হয়ে থাকে।

(৬) ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর এর প্রতিক্রিয়া আছে।

(৭) কোনো ধাতবপৃষ্ঠে এ রশ্মি পতিত হলে তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। সুতরাং এ রশ্মির আলোকতড়িৎ ক্রিয়া আছে।

(৮) জিঙ্ক সালফাইড, বেরিয়াম-প্লাটিনোসায়ানাইড প্রভৃতি পদার্থে এ রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(৯) এটা আয়ন সৃষ্টিকারী বিকিরণ। গ্যাসের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এটা গ্যাসকে আয়নিত করে।

(১০) এটি আধান নিরপেক্ষ।

এক্স-রের ব্যবহার :

এক্স-রের বিভিন্ন ব্যবহার রয়েছে। এ রশ্মি চিকিৎসাবিজ্ঞানে, শিল্প কারখানায় ও গোয়েন্দাদের কাজে ব্যবহৃত হয়।

(ক) চিকিৎসাবিজ্ঞানে ব্যবহার :

১। স্থানচ্যুত হাড়, হাড়ে দাগ বা ফাটল, ভেঙে যাওয়া হাড়, শরীরে বাইরের কোনো বস্তুর বা ফুসফুসের কোনো ক্ষতের ইত্যাদির অবস্থান নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়।

২। ক্যানসারের চিকিৎসা ও সংক্রমণ বৃদ্ধির চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়।

৩। পরিপাক নালী দিয়ে খাদ্যবস্তুর গমন অনুসরণ, আলসার ও দাঁতের গোড়ায় আলসার নির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করা হয়।

(খ) শিল্পে ব্যবহার :

১। ধাতব ঢালাইয়ের দোষ-ত্রুটিপূর্ণ ওয়েল্ডিং, ধাতব পাতের গর্ত ইত্যাদি নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়।

২। কেলাস গঠন পরীক্ষায় এক্স-রে ব্যবহৃত হয় এবং মনিকারেরা এর সাহায্যে আসল ও নকল গহনা শনাক্ত করতে পারেন।

৩। টফি, লজেন্স ইত্যাদির মান বজায় আছে কিনা বা টফি ও লজেন্সে ক্ষতিকর কোনো কিছু মিশ্রিত হয়েছে কি না তা জানার জন্য ব্যবহৃত হয়।

(গ) গোয়েন্দা বিভাগে ব্যবহার :

১। কাঠের বাক্স বা চামড়ার থলিতে বিস্ফোরক লুকিয়ে রাখলে তা খুঁজে বের করতে ব্যবহার করা হয়।

২। কাস্টম কর্মকর্তারা চোরাচালানের দ্রব্যাদি খুঁজে বের করতে ব্যবহার করেন। কোনো নিষিদ্ধ পণ্য কোনো কাঠের বাক্স বা ধাতুর বাক্সে থাকলে এদের মধ্য দিয়ে এক্স-রে প্রবেশ করিয়ে তা জানা যায়।

এক্স-রে-এর একক

এক্স-রের একক রন্টজেন (Roentgen)। যে পরিমাণ এক্স-রে প্রতি কিলোগ্রাম বায়ুতে 2.58×10^{-4} কুলম্ব আধান উৎপন্ন করতে পারে তাকে এক রন্টজেন বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৫। একটি 100 MeV ফোটনের কম্পাঙ্ক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = hf$$

$$\therefore f = \frac{E}{h}$$

$$f = \frac{100 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{J}}{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}$$

$$= 2.41 \times 10^{22} \text{ Hz}$$

আবার, $c = f\lambda$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{2.41 \times 10^{22} \text{ Hz}}$$

$$= 1.24 \times 10^{-14} \text{m}$$

উ: 2.41×10^{22} Hz 1.24×10^{-14}m

এখানে

শক্তি, $E = 100$ MeV

$= 100 \times 10^6$ eV

$= 100 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

কম্পাঙ্ক, $f = ?$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৬। 6650×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের গতিশক্তি কত?

আমরা জানি,

$$E = hf$$

$$= \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js} \times 3 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1}}{6650 \times 10^{-10}\text{m}}$$

$$= 2.99 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1.869\ \text{eV}$$

উ: 1.869 eV

এখানে,

প্লাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^{8}$ ms^{-1}

ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 6650 \times 10^{-10}$ m

ফোটনের শক্তি $E = ?$

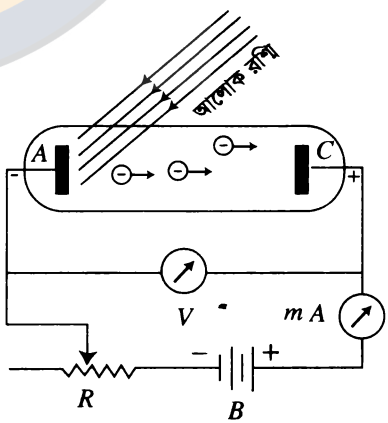
৮.১৫। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া (Photoelectric Effect)

আলোক রশ্মি যখন কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হয় তখন ধাতবপৃষ্ঠের ইলেকট্রন আলোক রশ্মি থেকে শক্তি গ্রহণ করে। যখনই ইলেকট্রন দ্বারা গৃহীত শক্তি ধাতবপৃষ্ঠে তার বন্ধন শক্তির চেয়ে বেশি হয়, তখনই ইলেকট্রন ধাতবপৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হয় বা বেরিয়ে আসে। এ ঘটনাকে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলা হয়। ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য ধাতবপৃষ্ঠে যথোপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো ফেলতে হয় তা না হলে ইলেকট্রন নিঃসরণ হয় না।

যথোপযুক্ত উচ্চ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোক রশ্মি কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হলে তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়, এ ঘটনাই ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া নামে পরিচিত। ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নিঃসৃত ইলেকট্রনকে ফটোইলেকট্রন বলা হয়।

কর্মকাণ্ড : ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

পরীক্ষা : ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ দিক পর্যালোচনার জন্য যে পরীক্ষা করা হয় তা নিচে বর্ণনা করা হলো। [চিত্র ৮·৯]। চিত্রে কোয়ার্টজ নির্মিত বায়ুশূন্য নলে দুটি ধাতবপাত A ও C আছে। পাত দুটিকে বাইরের একটি বর্তনীর সাহায্যে একটি ব্যাটারি B, রোধ R ও মিলিঅ্যামিটার mA-এর সঙ্গে যুক্ত করা হয়েছে। পাত দুটির বিভব পার্থক্য মাপার জন্য বর্তনীতে একটি ভোল্টমিটার V সংযুক্ত আছে। A পাতটি ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে সংযুক্ত। এখন আলোক রশ্মি A-এর উপর আপতিত হলে A ও C এর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের সূচনা হবে মিলিঅ্যামিটার দিয়ে যা পরিমাপ করা যাবে। এখন পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য ক্রমশ বাড়াতে থাকলে তড়িৎ প্রবাহও বাড়তে থাকবে। কিন্তু বিভব পার্থক্যের একটা নির্দিষ্ট মানের জন্য এই প্রবাহ আর বাড়বে না। একটা নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ মানে এসে স্থির হয়ে যাবে। কোনো নির্দিষ্ট বিভব পার্থক্যের জন্য তড়িৎ প্রবাহের এই নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ মানকে 'সম্পৃক্তি প্রবাহ' (saturation current) বলে। কিন্তু যদি পাত A-কে সামান্য ধনাত্মক বিভবে এবং C-কে ঋণাত্মক বিভবে রেখে A-পাতের উপর একটা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হতে দেওয়া হয় তাহলে নির্গত ইলেকট্রনের মধ্যে ধীর গতিসম্পন্নগুলো C-তে না পৌঁছে পুনরায় A-তে ফিরে আসে। A ও C-এর মধ্যে বিভব পার্থক্য ক্রমশ বৃদ্ধি করতে থাকলে আলোক তড়িৎপ্রবাহ ক্রমশ কমতে থাকবে এবং এক সময় A-এর কোনো নির্দিষ্ট ধনাত্মক বিভবের জন্য তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে যাবে। কোনো একটা নির্দিষ্ট ধাতব পদার্থের জন্য A-এর এই ধনাত্মক



চিত্র ৮.৯ : ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া।

বিভবকে প্রতিরোধক বিভব বা নিবৃত্তি বিভব (stopping potential) বলে। এই নিবৃত্তি বিভবে সবচেয়ে শক্তিশালী ইলেকট্রনগুলোও A-তে ফিরে আসে। এই সময় আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি করলেও কোনো ইলেকট্রন C-তে পৌঁছতে পারে না। এই বিভব পার্থক্যকে ইলেকট্রনের আধান e দ্বারা গুণ করলে ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি পাওয়া যায়। অর্থাৎ

$$K_{max} = eV_0$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} m v_m^2 = eV_0 \qquad (8.41)$$

এখানে, m = ইলেকট্রনের ভর

v_m = ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ

e = ইলেকট্রনের আধান

এবং V_0 = নিবৃত্তি বিভব

পুনরায় যদি A-কে ঋণাত্মক ও C-কে ধনাত্মক করে আলোর কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত রেখে তীব্রতা ক্রমশ বাড়ানো হয় তাহলে দেখা যাবে যে নিবৃত্তি বিভবের মান সব সময় একই থাকছে কিন্তু তড়িৎ প্রবাহের মান বৃদ্ধি পাবে।

আবার আলোর তীব্রতা একই রেখে কম্পাঙ্ক পরিবর্তন করলে দেখা যাবে যে, কম্পাঙ্ক যতই বাড়ানো হয়, নিবৃত্তি বিভব ততই বেড়ে যায় কিন্তু তড়িৎপ্রবাহের কোনো পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। আবার কম্পাঙ্ক হ্রাস করলে দেখা যায় যে, কোনো একটি নিম্নতম কম্পাঙ্কে ঐ ধাতু থেকে কোনো ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় না। উক্ত ন্যূনতম কম্পাঙ্ককে ঐ ধাতুর ছেদন কম্পাঙ্ক বা সূচন কম্পাঙ্ক f_0 বলে।

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য

১। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা। ধাতবপৃষ্ঠে আলো আপতিত হওয়া এবং তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে কোনো কাল বিলম্বন (time lag) নেই। আলোর তীব্রতা যত কমই হোক না কেন যথোপযুক্ত কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোক রশ্মি ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় এবং আলো বন্ধ হওয়া মাত্র ইলেকট্রন নিঃসরণ বন্ধ হয়ে যায়।

২। ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল কিন্তু আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভরশীল নয়।

৩। যে কোনো নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক এবং মন্দনক বিভব পার্থক্যের জন্য ফটোপ্রবাহ I (Photo current) আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক অর্থাৎ আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি পেলে ফটোপ্রবাহ বৃদ্ধি পায় এবং আলোর তীব্রতা হ্রাস পেলে ফটোপ্রবাহ হ্রাস পায়।

৪। প্রতি ধাতুর বেলায় একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক আছে, আপতিত আলোর তীব্রতা যাই হোক না কেন তার কম্পাঙ্ক এই নিম্নতম কম্পাঙ্ক থেকে বেশি না হলে ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় না। এটাকে ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, f_0 বলে।

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া ব্যাখ্যায় চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলগুলোকে আমরা এখানে চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে ব্যাখ্যা করতে চেষ্টা করব।

১। চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আলোর পতন ও তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য সময়ের প্রয়োজন, এ সময় কয়েকদিন পর্যন্ত হতে পারে। কেননা, ধাতবপৃষ্ঠে যে আলো শক্তি আপতিত হয়, পৃষ্ঠের ইলেকট্রনগুলো সেই শক্তি শোষণ করে উত্তেজিত হয়। যখন ইলেকট্রনগুলো শক্তি শোষণ করে তাদের বন্ধশক্তি বা তার চেয়ে বেশি শক্তি অর্জন করে তখনই ধাতব পৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হয়। আর তার জন্য যথেষ্ট সময়ের প্রয়োজন হয়। কিন্তু

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা, ধাতবপৃষ্ঠে আলো আপতিত হওয়া এবং তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে কোনো কাল বিলম্বন (time lag) নেই। সুতরাং ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার এ ধর্মটি চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না।

২। চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব থেকে আমরা জানি যে, নিঃসৃত ইলেকট্রনের প্রাথমিক বেগ তথা গতিশক্তি আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভরশীল। কিন্তু ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে আমরা জানি যে, নিঃসৃত ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিশক্তি আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভরশীল নয় বরং এটা আলোর কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল। সুতরাং পরীক্ষালব্ধ এই ফলটিকেও চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্বের দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না।

৩। চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে আলোর তীব্রতা বাড়ালে ফটোপ্রবাহ বাড়ে। এ ক্ষেত্রে চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব পরীক্ষালব্ধ ফলের সাথে একমত।

৪। যে কোনো ধাতুর বেলায় তার সূচন কম্পাঙ্কের চেয়ে আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক বেশি না হলে ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে না। এ সূচন কম্পাঙ্কের অস্তিত্ব চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। চিরায়ত তরঙ্গতত্ত্ব অনুসারে বরং আপতিত আলোর একটা ন্যূনতম তীব্রতা থাকার কথা। যে তীব্রতার চেয়ে কম তীব্রতার আলো আপতিত হলে ইলেকট্রন নির্গত হবে না। সুতরাং ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফল চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে অসমর্থ।

কোয়ান্টাম তত্ত্বানুসারে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার ব্যাখ্যা : আইনস্টাইনের সমীকরণ

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার ঘটনাবলি কোয়ান্টাম তত্ত্ব দ্বারা বিশদভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। আলবার্ট আইনস্টাইন ১৯০৫ সালে কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিতে সক্ষম হন। এ জন্য তাকে নোবেল পুরস্কার প্রদান করা হয়।

কোয়ান্টাম তত্ত্বানুযায়ী আপাত অবিচ্ছিন্ন তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ হলো ছিন্নায়িত কোয়ান্টার সমষ্টি। এ কোয়ান্টামকে বলা হয় ফোটন। কোনো ফোটনের শক্তি E এবং কম্পাঙ্ক f হলে,

$$E = hf = hc/\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8.42)$$

এখানে h হলো প্লাঙ্কের ধ্রুবক, এর মান হলো 6.63×10^{-34} Js। প্ল্যাঙ্ক ধরে নিয়েছিলেন যে, আলো ছিন্নায়িত কোয়ান্টামের আকারে নিঃসৃত হলেও তা অবিচ্ছিন্নভাবে প্রবাহিত হয় কিন্তু আইনস্টাইন বলেন যে, আলো শুধু স্বতন্ত্র কণা হিসেবে নিঃসৃত হয় না, প্রবাহিতও হয়। এই মতবাদ অনুসারে ফটোতড়িৎ প্রক্রিয়াকে ব্যাখ্যার জন্য আইনস্টাইন নিচের সমীকরণ প্রস্তাব করেন,

$$E = K_{max} + \phi$$

$$\text{বা, } hf = K_{max} + hf_o \qquad \ldots \qquad (8.43)$$

এখানে $E = hf$ = আপতিত আলোর প্রতি কোয়ান্টামের শক্তি।

f = আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক

$K_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$ = নির্গত তথা ফটো ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতি শক্তি।

m = ফটো ইলেকট্রনের ভর

v_{max} = ফটো ইলেকট্রনের সর্বাধিক দ্রুতি

f_o = সূচন কম্পাঙ্ক।

$\phi = hf_o$ = ধাতবপৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের ন্যূনতম শক্তি তথা কার্যাপেক্ষক।

উপরিউক্ত সমীকরণকে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া সম্পর্কিত **আইনস্টাইনের সমীকরণ** বলা হয়। **কোনো ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নিঃসরণের জন্য ইলেকট্রনের একটি ন্যূনতম শক্তি প্রয়োজন, তা না হলে আলোর অনুপস্থিতিতে ইলেকট্রন ধাতবপৃষ্ঠ থেকে বেরিয়ে পড়ত। ন্যূনতম শক্তি hf_0 কে ধাতবপৃষ্ঠের কার্যাপেক্ষক (work function) বলা হয়।** এটা ধাতব পৃষ্ঠের ওপর নির্ভরশীল। কার্যাপেক্ষককে সাধারণত ইলেকট্রন ভোল্ট এককে প্রকাশ করা হয়।

pdfcorner.com

সুতরাং (8:43) নং সমীকরণকে লেখা যায়,

কোয়ান্টামশক্তি = ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি + পৃষ্ঠের কার্যাপেক্ষক

বা, $hf = K_{max} + \varphi$ (8.44)

এখানে $\varphi = hf_0$ = কার্যাপেক্ষক

এই সমীকরণের সাহায্যে নিম্নোক্তভাবে ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায় :

১। কোয়ান্টাম তত্ত্বানুযায়ী একটি ফোটনের সাথে কেবলমাত্র একটি ইলেকট্রনেরই সংঘর্ষ হয় এবং ইলেকট্রন তার গৃহীত শক্তির ভাগ অন্যান্য ইলেকট্রনকে দেয় না। সুতরাং এই সংঘর্ষে শক্তি সংরক্ষিত থাকে এবং একে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ বলে। স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে শক্তির তাৎক্ষণিক হস্তান্তর হয় বলে আলোক রশ্মির আপতন ও ইলেকট্রন নির্গমন এই দুইয়ের মাঝে কোনো কাল বিলম্বন (time lag) ঘটে না। সুতরাং ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

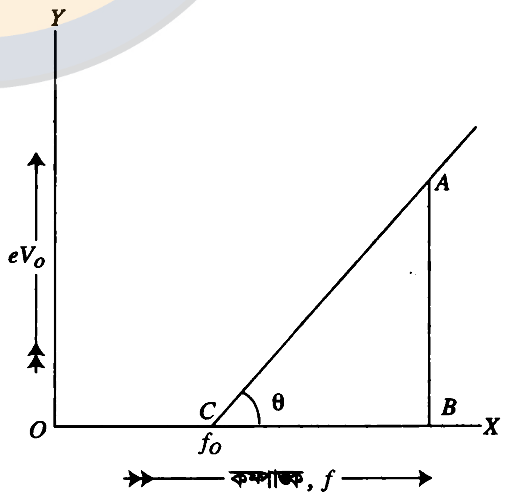
২। কার্যাপেক্ষক $\varphi = hf_0$ যেহেতু একটি ধ্রুবরাশি সুতরাং $hf = K_{max} + \varphi$ সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, $K_{max} = hf - \varphi$। এ থেকে সহজে বোঝা যায় যে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি আলোর কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল। কম্পাঙ্ক f এর বৃদ্ধির সাথে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়।

৩। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী আলো যেহেতু পৃথক পৃথক কোয়ান্টামের সমষ্টি এবং f কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোর জন্য প্রত্যেক ফোটনের শক্তি hf সেহেতু আলোর তীব্রতা বৃদ্ধির সাথে সাথে ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় এবং ফটোতড়িৎ প্রবাহ বাড়ে। কিন্তু আলোর কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকায় ফোটনের শক্তি বৃদ্ধি পায় না এবং ইলেকট্রনের বেগ অপরিবর্তিত থাকে। সুতরাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে সংগতিপূর্ণ।

৪। আলোর কম্পাঙ্ক f এর মান হ্রাস পেতে থাকলে ইলেকট্রনের বেগ হ্রাস পায় এবং একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক f_0 এর জন্য বেগ শূন্য হয়ে যায়, ফলে কোনো ফটোইলেকট্রন নিঃসৃত হয় না। সুতরাং প্রত্যেক ধাতুর জন্য একটি সূচন কম্পাঙ্ক থাকে এবং তার মান, $f_0 = \varphi / h$.

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক একটি ন্যূনতম মানের চেয়ে বেশি হলে নির্গত ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি আলোর কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক—লেখচিত্রের সাহায্যে এই তথ্য প্রদর্শন কর। অতঃপর যুক্তির সাহায্যে এই লেখচিত্র থেকে আইনস্টাইনের ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া সংক্রান্ত সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

সংকেত : ফটোইলেকট্রিক তড়িৎ ক্রিয়া সংক্রান্ত আইনস্টাইনের সমীকরণ সরাসরি প্রতিপাদন করা না গেলেও পরীক্ষালব্ধ যুক্তির ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠা করা যায়। ধরা যাক, ধাতব পাত হতে সর্বাধিক বেগে নির্গত ইলেকট্রনের আধান e এবং নিবৃত্তি বিভব V_0। তা হলে ফটোইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি হবে eV_0। আবার নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ v_m হলে, সর্বাধিক গতিশক্তি হবে $\frac{1}{2} mv_m^2$



চিত্র : ৮.১০

$\therefore \frac{1}{2}mv_m^2 = eV_0$।

কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে ইলেকট্রনের গতিশক্তি eV_0 বৃদ্ধি পায়। এখন আলোর কম্পাঙ্ক f-কে X-অক্ষে এবং eV_0-কে Y অক্ষে বসিয়ে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে যা X অক্ষকে C বিন্দুতে ছেদ করে (চিত্র ৮.১০)। এখানে C বিন্দু সূচন কম্পাঙ্ক f_0 নির্দেশ করে। সরলরেখার উপর যে কোনো একটি বিন্দু A। A থেকে X অক্ষের উপর AB লম্ব অঙ্কন কর। B বিন্দু যে কোনো কম্পাঙ্ক f নির্দেশ করে। AC সরলরেখাটি X-অক্ষের সাথে θ কোণ উৎপন্ন করলে,

$$\tan\theta = \frac{AB}{CB} = \frac{eV_0}{f - f_0}$$

এখানে, $\tan\theta$ = AC সরলরেখার ঢাল = ধ্রুবক। এই ধ্রুবকই প্রকৃতপক্ষে প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক h।

$\therefore h = \frac{eV_0}{f - f_0}$ কিন্তু $\frac{1}{2}mv_m^2 = eVo = K_{max}$ = ফটোইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি।

$$\therefore hf = K_{max} + hf_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.45)$$

সমীকরণ (8.45) হচ্ছে আইনস্টাইনের ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া সংক্রান্ত সমীকরণ।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৭। প্লাটিনামের কার্যাপেক্ষক 6.31 eV। এর সূচন কম্পাঙ্ক কত?

(প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক = 6·63 × 10^{-34} Js)

এখানে,
কার্যাপেক্ষক, φ = 6.31 eV
$= 6.31 \times 1.6 \times 10^{-19}$J
সূচন কম্পাঙ্ক, $f_0 = ?$
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

আমরা জানি,

$$\varphi = hf_0$$

$$\therefore f_0 = \frac{\varphi}{h} = \frac{6.31 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}}{6.63 \times 10^{-34}\text{ Js}} = 15.24 \times 10^{14}\text{ Hz}$$

উ: 15.24×10^{14} Hz

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৮। 2400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো একটি ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর। ধাতবপৃষ্ঠের কার্যাপেক্ষক 2.3 eV।

এখানে,
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ = 2400 Å = 2400×10^{-10} m
কার্যাপেক্ষক, φ = 2.3eV = $2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J
প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $K_{max} = ?$

আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক f হলে,

$$hf = K_{max} + \varphi$$

বা, $K_{max} = hf - \varphi = \frac{hc}{\lambda} - \varphi$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\text{ Js}\times3\times10^8\text{ ms}^{-1}}{2400\times10^{-10}\text{ m}} - 2.3\times1.6\times10^{-19}\text{J}$$

$= 4.6 \times 10^{-19}$ J= 2.88 eV

উ : 2.88 eV

৮.১৬। দ্য ব্রগলি তরঙ্গ (De Broglie Waves)

তাড়িতচৌম্বক বিকিরণের দুটো প্রকৃতি—তরঙ্গ প্রকৃতি ও কণা প্রকৃতি। তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ তরঙ্গ আকারে সঞ্চালিত হয় ধরে নিলে তার প্রতিফলন, প্রতিসরণ, অপবর্তন ও ব্যতিচার ধর্ম সম্পর্কিত পরীক্ষাসমূহ ব্যাখ্যা করা যায়। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া ও কম্পটন প্রক্রিয়াকে ব্যাখ্যা করতে হলে ধরে নিতে হয় যে, আলো কণারূপী ফোটনের সমষ্টি এবং প্রতি ফোটনের শক্তি E ও ভরবেগ p। কণারূপী ফোটনকে এর কম্পাঙ্ক f এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ দ্বারা যথার্থভাবে বর্ণনা করা যেতে পারে।

প্রকৃতি নিজেকে বস্তু এবং বিকিরণ হিসেবে প্রকাশ করে। আবার প্রকৃতি প্রতিসাম্য (symmetry) পছন্দ করে। যেহেতু বিকিরণের দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে তাই বস্তুরও দ্বৈত প্রকৃতি থাকা সম্ভব। এ চিন্তা মাথায় নিয়ে ১৯২৪ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **লুইস দ্য ব্রগলি** প্রস্তাব করেন যে, প্রত্যেক বস্তুরও দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে—একটি কণা প্রকৃতি এবং অপরটি তরঙ্গ প্রকৃতি। প্রত্যেকটি চলমান কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। প্রস্তাবকের নাম অনুসারে এই তরঙ্গকে **দ্য ব্রগলি বস্তু তরঙ্গ** বলা হয়। এই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে দ্য ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

আমরা জানি যে, f কম্পাঙ্কবিশিষ্ট ফোটনের শক্তি E হলে,

$$E = hf$$

$$\therefore f = E/h \qquad (8.46)$$

আপেক্ষিকতা তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়,

$$E = pc$$

বা, $hf = pc$

বা, $p = hf/c$

বা, $p = h/\lambda \quad [\because \lambda = c/f]$

$$\therefore \lambda = h/p \quad \ldots \quad \ldots \qquad (8.47)$$

(8.46) ও (8.47) সমীকরণ দুটোতে f ও λ এর যথাযথ অর্থ তখনই প্রকাশ পায় যখন তাদের দ্বারা কোনো তরঙ্গকে বর্ণনা করা হয়। সমীকরণ দুটো থেকে এটাও স্পষ্ট বোঝা যায় যে, h, E ও p কোনো কণার সাথে সম্পর্কযুক্ত। সমীকরণ দুটো থেকে আরো বোঝা যায় যে, তাড়িতচৌম্বক বিকিরণের তরঙ্গকণা দ্বৈতরূপ (wave particle duality) আছে। এখানে কোয়ান্টাম তত্ত্বের ধ্রুবরাশি, প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক h। এটাও এই বিকিরণের তরঙ্গ প্রকৃতির এবং কণা প্রকৃতির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করেছে। এ থেকে আমরা বলতে পারি যে, **তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ অবস্থা বিশেষে কণার মতো আচরণ করে এবং ফোটন অবস্থা বিশেষে তরঙ্গের মতো আচরণ করে।**

দ্য ব্রগলি অনুমান করেন যে (8.46) ও (8.47) নং সমীকরণ ইলেকট্রনের বেলায় যেমন প্রযোজ্য তেমনি সঠিক বিকিরণের বেলায়ও। এই অনুমান যদিও আশ্চর্যজনক তথাপি ১৯২৭ খ্রিস্টাব্দে **ডেভিসন** এবং **গারমারের** পরীক্ষায় এর সত্যতা প্রমাণিত হয়েছে।

দ্য ব্রগলির সম্পর্ক অনুসারে p ভরবেগবিশিষ্ট কোনো বস্তু কণার তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হবে,

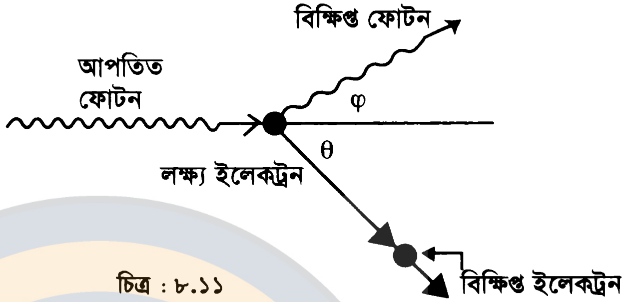
$$\lambda = h/p = h/mv \qquad [\because p = mv] \qquad (8.48)$$

এখানে h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুব, m = কণার ভর, v = কণার বেগ।

হিসাব কর : তুমি যদি 6 kmh^{-1} বেগে দৌড়াও তাহলে তোমার দ্য ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে?

৮.১৭। কম্পটন ক্রিয়া বা কম্পটনের প্রভাব (Compton Effect)

ইলেকট্রন দ্বারা এক্স-রে বিক্ষেপণের বেলায় মনে করা হতো যে বিক্ষিপ্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং আপতিত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান থাকে। এ রকমের বিক্ষেপণকে রাদারফোর্ড বিক্ষেপণ বলা হয় এবং এর কাজ হলো আপতিত বিকিরণের দিক পরিবর্তন করা। ১৯২৩ সালে **আর্থার কম্পটন** উন্নতমানের যান্ত্রিক কৌশল দ্বারা প্রমাণ করতে সক্ষম হন যে, এক বর্ণের এক্স-রে 'হালকা মৌল' (যেমন কার্বন) দ্বারা বিক্ষিপ্ত হলে, বিক্ষিপ্ত বিকিরণ দুটো উপাংশে বিভক্ত হয়ে যায়। একটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান থাকে, দ্বিতীয়টির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের থেকে কিছুটা বেশি হয়। এ ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলা হয়।আপতিত বিকিরণের অভিমুখের সাপেক্ষে বিক্ষিপ্ত বিকিরণ যদি φ কোণ উৎপন্ন করে বিক্ষিপ্ত হয় এবং λ ও λ' যদি আপতিত ও বিক্ষিপ্ত বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হয় তাহলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য হয়,



চিত্র : ৮.১১

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\varphi) \qquad (8.49)$$

এখানে m_o ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর, h প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক এবং c আলোর বেগ।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : দেখাও যে, কম্পটন প্রভাবে সৃষ্ট বিক্ষিপ্ত বিকিরণের দুটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য বিক্ষেপণ কোণের সমানুপাতিক।

ধরা যাক, একটি স্থির ইলেকট্রনের সাথে একটি ফোটনের সংঘর্ষের ফলে বিক্ষিপ্ত ফোটন ও ইলেকট্রন আপতিত ফোটনের দিকের সাথে যথাক্রমে φ ও θ কোণে বিক্ষিপ্ত হয়েছে (চিত্র ৮.১১)।

ধরা যাক, আপতিত ও বিক্ষিপ্ত ফোটনের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f ও f'। সুতরাং

আপতিত ফোটনের শক্তি, $E = hf$

$\therefore$ আপতিত ফোটনের ভরবেগ, $p = \frac{hf}{c}$

বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি, $E' = hf'$

$\therefore$ বিক্ষিপ্ত ফোটনের ভরবেগ $p' = \frac{hf'}{c}$

সংঘর্ষের পূর্বে যেহেতু ইলেকট্রনটি স্থির সুতরাং এর শক্তি $E_o = m_o c^2$ এবং ভরবেগ, $p_o = 0$। m_o হচ্ছে ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর।

সংঘর্ষের পরে ইলেকট্রনটির বেগ v এবং ভর m হলে, এর শক্তি $= mc^2$ এবং ভরবেগ $= mv$

এখন শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$hf + m_o c^2 = hf' + mc^2 \quad \ldots \quad \ldots \qquad (8.50)$$

আপতিত ফোটনের দিকে বিক্ষিপ্ত ফোটন ও ইলেকট্রনের ভরবেগ যথাক্রমে $\frac{hf'}{c}\cos\varphi$ এবং $mv\cos\theta$

আপতিত ফোটনের দিকের লম্ব বরাবর বিক্ষিপ্ত ফোটন ও ইলেকট্রনের ভরবেগ যথাক্রমে $\frac{hf'}{c}\sin\varphi$ এবং $mv\sin\theta$

সুতরাং ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে অনুভূমিক উপাংশের জন্য

$$\frac{hf}{c} + 0 = \frac{hf'}{c}\cos\varphi + mv\cos\theta \qquad (8.51)$$

এবং উল্লম্ব উপাংশের জন্য,

$$0 = \frac{hf'}{c}\sin\varphi - mv\sin\theta \quad \ldots \qquad (8.52)$$

pdfcorner.com

সমীকরণ (8.51) কে লেখা যায়,

$mvc \cos\theta = h(f - f' \cos\varphi)$ (8.53)

সমীকরণ (8.52) কে লেখা যায়,

$mvc \sin\theta = hf' \sin\varphi$ ... (8.54)

সমীকরণ (8.53) ও (8.54) কে বর্গ ও যোগ করে পাই,

$m^2v^2c^2 = h^2(f^2 - 2ff'\cos\varphi + f'^2\cos^2\varphi + f'^2\sin^2\varphi)$

বা, $m^2v^2c^2 = h^2(f^2 - 2ff'\cos\varphi + f'^2)$ (8.55)

সমীকরণ (8.50) থেকে পাই,

$mc^2 = h(f - f') + m_oc^2$

উভয় পক্ষকে বর্গ করে,

$m^2c^4 = h^2(f - f')^2 + 2h(f - f')m_oc^2 + m_o^2c^4$

বা, $m^2c^4 = h^2(f^2 - 2ff' + f'^2) + 2h(f - f')m_oc^2 + m_o^2c^4$ (8.56)

সমীকরণ (8.56) থেকে (8.55) বিয়োগ করে পাই,

$m^2c^2(c^2 - v^2) = -2h^2ff'(1 + \cos\varphi) + 2h(f - f')m_oc^2 + m_o^2c^4$

আবার, $m^2c^2(c^2 - v^2) = \dfrac{m_o^2}{1 - v^2/c^2}c^2(c^2 - v^2) = \dfrac{m_o^2c^4}{c^2 - v^2}(c^2 - v^2) = m_o^2c^4$

$\therefore m_o^2c^4 = -2h^2ff'(1 + \cos\varphi) + 2h(f - f')m_o^2c^2 + m_o^2c^4$

বা, $0 = 2h^2ff'(1 - \cos\varphi) + 2h(f - f')\ m_oc^2$

বা, $2h^2ff'(1 - \cos\varphi) - 2h(f - f')\ m_oc^2$

বা, $hff'(1 - \cos\varphi) = (f - f')\ m_oc^2$

বা, $\dfrac{c(f - f')}{ff'} = \dfrac{h}{m_oc}(1 - \cos\varphi)$

বা, $\left(\dfrac{c}{f'} - \dfrac{c}{f}\right) = \dfrac{h}{m_oc}(1 - \cos\varphi)$

কিন্তু, $\dfrac{c}{f} = \lambda =$ আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\dfrac{c}{f'} = \lambda' =$ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\therefore \lambda' - \lambda = \dfrac{h}{m_oc}(1 - \cos\varphi)$ ... (8.57)

বা, $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_oc}(1 - \cos\varphi)$ ... ... (8.58)

এখানে $\Delta\lambda$ হচ্ছে আপতিত ও বিক্ষিপ্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত বিকিরণের দুটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য। যেহেতু বিক্ষিপ্ত বিকিরণের একটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান।

সমীকরণ (8.57) থেকে দেখা যায় যে, $\lambda' > \lambda$ অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বড়।

$\dfrac{h}{m_oc}$ কে কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_c বলা হয়। এর মান 2.43×10^{-12} m

সুতরাং $\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\varphi)$ ... ... (8.59)

যেহেতু λ_c ধ্রুব সংখ্যা, সুতরাং দুটো বিক্ষিপ্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য $\Delta\lambda$ বিক্ষেপণ কোণ বাড়ার সাথে সাথে দ্রুত বৃদ্ধি পায়। আপতিত এবং বিক্ষিপ্ত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণ 90° হলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য হয় 2.43×10^{-12} m এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য বিক্ষেপণকারী বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভরশীল হয় না।

৮.১৮। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি (Heisenberg's Uncertainty principle)

পদার্থের দ্বৈত প্রকৃতি 'কণা প্রকৃতি' এবং 'তরঙ্গ প্রকৃতি' এর ধারণা থেকে আমরা একটি গুরুত্বপূর্ণ ফল পাই। চিরায়ত বলবিজ্ঞানের মতে যে কোনো গতিশীল কণার অবস্থান এবং ভরবেগ থাকে এবং নীতিগতভাবে এগুলোকে নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যেতে পারে। যেহেতু তরঙ্গ চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে, সুতরাং তরঙ্গরূপী ইলেকট্রনের অবস্থান নির্ণয় করা কঠিন হয়ে পড়ে। স্বভাবতই আমাদের মনে প্রশ্ন জাগে যে, কখনো তরঙ্গরূপী আবার কখনো কণারূপী ইলেকট্রনের অবস্থান কোনো নির্দিষ্ট স্থানে কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে জানা সম্ভব কিনা?

হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি থেকে এ প্রশ্নের জবাব পাওয়া যায়। অনিশ্চয়তা নীতি বলে যে, কোনো কণার অবস্থান এবং ভরবেগ নির্ভুলভাবে যুগপৎ পরিমাপ করা যায় না। একমাত্র নিম্নোক্ত সম্পর্ক দ্বারা সীমাবদ্ধ নির্ভুলতাসহ এ রাশিগুলোর মান নির্ণয় করা যেতে পারে।

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$$

বা, $$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad \left(\because \hbar = \frac{h}{2\pi}\right) \quad \ldots \quad (8.60)$$

এখানে Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ে অনিশ্চয়তার পরিমাণ। কোনো বস্তুর শক্তি এবং সময়ের বেলায়ও এই সম্পর্ক খাটে। তাই দেখা যায়,

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.61)$$

সমীকরণ (8.60) এর অর্থ হলো, বস্তুর অবস্থান যতো বেশি নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায় তার ভরবেগ তত কম নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যাবে। আবার বেশি নির্ভুলভাবে ভরবেগ নির্ণয় করতে হলে কম নির্ভুলভাবে অবস্থান নির্ণয় করতে হবে। সমীকরণ (8.61) থেকে বোঝা যায় যে, যত বেশি নির্ভুলভাবে কোনো পারমাণবিক ঘটনা সংঘটিত হওয়ার সময় নির্ণয় করা যায়, তত কম নির্ভুলভাবে ঐ ঘটনা (পারমাণবিক ব্যবস্থা) এর শক্তি নির্ণয় করা যায়। অন্য কথায়, কোনো পারমাণবিক ব্যবস্থায় শক্তির মান যত নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যাবে ঠিক তত কম নির্ভুলভাবে ঐ পারমাণবিক ঘটনা সংঘটিত হওয়ার সময় নির্ণয় করা যাবে।

কর্মকাণ্ড : অনিশ্চয়তা নীতি থেকে দেখাও যে, নিউক্লিয়াসের মধ্যে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

আমরা জানি, পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-14}m ক্রমের। সুতরাং নিউক্লিয়াসের মধ্যে আবদ্ধ থাকতে হলে ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর বেশি হতে পারবে না।

এখন Δx ও Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$$\Delta x \times \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

বা, $$\Delta p = \frac{h}{2 \times 2\pi \times \Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-23}}{4 \times 3.14 \times 2 \times 10^{-14}} = 2.64 \times 10^{-21} \text{kgms}^{-1}$$

এখন অনিশ্চয়তা এই মানের হলে ইলেকট্রনের ভরবেগ কমপক্ষে এই মানের সমতুল্য হতে হবে। অর্থাৎ

$$p = 2.64 \times 10^{-21} \text{ kgms}^{-1}$$

সুতরাং ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{(2.64 \times 10^{-21})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} = 3.8295 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$$= 23{,}934{,}065.93 \text{ eV}$$

$$= 23.93 \text{ MeV}$$

অর্থাৎ ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের মধ্যে থাকতে হলে একে 23.93 MeV শক্তি অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি 4 MeV এর থেকে বেশি নয়। সুতরাং নিউক্লিয়াসের মধ্যে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৯। 0.2400nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স রশ্মি কোনো ইলেকট্রনের উপর আপতিত হয়ে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত এক্সরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের কর। $\lambda c = 0.00243$ nm।

আমরা জানি,

$\lambda' = \lambda + \lambda_c (1 - \cos\varphi)$

$0.2400\text{nm} + (0.00243\text{nm})\ (1 - \cos 60°)$

$= 0.2412$ nm

উ: 0.2412 nm

এখানে,
আপতিত এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 0.2400$nm
ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 0.00243$nm
এক্স রশ্মির বিক্ষেপণ কোণ $\varphi = 60°$
বিক্ষিপ্ত এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda' = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১০। 1g ভরের একটি কণা 2000 ms^{-1} বেগে গতিশীল। কণাটির সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হিসাব কর।

আমরা জানি, $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{10^{-3}\text{kg} \times 2000\text{ms}^{-1}}$

$= 3.315 \times 10^{-34}$ m

উ: 3.315×10^{-34} m

এখানে
ভর, $m = 1\text{g} = 10^{-3}$ kg
বেগ, $v = 2000\ \text{ms}^{-1}$
প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, 6.63×10^{-34} Js
তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১১। একটি প্রোটন আলোর বেগের $\frac{1}{20}$ বেগে গতিশীল। প্রোটনের সাথে সংশ্লিষ্ট দ্য ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\text{Js} \times 20}{1.673 \times 10^{-27}\text{kg} \times 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}}$

$= 2.640 \times 10^{-14}$ m

উ: 2.640×10^{-14} m

এখানে
প্রোটনের বেগ, $v = \frac{c}{20} = \frac{3 \times 10^8}{20}\ \text{ms}^{-1}$
প্রোটনের ভর, $m = 1.673 \times 10^{-27}$ kg
প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
দ্য ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১২। ফোটন ব্যবহার করে একটি মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে পরমাণুর মধ্যকার ইলেকট্রনের অবস্থান 0.2Å দূরত্বের মধ্যে নির্ণয় করার সময় ইলেকট্রনের ভরবেগ নিরূপণে অনিশ্চয়তা কত হবে?

আমরা জানি, $\Delta x\, \Delta p \approx \frac{1}{2} \times \frac{h}{2\pi}$

বা, $\Delta p = \frac{1}{2} \times \frac{h}{2\pi\, \Delta x}$

$\therefore \Delta p = \frac{1}{2} \times \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{2 \times 3.14 \times 0.2 \times 10^{-10}\ \text{m}}$

$= 2.637 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}$

উ: $2.637 \times 10^{-24}\ \text{kgms}^{-1}$

এখানে
ইলেকট্রনের অবস্থানে অনিশ্চয়তা, $\Delta x = 0.2$ Å
$= 0.2 \times 10^{-10}$ m
প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
ইলেকট্রনের ভরবেগে অনিশ্চয়তা, $\Delta p = ?$

সার-সংক্ষেপ

আপেক্ষিকতা : চিরায়ত বলবিজ্ঞান মতে স্থান, কাল ও ভর ধ্রুবক, এগুলো আপেক্ষিক নয়। আইনস্টাইন বলেন যে, স্থান, কাল ও ভর ধ্রুবক বা পরম কিছু নয়—এগুলো আপেক্ষিক। আইনস্টাইনের এই তত্ত্বকে বলা হয় আপেক্ষিকতা তত্ত্ব।

প্রসঙ্গ কাঠামো : যে দৃঢ় বস্তুর সাপেক্ষে ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনো বিন্দুকে সুনির্দিষ্ট করা হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

জড় প্রসঙ্গ কাঠামো : জড় প্রসঙ্গ কাঠামো হলো সে প্রসঙ্গ কাঠামো যার মধ্যে নিউটনের গতিসূত্র অর্জন করা যায়। এরা পরস্পর ধ্রুব বেগে গতিশীল।

আপেক্ষিকতা তত্ত্বের স্বীকার্য :

প্রথম স্বীকার্য : সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলোর একই গাণিতিক রূপ থাকে।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : শূন্যস্থানে সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর দ্রুতি c এর মান একই।

কালদীর্ঘায়ন : কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল অবস্থায় সংঘটিত দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী কাল ব্যবধান ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় সংঘটিত ঐ একই ঘটনাদ্বয়ের মধ্যবর্তী কাল ব্যবধানের চেয়ে বেশি হয়, এই প্রভাবকে কাল দীর্ঘায়ন বলে।

দৈর্ঘ্য সংকোচন : কোনো পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল বস্তুর দৈর্ঘ্য ঐ পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় ঐ একই বস্তুর দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হয়, এই প্রভাবকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলা হয়।

ভরের আপেক্ষিকতা : বস্তুর চলমান বা গতিশীল ভর ও নিশ্চল ভর সমান নয়। বস্তুর বেগ বৃদ্ধির সাথে সাথে এর ভর বৃদ্ধি পায়। পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে কোনো বস্তু যদি v দ্রুতিতে গতিশীল হয় তাহলে এর গতিশীল ভর পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে এর নিশ্চল ভরের চেয়ে $\dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ গুণ বেশি হবে।

ভর ও শক্তি : আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের সাহায্যে একটি বিখ্যাত সম্পর্ক বের করেন। এই সম্পর্ক হলো ভর ও শক্তির সম্পর্ক। এটি হলো :

$$E = mc^2$$

যেখানে, E = শক্তি

m = বস্তুর ভর এবং

c = আলোর দ্রুতি

এক্স-রে : দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এ বিকিরণকে এক্স-রে বলে। ১৮৯৫ সালে উল্‌হ্ হেলম্ রন্টজেন এক্স-রে আবিষ্কার করেন।

ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া : যথোপযুক্ত উচ্চ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোকরশ্মি কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হলে তা থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়, এ ঘটনাই ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া নামে পরিচিত। ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নিঃসৃত ইলেকট্রনকে ফটোইলেকট্রন বলা হয়।

দ্য ব্রগলি তরঙ্গ : ১৯২৪ খ্রিস্টাব্দে দ্য ব্রগলি আবিষ্কার করেন যে, কোনো গতিশীল কণার সাথে একটা তরঙ্গ সংশ্লিষ্ট থাকে। এই তরঙ্গকে বলা হয় দ্য ব্রগলি তরঙ্গ। এই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে বলা হয় দ্য ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \dfrac{h}{mv}$।

কম্পটন ক্রিয়া : একবর্ণী এক্স-রে হালকা মৌল যেমন কার্বন দ্বারা বিক্ষিপ্ত হলে, বিক্ষিপ্ত অংশটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত তরঙ্গের চেয়ে কিছুটা বেশি হয়। এ ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

অনিশ্চয়তা নীতি : কোনো কণার অবস্থান এবং ভরবেগ নির্ভুলভাবে যুগপৎ পরিমাপ করা যায় না। একমাত্র নিম্নোক্ত সম্পর্ক দ্বারা সীমাবদ্ধ নির্ভুলতাসহ এ রাশিগুলোর মান নির্ণয় করা যেতে পারে। $\Delta x.\Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

অনুশীলনী

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

১। এক্স রশ্মি হচ্ছে—

(ক) উচ্চশক্তির ইলেকট্রন ○ (খ) তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ ○
(গ) উচ্চ শক্তির প্রোটন ○ (ঘ) নিউট্রনের স্রোত ○

২। এক্স রশ্মি হচ্ছে—

(ক) দীঘল তরঙ্গ ○ (খ) যান্ত্রিক তরঙ্গ ○
(গ) আড়তরঙ্গ ○ (ঘ) অবলোহিত তরঙ্গ ○

৩। 1Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে একবর্ণী এক্স রশ্মির শক্তি কত?

(ক) 2×10^{-15} J ○ (খ) 2×10^{-16} J ○
(গ) 2×10^{-17} J ○ (ঘ) 2×10^{-18} J ○

৪। কোনো ধাতব পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নির্গমনের ঘটনা কখন ঘটে?

(ক) যখন এটি উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয় ○
(খ) যখন এর উপর উপযুক্ত বেগের ইলেকট্রন আঘাত করে ○
(গ) যখন উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো এর উপর আপতিত হয় ○
(ঘ) যখন এটি একটি শক্তিশালী তড়িৎ ক্ষেত্রে রাখা হয় ○

৫। নিচের কোনটি ব্যাখ্যা করতে আলোকে ফোটনের স্রোত হিসেবে বিবেচনা করতে হয়?

(ক) আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ○ (খ) আলোর অপবর্তন ○
(গ) আলোর সমবর্তন ○ (ঘ) আলোর ব্যতিচার ○

৬। তাড়িতচৌম্বক বিকিরণের কোন ধর্ম দ্বারা ফটোতড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়?

(ক) এটি আড় তরঙ্গ ○ (খ) একটি দীঘল তরঙ্গ ○
(গ) এটি পোলারায়ন যোগ্য ○ (ঘ) এটি ফোটনের সমষ্টি ○

৭। ফোটনের কম্পাঙ্ক f হলে একটি ফোটনের ভরবেগ কোনটি?

(ক) $\frac{hf}{c^2}$ ○ (খ) $\frac{hf}{c}$ ○
(গ) hfc ○ (ঘ) hfc^2 ○

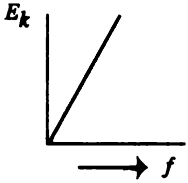
৮। বিকিরণের কী পরিবর্তন ঘটালে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়?

(ক) তীব্রতা বৃদ্ধি করলে ○ (খ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে ○
(গ) কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি করলে ○ (ঘ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক উভয়ই বৃদ্ধি করলে ○

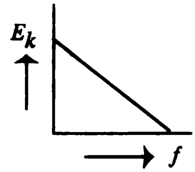
৯। f কম্পাঙ্কের একটি ফোটন একটি ধাতব পৃষ্ঠের উপর আপতিত হলো যার সূচন কম্পাঙ্ক f_o। নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি নিচের কোনটি?

(ক) $h(f - f_o)$ ○ (খ) $h(f + f_o)$ ○
(গ) $\frac{1}{2}h(f - f_o)$ ○ (ঘ) $\frac{1}{2}h(f + f_o)$ ○

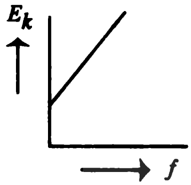
১০। নিচের কোন লেখচিত্রটি বিকিরণের কম্পাঙ্কের সাথে সর্বাধিক গতি শক্তির পরিবর্তন নির্দেশ করে?

(ক) 

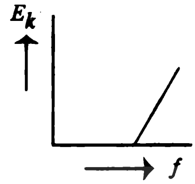
○

(খ) 

○

(গ) 

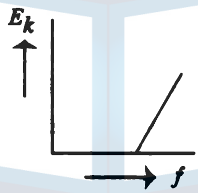
○

(ঘ) 

○

১১। কোন ধাতুর কার্যাপেক্ষক 1.37 eV হলে সূচন কম্পাঙ্ক কত?
(ক) 3.3×10^{14} Hz ○ (খ) 3×10^{15} Hz ○
(গ) 5×10^{15} Hz ○ (ঘ) 6×10^{15} Hz ○

১২। নিচের লেখচিত্রটি ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতি শক্তির সাথে আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে। লেখচিত্রটির ঢাল কত?



(ক) ইলেকট্রনের চার্জ ○ (খ) কার্যাপেক্ষক ○
(গ) প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক ○ (ঘ) সূচন কম্পাঙ্ক ○

১৩। 6650 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের গতিশক্তি কত?
(ক) 1.869eV ○ (খ) 1.532eV ○
(গ) 2.021eV ○ (ঘ) 2.5eV ○

১৪। 10 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান কত?
(ক) 6×10^7 ms^{-1} ○ (খ) 5.5×10^7 ms^{-1} ○
(গ) 5.93×10^7 ms^{-1} ○ (ঘ) 6.5×10^7 ms^{-1} ○

১৫। কোনো ধাতুর কার্যাপেক্ষক 1.85eV। সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
(ক) 6719Å ○ (খ) 6720Å ○
(গ) 6721Å ○ (ঘ) 6722Å ○

১৬। 100V বিভব পার্থক্যে ত্বরিত একটি ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
(ক) 1000Å ○ (খ) 100Å ○
(গ) 1.2Å ○ (ঘ) 1.007Å ○

১৭। কোনো ধাতুর কার্যাপেক্ষক 3.2×10^{-19}J। ঐ ধাতুতে 4500Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি আপতিত হলে মিশ্রিত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতি শক্তি নির্ণয় কর। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মান 6.63×10^{-34} Js
(ক) 0.82×10^{-19} J ○ (খ) 2.42×10^{-19} J ○
(গ) 1.02×10^{-19} J ○ (ঘ) 1.22^{-19} J ○

pdfcorner.com

১৮। λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের শক্তি কোনটি?

(ক) $h c\lambda$ ○ (খ) $\frac{hc}{\lambda}$ ○

(গ) λ/hc ○ (ঘ) $\frac{h\lambda}{c}$ ○

১৯। এক্স রশ্মি কে আবিষ্কার করেন?

(ক) বেকেরেল ○ (খ) মেরী কুরী ○

(গ) রন্টজেন ○ (ঘ) ভন লাউ ○

২০। এক্স রশ্মির প্রকৃতি নিচের কোনটির প্রকৃতির সাথে মিলে যায়?

(ক) ক্যাথোড রশ্মি ○ (খ) ধনাত্মক রশ্মি ○

(গ) গামা রশ্মি ○ (ঘ) আলফা রশ্মি ○

২১। কোন ধাতুর কার্যাপক্ষেক 3.2×10^{-19} J। ঐ ধাতুতে 4500Å রেখা দৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি আপতিত বলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মান 6.63×10^{-33} Js।

(ক) 0.82×10^{-19} J ○ (খ) 2.42×10^{-19} J ○

(গ) 1.02×10^{-19} J ○ (ঘ) 1.22×10^{-19} J ○

২২। পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুব বেগে গতিশীল যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের গতিসূত্র অর্জন করা যায় তাকে কী বলা হয়?

(ক) ত্রিমাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো ○ (খ) জড় প্রসঙ্গ কাঠামো ○

(গ) গতিশীল প্রসঙ্গ কাঠামো ○ (ঘ) চতুর্মাত্রিক প্রসঙ্গ কাঠামো ○

২৩। শূন্যস্থানে সকল জড়প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর দ্রুতি c এর মান কী হয়?

(ক) একই থাকে ○

(খ) জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর বেগ বৃদ্ধি পেলে আলোর দ্রুতি বেড়ে যায় ○

(গ) জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর বেগ বৃদ্ধি পেলে আলোর দ্রুতি কমে যায় ○

(ঘ) আলোর রং ভেদে বেগ পরিবর্তিত হয় ○

২৪। সকল জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলোর গাণিতিক রূপ কেমন থাকে?

(ক) একই রূপে থাকে না ○

(খ) একই রূপে থাকে ○

(গ) গাণিতিক সমীকরণে জড় প্রসঙ্গ কাঠামোর বেগ যুক্ত হয় ○

(ঘ) আলোর রং ভেদে বেগ পরিবর্তিত হয় ○

২৫। একটি আলোক উৎস দর্শকের দিকে $\frac{c}{4}$ বেগে গতিশীল, দর্শকের কাছে আলোর বেগ কত প্রতীয়মান হবে?

(ক) $\frac{5}{4}c$ ○ (খ) $\frac{3}{4}c$ ○

(গ) c ○ (ঘ) $3c$ ○

২৬। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে বস্তুর বেগ বাড়লে এর ভরের কী হবে?

(ক) একই থাকবে ○ (খ) কমে যাবে ○

(গ) বেড়ে যাবে ○ (ঘ) বেগের সমানুপাতে বেড়ে যাবে ○

২৭। কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হলে এর ভরের কী হবে?

(ক) শূন্য হবে ○ (খ) অসীম হবে ○

(গ) স্থির থাকবে ○ (ঘ) কোনোটি নয় ○

২৮। যে সকল নক্ষত্র নির্দিষ্ট সময় অন্তর বেতার স্পন্দন নির্গমন করে তাদেরকে কী বলে?
(ক) কৃষ্ণ গহ্বর ○ (খ) ছায়াপথ ○
(গ) পালসার ○ (ঘ) উপগ্রহ ○

২৯। আইনস্টাইনের ভর শক্তি সমীকরণ কোনটি?
(ক) $E = m^2c$ ○ (খ) $E = \frac{m}{c^2}$ ○
(গ) $E = \frac{c}{m_2}$ ○ (ঘ) $E = mc^2$ ○

৩০। কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থায় দৈর্ঘ্য, ঐ বস্তুর নিশ্চল অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট। একে কী বলা হয়?
(ক) দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন ○ (খ) দৈর্ঘ্য সংকোচন ○
(গ) কাল প্রসারণ ○ (ঘ) কোনোটি নয় ○

৩১। একটি মেসন কণার নিশ্চল অবস্থায় গড় আয়ু 30×10^{-8}s। কণাটি যদি 0.98c বেগে গতিশীল হয় তাহলে এর গড় আয়ু কত হবে?
(ক) 150×10^{-8}s ○ (খ) 30×10^{-8}s ○
(গ) 90×10^{-8}s ○ (ঘ) 60×10^{-8}s ○

৩২। একটি মিটার স্কেলকে তার দৈর্ঘ্য বরাবর মহাশূন্যে 2.6×10^8 ms^{-1} বেগে নিক্ষেপ করা হলে এর দৈর্ঘ্য কত মনে হবে?
(ক) 1.5 m ○ (খ) 0.499 m ○
(গ) 0.529 m ○ (ঘ) 0.75 m ○

৩৩। একটি ইলেকট্রন $0.99C$ বেগে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত? ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর 9.1×10^{-31} পথ।
(ক) 9.1×10^{-31} kg ○ (খ) 50.5×10^{-31} kg ○
(গ) 60.2×10^{-31} kg ○ (ঘ) 64.5×10^{-31} kg ○

৩৪। কোনো দেশে উৎপাদিত তড়িৎ শক্তির পরিমাণ 5.5×10^{11}kWh। রূপান্তরিত ভরের পরিমাণ কত কিলোগ্রাম?
(ক) 5.5 kg ○ (খ) 11.0 kg ○
(গ) 22.0 kg ○ (ঘ) 16.5 kg ○

৩৫। কোনো একটি বস্তু কণার মোট শক্তি এর স্থিতাবস্থায় শক্তির দ্বিগুণ। বস্তুর কণাটির দ্রুতি কত?
(ক) 2.1×10^8 ms^{-1} ○ (খ) 2.6×10^8 ms^{-1} ○
(গ) 2.5×10^8 ms^{-1} ○ (ঘ) 2.0×10^8 ms^{-1} ○

৩৬। 1amu ভরের সমতুল্য শক্তি কত ইলেকট্রন ভোল্ট?
(ক) 9.34×10^8 eV ○ (খ) 10.5×10^8 eV ○
(গ) 9.5×10^8 eV ○ (ঘ) 9.15×10^8 eV ○

৩৭। 1g ভরের সমতুল্য শক্তি কত জুল?
(ক) 10×10^{13} J ○ (খ) 9×10^{13} J ○
(গ) 8×10^{13} J ○ (ঘ) 7×10^{13} J ○

৩৮। এক্স রশ্মি—
(i) তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ
(ii) তাড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়
(iii) আলোর বেগে চলে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৩৯। আলোক কণিকা ফোটনের শক্তি—

(i) $E = hf$ (ii) $E = \frac{hc}{\lambda}$ (iii) $E = \frac{h}{\lambda}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৪০। দৈর্ঘ্যের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি,

(i) $L = L_o\sqrt{1 - v^2/c^2}$ (ii) $L_o = \frac{L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (iii) $L_o = L\sqrt{1 - v^2/c^2}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৪১। ভরের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি,

(i) $m = m_o\sqrt{1 - v^2/c^2}$ (ii) $m_o = m\sqrt{1 - v^2/c^2}$ (iii) $m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৪২। একটি ফোটনের শক্তি 100 MeV। ১ ও ২ নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

(১) ফোটনের কম্পাঙ্ক কত?

(ক) 2×10^{22} Hz ○ (খ) 2.41×10^{22} Hz ○
(গ) 3×10^{22} Hz ○ (ঘ) 3.52×10^{22} Hz ○

(২) ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

(ক) 1.24×10^{-14} m ○ (খ) 1.50×10^{-14} m ○
(গ) 1.75×10^{-14} m ○ (ঘ) 2.0×10^{-14} m ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (খ) ২. (গ) ৩. (ক) ৪. (গ) ৫. (ক) ৬. (ঘ) ৭. (খ) ৮. (গ) ৯. (ক) ১০. (ঘ) ১১. (ক) ১২. (গ) ১৩. (ক) ১৪. (গ) ১৫. (খ) ১৬. (গ) ১৭. (ঘ) ১৮. (খ) ১৯. (গ) ২০. (গ) ২১. (ঘ) ২২. (খ) ২৩. (ক) ২৪. (খ) ২৫. (গ) ২৬. (গ) ২৭. (খ) ২৮. (গ) ২৯. (ঘ) ৩০. (খ) ৩১. (ক) ৩২ (খ) ৩৩. (ঘ) ৩৪. (গ) ৩৫. (খ) ৩৬. (ক) ৩৭. (খ) ৩৮. (গ) ৩৯. (ক) ৪০. (ক) ৪১. (খ) ৪২. (গ) (ক)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে $2.4 \times 10^8 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল মাহশূন্য যানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং পৃথিবীর পঞ্জিকার হিসাবে 50 বছর পর ফিরে এলেন।

(ক) কাল দীর্ঘায়ন কাকে বলে?

(খ) লরেন্টজ রূপান্তর থেকে কীভাবে গ্যালিলিও রূপান্তরে পৌঁছা যায় দেখাও।

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত মহাশূন্যচারী পৃথিবীতে ফিরে এলে তার বয়স কত হবে?

(ঘ) আইনস্টাইন বলেছেন স্থান ও কালের মতো ভরও আপেক্ষিক। ভরবৃদ্ধি সমীকরণ থেকে উদাহরণসহ এর পক্ষে যুক্তি দাও।

২। 4×10^{15} Hz কম্পাঙ্কের কোনো বিকিরণ কোনো ধাতব পাতের উপর আপতিত হলে সর্বোচ্চ 3.6×10^{-19}J শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়।

(ক) কোন ধাতুর কার্যাপেক্ষক কাকে বলে?

(খ) ফোটন কাকে বলে? সূচন কম্পাঙ্ক কী?

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত ধাতব পাতের সূচন কম্পাঙ্ক কত?

(ঘ) ধাতব পাতে একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ক্রিয়াকে কী বলে? যে সমীকরণের সাহায্যে আইনস্টাইন এই ক্রিয়া ব্যাখ্যা করেন যথাযথ যুক্তি দিয়ে তা নির্ণয় কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। আপেক্ষিকতা তত্ত্ব বলতে কী বুঝ?

২। প্রসঙ্গ কাঠামো বলতে কী বুঝ?

৩। জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলতে কী বুঝ?

৪। আপেক্ষিকতা কাকে বলে? আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের স্বীকার্য দুটি বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর।

৫। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বীকার্য দুটি বর্ণনা কর।

৬। গ্যালিলীয় রূপান্তর সমীকরণগুলো লেখ। গ্যালিলীয় রূপান্তরের সীমাবদ্ধতা আলোচনা কর।

৭। সময়ের আপেক্ষিকতা বা কাল দীর্ঘায়ন কী? কালদীর্ঘায়নের সমীকরণটি লেখ।

৮। দৈর্ঘ্য সংকোচন কী? এর সমীকরণটি লেখ।

৯। কোনো বস্তুর বেগ বৃদ্ধি পেলে তার দৈর্ঘ্যের উপর কী প্রভাব পড়ে?

১০। ভরের আপেক্ষিকতা কী বা বলতে কী বুঝ?

১১। আপেক্ষিক তত্ত্বের মতে কোনো বস্তুর ভরও আপেক্ষিক যুক্তি দেখাও।

১২। মৌলিক বল কাকে বলে? মৌলিক বল কত প্রকার ও কী কী ব্যাখ্যা করে বোঝাও।

১৩। মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।

১৪। কালো বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানে ব্যর্থতা ও প্ল্যাঙ্কের সূত্রের সাফল্য ব্যাখ্যা কর।

১৫। ফোটন কাকে বলে?

১৬। এক্সরে কী? কত প্রকার ও কী কী? এদের মধ্যে পার্থক্য কী? এক্সরের ধর্ম ও ব্যবহার উল্লেখ কর।

১৭। এক্সরে উৎপাদনের একটি পদ্ধতি চিত্রসহ বর্ণনা কর।

১৮। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া কাকে বলে? ফটোইলেকট্রন কী? সূচন কম্পাঙ্ক কাকে বলে?

১৯। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলো ব্যাখ্যা কর।

২০। ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া ব্যাখ্যায় চিরায়ত তরঙ্গ তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা এবং কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাফল্য ব্যাখ্যা কর।

২১। দ্য ব্রগলির তরঙ্গ ধারণা ব্যাখ্যা কর। দ্য ব্রগলির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রাশিমালা নির্ণয় কর।

২২। কম্পটন ক্রিয়া কাকে বলে ব্যাখ্যা করে বোঝাও।

২৩। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি ব্যাখ্যা কর।

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে 1.8×10^8 ms^{-1} বেগে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তিনি 30 বছর মহাকাশে কাটিয়ে এলে তার বয়স কত হবে? [উ: 49 বছর]

২। একটি রকেট কত দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে? [উ: 2.6×10^8 ms^{-1}]

৩। কোনো কাল্পনিক ট্রেন কত দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্যের এক-তৃতীয়াংশ হবে? [উ: 2.8×10^8 ms^{-1}]

৪। একটি বস্তুকণা 0.5 C বেগে গতিশীল আছে। বস্তুটির স্থির অবস্থার ভর এবং গতিশীল অবস্থার ভরের অনুপাত বের কর। [উ: 0.866]

৫। একটি ইলেকট্রন (নিশ্চল ভর 9.1×10^{-31} kg) আলোর দ্রুতির 90% দ্রুতিতে চললে এর ভর কত হবে? [উ: 20.88×10^{-31} kg]

৬। $\frac{c}{\sqrt{3}}$ বেগে চলমান একটি কণার গতিশক্তি ও মোট শক্তি নির্ণয় কর। [উ: $0.23m_oc^2$; $1.23\ m_oc^2$]

৭। কোনো বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় শক্তি 4.0×10^{26} J । এর নিশ্চল ভর কত? [উ: 4.44×10^9 kg]

৮। 1.4×10^5 eV গতিশক্তি সম্পন্ন একটি ইলেকট্রনের ভর কত? স্থির ইলেকট্রনের ভর 9.1×10^{-28} g। [উ: 11.6×10^{-31} kg]

৯। একটি ইলেকট্রন কত বেগে গতিশীল হলে তার ভর একটি প্রোটনের ভরের সমান হবে? প্রোটনের ভর = 1.67×10^{-27}kg। [উ: $2.9 \times 10^8 ms^{-1}$]

১০। 5g ভরের সমতুল্য শক্তি জুল, eV ও MeV এককে নির্ণয় কর। [উ: 4.5×10^{14} J, 2.8×10^{33} eV, 2.8×10^{27} MeV]

১১। একটি ইলেকট্রনকে ভর-শক্তি রূপান্তর প্রক্রিয়ায় সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করলে কী পরিমাণ শক্তি পাওয়া যাবে? [উ: 5.1×10^5 eV]

১২। একটি গতিশীল কণার মোটশক্তি এর স্থিরাবস্থার শক্তির 1.5 গুণ হলে কণাটির দ্রুতি কত? [উ: 2.24×10^8 ms^{-1}]

১৩। 6630×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের কম্পাঙ্ক ও শক্তি নির্ণয় কর। [উ: 4.5×10^{14} Hz^{-1}; 1.875 eV]

১৪। 3000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলোর প্রতিটি ফোটন কতটা শক্তি বহন করে? [উ: 4.14 eV]

১৫। কোনো পদার্থের কার্যাপেক্ষক 1.85 eV হলে ঐ পদার্থের সূচন কম্পাঙ্ক কত? [উ: 4.5×10^{14} Hz]

১৬। প্লাটিনামের কার্যাপেক্ষক 6.2 eV হলে এর সূচন কম্পাঙ্ক কত? [উ: 1.5×10^{-35}Hz]

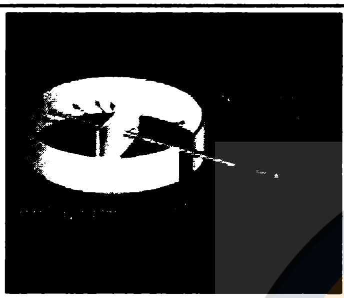
১৭। পটাশিয়ামের কার্যাপেক্ষক 2.00 eV হলে এর সূচন কম্পাঙ্ক কত? [উ: 4.83×10^{14}Hz]

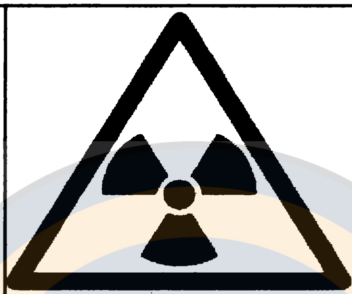
১৮। সোডিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800Å। এর কার্যাপেক্ষক কত? [উ: $\phi = 1.83$ eV]

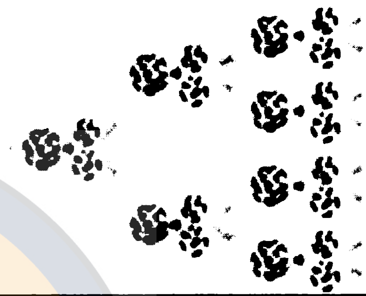
নবম অধ্যায়

পরমাণুর মডেল ও নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান

ATOMIC MODEL & NUCLEAR PHYSICS







বিগত শতাব্দীতেই বিজ্ঞানীরা জেনে গেছেন যে, মহাবিশ্বের সকল কিছুই পরমাণু দিয়ে গড়া। আর পরমাণুতে আছে ইলেকট্রন প্রোটন। এরা পরমাণুর মধ্যে কীভাবে থাকে তা' নিয়েই পরমাণু মডেল। এ অধ্যায়ে আমরা বিভিন্ন পরমাণু মডেল, তেজস্ক্রিয়া, নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো।

প্রধান শব্দসমূহ :
থমসন পরমাণু মডেল, রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল, বোরের পরমাণু মডেল, তেজস্ক্রিয়া, অর্ধজীবন, গড় জীবন, ভর ত্রুটি, বন্ধন শক্তি, নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া, নিউক্লিয়ার ফিশান, নিউক্লিয়ার ফিউশন, শৃঙ্খল বিক্রিয়া।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ বর্ণনা করতে পারবে।	৯.১
২	রাদারফোর্ড আলফা কণা পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবে।	৯.২
৩	পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত রাদারফোর্ডের মডেল ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৯.৩
৪	রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৯.৪
৫	বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রমণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৯.৫
৬	নিউক্লিয়াসের গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৯.৬
৭	নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস ব্যাখ্যা করতে পারবে।	৯.৭

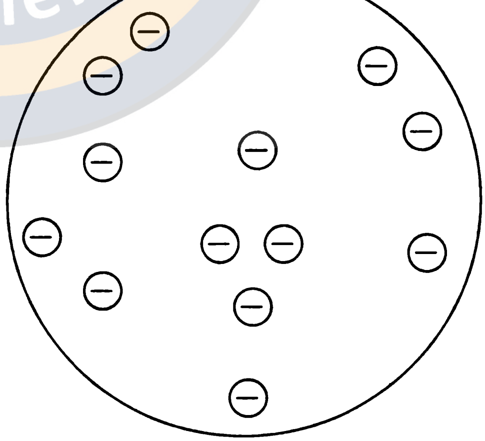
৯·১। পরমাণুর গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ
Development of Concept of Structure of Atom

১৯০০ সালের দিকে এ ধারণা প্রায় স্পষ্ট হয়ে গিয়েছিল যে, এই মহাবিশ্বের সকল কিছু পরমাণু দিয়ে গড়া। এটাও প্রতিষ্ঠিত হয়ে গিয়েছিল যে, সকল পরমাণুতেই রয়েছে ইলেকট্রন। এর প্রমাণ অবশ্য পাওয়া গিয়েছিল ক্যাথোড রশ্মি ও ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া নিয়ে পরীক্ষা নিরীক্ষা করার সময়। ইলেকট্রন ঋণাত্মক আধানযুক্ত কণিকা। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে পরমাণু সর্বসমেতভাবে একটি নিরপেক্ষ কণিকা। সুতরাং এটা ধারণা করা স্বাভাবিক ছিল যে, পরমাণুতে অবশ্যই ঋণাত্মক আধানের সমপরিমাণ ধনাত্মক আধান রয়েছে। এছাড়া, ইলেক্ট্রনের মোট ভর পরমাণুর ভরের তুলনায় খুবই নগণ্য। সুতরাং ধারণা করা হয়েছিল যে, পরমাণুতে অধিক ভরবিশিষ্ট ধনাত্মক আধানযুক্ত কণিকা রয়েছে। এ ধারণার প্রেক্ষিতে বিজ্ঞানী থমসন পরমাণুর গড়নের একটি মডেল প্রস্তাব করেন। এই মডেলটি প্লাম পুডিং মডেল নামে অভিহিত। একে বাংলায় কিশমিশ পুডিং মডেল বলা যেতে পারে।

থমসনের কিশমিশ পুডিং মডেল বিজ্ঞানীদের মধ্যে তেমন গ্রহণযোগ্যতা না পাওয়ায় বিজ্ঞানীরা নতুন নতুন মডেলের সন্ধানে গবেষণা চালিয়ে যেতে থাকেন। রাদারফোর্ড আলফা কণা পরীক্ষার মাধ্যমে সৌর মডেল প্রদান করেন। পরবর্তীতে নীলস্ বোর রাদারফোর্ডের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ও প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব সমন্বয় করে পরমাণুর কোয়ান্টাম মডেল প্রদান করেন।

থমসন পরমাণু মডেল : কিশমিশ পুডিং মডেল

১৮৯৮ সালে বিজ্ঞানী জে. জে. থমসন যে কিশমিশ পুডিং মডেল প্রস্তাব করেন তাতে তিনি বলেন যে, পুডিংয়ের ভেতর কিশমিশ যেমন বিক্ষিপ্তভাবে ছড়িয়ে ছিটিয়ে থাকে পরমাণুতে ঠিক তেমনি নিরবচ্ছিন্নভাবে বণ্টিত ধনাত্মক আধানের মধ্যে ইলেকট্রন ছড়িয়ে আছে। দেশজভাবে এ মডেলকে তরমুজ মডেল বলা যেতে পারে। তরমুজের রসালো অংশকে যদি ধনাত্মক আধান বিবেচনা করা হয় এবং তরমুজের বীচিকে যদি ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন মনে করা হয় তাহলে তরমুজের রসালো অংশের মধ্যে এর বীচিগুলো বিক্ষিপ্তভাবে ছড়িয়ে থাকাকে থমসন পরমাণু মডেলের সাথে তুলনা করা যেতে পারে (চিত্র ৯.১)। থমসন বলেছিলেন যে, ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে তড়িৎ মিথস্ক্রিয়ার দরুন এরা এক অ্যাঙ্গস্ট্রম (10^{-10} m) পর্যায়ের ব্যাসার্ধের কল্পিত গোলাকৃতি পরমাণুর ভেতর সুবিন্যস্ত থাকে।

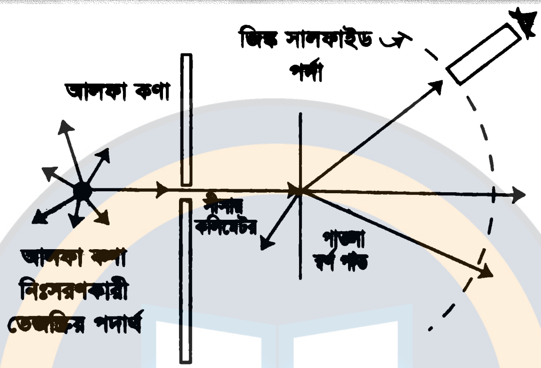


চিত্র : ৯.১

৯.২। আলফা কণা পরীক্ষা (Alpha Particle Experiment)

রাদারফোর্ডের পরীক্ষা

আর্নেস্ট রাদারফোর্ড ১৯০৯ সালে তাঁর বিখ্যাত আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষা সম্পাদন করেন। আলফা কণা হলো তেজস্ক্রিয় বিকিরণে নির্গত ধনাত্মক আধানযুক্ত কণিকা। রাদারফোর্ডের নির্দেশে তার দুজন সহকর্মী গাইগার ও মার্সডেন এ পরীক্ষাটি করেছিলেন। একটি তেজস্ক্রিয় উৎস থেকে নির্গত আলফা কণা দিয়ে ভারী ধাতুর (যেমন স্বর্ণ) অত্যন্ত পাতলা পাতকে আঘাত করা হয়েছিল।



চিত্র : ৯.২

পরীক্ষায় যে স্বর্ণের পাত ব্যবহার করা হয়েছিল তার পুরুত্ব ছিল 6×10^{-7}m। স্বর্ণপাতের অপরদিকে রাখা হয়েছিল একটি চলনশীল জিঙ্ক সালফাইড পর্দা (চিত্র ৯.২)। আলফা কণা যখন এ পর্দায় এসে পড়ত তখন আলোকপ্রভা দেখা যেত।

পরীক্ষায় দেখা যায় যে, প্রায় 99% আলফা কণাই স্বর্ণপাত ভেদ করে সোজাসুজি চলে যায় এবং ZnS পর্দাকে আলোকিত করে।

মাত্র কয়েকটি আলফা কণা তাদের পথ থেকে বেঁকে যায়।

খুব কমসংখ্যক আলফা কণা (প্রায় 20,000 এর মধ্যে 1টি) সোজা বিপরীত দিকে ফিরে আসে।

পরীক্ষা থেকে রাদারফোর্ড নিম্নোক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন :

পরমাণুর অধিকাংশ স্থানই ফাঁকা। যেহেতু আলফা কণার তুলনায় ইলেকট্রনের ভর অতি নগণ্য, সেহেতু এই ফাঁকা স্থানে ইলেকট্রন থাকতে পারে। তবে এরা আলফা কণার গতিপথের কোনো পরিবর্তন ঘটাতে পারে না।

যেহেতু খুব কম সংখ্যক আলফা কণা বিপরীত দিকে ফিরে আসে, তাই বলা যায়, আলফা কণা সোজাসুজি তার চেয়ে ভারী কোনো কিছুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় বা তা দ্বারা বিকর্ষিত হয়। অর্থাৎ পরমাণুর কেন্দ্রে পরমাণুর সমস্ত ভর অতি ক্ষুদ্র স্থান দখল করে থাকে।

যেহেতু আলফা কণাসমূহ ধনাত্মক আধানযুক্ত এবং এক্ষেত্রে বিকর্ষিত হয় সেহেতু পরমাণুর কেন্দ্রও ধনাত্মক আধানযুক্ত হবে। তিনি ভারী ও ধনাত্মক আধানযুক্ত পরমাণুর এ কেন্দ্রকে নিউক্লিয়াস নামে অভিহিত করেন।

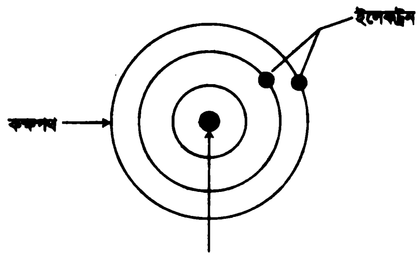
নিউক্লিয়াসের আয়তন সমগ্র পরমাণুর আয়তনের তুলনায় খুবই কম। হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাস যেখানে 10^{-10} m, সেখানে নিউক্লিয়াসের ব্যাস 10^{-15} m থেকে 10^{-14} m, অর্থাৎ পরমাণু নিউক্লিয়াসের তুলনায় দশ হাজার থেকে এক লাখ গুণ বড়।

আলফা কণিকা বিক্ষেপণ পরীক্ষার পর্যবেক্ষণের ওপর ভিত্তি করে ১৯১১ সালে রাদারফোর্ড পরমাণুর গঠন সম্পর্কে একটি মডেল প্রদান করেন।

pdfcorner.com

৯.৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল : সৌর মডেল
Rutherford Atom Model: Solar Model

পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে একটি ধনাত্মক আধানযুক্ত ভারী বস্তু আছে। এই ভারী বস্তুকে নিউক্লিয়াস বলা হয়। পরমাণুর মোট আয়তনের তুলনায় নিউক্লিয়াসের আয়তন অতিশয় নগণ্য। নিউক্লিয়াসে পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক আধান এবং প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত।



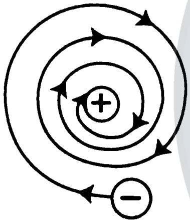
চিত্র : ৯.৩

পরমাণু তড়িৎ নিরপেক্ষ। অতএব নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধানের সমান সংখ্যক ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে থাকে।

সৌরজগতে সূর্যের চারদিকে ঘূর্ণায়মান গ্রহসমূহের মতো পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো এর কেন্দ্রে থাকা নিউক্লিয়াসের চারদিকে অবিরত ঘুরছে (চিত্র ৯.৩)। নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের মধ্যে বিদ্যমান স্থিরতড়িৎ আকর্ষণ বল এক্ষেত্রে কেন্দ্রমুখী বল হিসেবে কাজ করছে।

৯.৪। রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Rutherford Model)

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফলের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ হলেও তাত্ত্বিক দিক দিয়ে মডেলটি যথেষ্ট বিরোধিতার সম্মুখীন হয়। এ মডেলের বিরোধীরা বলেন,


চিত্র : ৯.৪

সৌরমণ্ডলের গ্রহসমূহ সামগ্রিকভাবে আধানবিহীন অথচ ইলেকট্রনগুলো ঋণাত্মক আধানযুক্ত এবং পরস্পরকে কুলম্ব বল দ্বারা বিকর্ষণ করে। অপরদিকে গ্রহগুলো মহাকর্ষ বল দ্বারা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতরাং গ্রহের সাথে ইলেকট্রনের তুলনা সঠিক হয় না।

ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বানুসারে কোনো আধানযুক্ত বস্তু বা কণা বৃত্তাকার পথে ঘুরলে তা ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ করবে এবং তার গতিপথের ব্যাসার্ধ ধীরে ধীরে কমতে থাকবে এবং ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ক্রমাগত শক্তি হারিয়ে নিউক্লিয়াসে পতিত হবে (চিত্র ৯.৪)। ফলে পরমাণুর অস্তিত্ব থাকবে না। কিন্তু বাস্তবে পরমাণু হতে ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ বা ইলেকট্রনের নিউক্লিয়াসে পতন কখনোই ঘটে না।

আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার সম্পর্কে কোনো ধারণা রাদারফোর্ডের মডেলে দেওয়া হয়নি।

৯.৫। বোরের পরমাণু মডেল : কোয়ান্টাম মডেল
Bohr Atom Model : Quantum Model

রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রম করার জন্য রাদারফোর্ডের পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সাথে প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব সমন্বয় করে ১৯১৩ সালে ডেনমার্কের পদার্থবিজ্ঞানী নীলস্ বোর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে একটা নতুন মডেল উপস্থাপন করেন।

কোয়ান্টাম তত্ত্বের ওপর ভিত্তি করে বোরের মডেলের উল্লেখযোগ্য প্রস্তাব বা স্বীকার্য হলো :

১. কৌণিক ভরবেগ সংক্রান্ত স্বীকার্য : পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে কতগুলো নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরতে পারে যেখানে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ L হলো কোনো পূর্ণসংখ্যা n এবং $\frac{h}{2\pi}$ এর গুণফল।

অর্থাৎ, $$L = n\frac{h}{2\pi} \quad \ldots \quad (9.1)$$

সুতরাং আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথ ছিন্নায়িত ও অনুমোদিত।

২. শক্তিস্তর সংক্রান্ত স্বীকার্য : পরমাণুর ইলেকট্রনসমূহ নির্দিষ্ট শক্তির কতগুলো বৃত্তাকার স্থায়ী কক্ষপথে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে আবর্তন করে। এসব কক্ষপথে আবর্তনের সময় ইলেকট্রন কোনো শক্তি শোষণ বা বিকিরণ করে না।

এ কক্ষগুলো শক্তি স্তর নামে পরিচিত। নিউক্লিয়াস থেকে ক্রমাগত দূরবর্তী শক্তিস্তরসমূহকে ১ম, ২য়, ৩য় ইত্যাদি শক্তি স্তর বলা হয়। প্রত্যেক শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের শক্তি নির্দিষ্ট।

৩। কম্পাঙ্ক সংক্রান্ত স্বীকার্য : কোনো ইলেকট্রন যখন এক স্থায়ী কক্ষপথ থেকে অন্য কোনো স্থায়ী কক্ষপথে যায় তখন এটি শক্তি নিঃসরণ বা শোষণ করে। নিঃসৃত বা শোষিত ফোটনের শক্তি হয় শক্তি স্তর দুটির শক্তির পার্থক্যের সমান।

কোনো ইলেকট্রন যদি উচ্চশক্তি স্তর E_u থেকে একটি নিম্নশক্তি স্তর E_l -এ গমন করে তাহলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি হবে, $hf = E_u - E_l$ ... ... (9.2)

এখানে h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক এবং f হলো ফোটনের কম্পাঙ্ক।

বোরের এই স্বীকার্যগুলোকেই বোরের পরমাণু মডেল বলা হয়।

বোরের পরমাণু মডেলের সাফল্য : রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রমণ

বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রম করা সম্ভব হয়।

পরমাণুর স্থায়িত্ব এক অতি গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। রাদারফোর্ডের মডেল পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করতে ব্যর্থ হয়। কোয়ান্টাম মডেল উপস্থাপন করে বোর এ সীমবদ্ধতা অতিক্রম করতে সক্ষম হন। এই মডেলের সাহায্যে হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালি রেখার উৎপত্তির ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হয় এবং কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ও কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি পরিমাপ করাও এই মডেলের সাহায্যে সম্ভব হয়।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড

বোরের মডেল অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ ও শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

হাইড্রোজেন পরমাণু হলো সবচেয়ে সরল পরমাণু এবং এর পারমাণবিক সংখ্যা ১। এই পরমাণুতে একটি প্রোটন নিউক্লিয়াস হিসেবে থাকে এবং একটি ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘোরে। মনে করা যাক, ইলেক্ট্রনের ভর m, এবং আধান e।

মনে করি, ইলেকট্রনটি r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রোটন তথা নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে v দ্রুতিতে ঘুরছে। সুতরাং ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত কেন্দ্রমুখী বল,

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.3)$$

আবার, প্রোটনের আধানও e এবং প্রোটন ও ইলেকট্রনের মধ্যকার স্থির তড়িত বল হলো

$$Fe = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.4)$$

যেহেতু এই স্থির তড়িত বলই কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে, সুতরাং

$$F_c = F_e$$

$$\text{বা, } \frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

$$\text{বা, } v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{mr}$$

$$\text{বা, } v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5)$$

এখন n তম কক্ষপথের ইলেকট্রন বিবেচনা করলে (9.5) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_n}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.6)$$

এখানে

$v_n = n$ তম কক্ষপথের ইলেকট্রনের বেগ

$r_n = n$ তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ

ব্যাসার্ধ :

এখন আমরা জানি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ

$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$

বা, $L = rmv \sin 90° = mvr$

বোরের প্রথম স্বীকার্য থেকে আমরা জানি, স্থায়ী কক্ষের শর্ত

$$L = n\frac{h}{2\pi}$$

সুতরাং $mv_n r_n = n\frac{h}{2\pi}$

(9.6) সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত v_n এর মান এই সমীকরণে বসিয়ে আমরা পাই,

$$\frac{me}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_n}} r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad \text{বা,} \quad \frac{m^2e^2r_n^2}{4\pi\epsilon_0 m r_n} = \frac{n^2h^2}{4\pi^2}$$

$$\text{বা,} \quad r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.7)$$

এখন $n = 1$ হলে

$$r_1 = \frac{h^2\epsilon_0}{\pi me^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.8)$$

এই r_1 কে বলা হয় প্রথম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বা হাইড্রোজেন পরমাণু ব্যাসার্ধ। একে অনেক সময় a_0 দিয়ে প্রকাশ করা হয়। এই সমীকরণে ডান পাশের রাশিগুলোর মান বসালে আমরা পাই,

$a_0 = r_1 = 0.53 \times 10^{-10}$ m

বা, $a_0 = r_1 = 0.53$Å

এখন r_1 এর সাহায্যে (9.7) সমীকরণকে লেখা যায়,

$$r_n = n^2 r_1 = n^2 a_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.9)$$

সুতরাং, $r_2 = 4r_1$

$r_3 = 9r_1$ ইত্যাদি।

সুতরাং দেখা যায় যে, হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষপথ ছিন্নায়িত এবং অনুমোদিত।

শক্তি :

ইলেকট্রনের মোটশক্তি

$$E_n = E_k + E_p \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.10)$$

এখানে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E_k = \frac{1}{2}mv_n^2$$

$$= \frac{1}{2}m \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{mr_n}$$

pdfcorner.com

বা, $E_k = \frac{1}{2} \times \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}$ … … (9.11)

এখন, আমরা ইলেকট্রনের বিভবশক্তি E_p হিসাব করব। নিউক্লিয়াসের প্রোটনের আধানের জন্য অর্থাৎ e আধানের জন্য ইলেকট্রনের অবস্থানে তড়িৎ বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{r_n}$$

সুতরাং, নিউক্লিয়াস থেকে r_n দূরত্বে অবস্থিত ইলেকট্রনের বিভবশক্তি

E_p = ইলেকট্রনের আধান × বিভব

$= -eV$

বা, $E_p = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$ … (9.12)

সুতরাং $E_n = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$

$\therefore E_n = -\frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$ … (9.13)

এখন (9.7) সমীকরণ থেকে r_n এর মান এই সমীকরণে বসিয়ে

$$E_n = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2 \pi m e^2}{n^2 h^2 \epsilon_0}$$

বা, $E_n = -\frac{me^4}{8n^2h^2\epsilon_0^2}$ … (9.14)

এখানে $n = 1, 2, 3, \ldots$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় পরমাণুর মোট শক্তি সর্বদাই ঋণাত্মক, অর্থাৎ অসীমের দিকে ইলেকট্রনকে সরিয়ে নিতে হলে কাজ সম্পাদন করতে হয়। অসীমে শক্তির পরিমাণ শূন্য এর অর্থ হলো ইলেকট্রন পরমাণুতে আবদ্ধ (bound)।

$n = 1$ হলে, (9.14) সমীকরণ থেকে পাই,

$E_1 = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2}$ (9.15)

সুতরাং $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$

$n = 2$ হলে, $E_2 = \frac{1}{4} E_1$

$n = 3$ হলে $E_3 = \frac{1}{9} E_1$ ইত্যাদি।

এই সমীকরণগুলো থেকে দেখা যায় যে, যে কোনো মানের শক্তি অনুমোদিত নয়। কেবল কতগুলো নির্দিষ্ট মানের শক্তিই থাকা সম্ভব, অর্থাৎ শক্তি ছিন্নায়িত।

(9.15) সমীকরণে ডানপাশের রাশিগুলোর মান বসালে E_1 এর মান পাওয়া যায়,

$$E_1 = -\frac{(9.1 \times 10^{-31}\ kg) \times (1.6 \times 10^{-19} C)^4}{8 \times (6.63 \times 10^{-34}\ Js)^2 \times (8.85 \times 10^{-12}\ C^2 N^{-1} m^{-2})^2}$$

$= -2.17 \times 10^{-18}$J

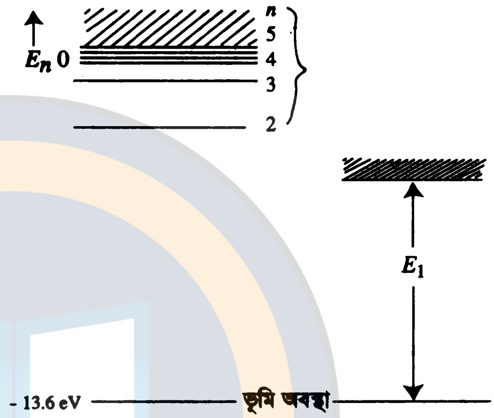
বা, $E_1 = -13.6$ eV

E_1 কে বলা হয় হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি।

৯·৬। শক্তি স্তর
Energy Levels

পরমাণুর ইলেকট্রনগুলোর শক্তির কতগুলো সুনির্দিষ্ট মান থাকতে পারে, এই মানগুলোকে পরমাণুর শক্তিস্তর বলা হয়। কোনো নির্দিষ্ট মৌলের সকল পরমাণুর শক্তিস্তরের একই রকম সেট থাকে। এটিই ঐ মৌলের বৈশিষ্ট্য। এর অর্থ হলো, অন্যান্য মৌলের জন্য শক্তিস্তরের এই সেট পৃথক। কোনো পরমাণুর বিভিন্ন শক্তিস্তরের শক্তি তরঙ্গ বলবিদ্যা ব্যবহার করে বের করা যায়। হাইড্রোজেন পরমাণুর বেলায় বোর মডেল ব্যবহার করে এই শক্তি স্তরের শক্তি বের করা যায়।

পরমাণুর শক্তি স্তরকে চিত্রে অনুভূমিক রেখায় অনুক্রম দ্বারা নির্দেশ করা হয়। চিত্র ৯·৫-এ হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তরের চিত্র দেখানো হয়েছে। হাইড্রোজেনের শুধু একটি ইলেকট্রন থাকে যা সাধারণত সর্বনিম্ন শক্তিস্তর দখল করে থাকে। এই স্তরের শক্তির মান হলো -13.6 eV। ইলেকট্রনটি যখন এই শক্তি স্তরে থাকে তখন পরমাণু ভূমি অবস্থায় রয়েছে বলা হয়। কোনো পরমাণু যদি কোনো না কোনোভাবে শক্তি শোষণ করে অন্য কোনো পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়ে অথবা তড়িৎচৌম্বক বিকিরণ শোষণ করে যদি উত্তপ্ত হয় তাহলে ইলেকট্রনটি একটি উচ্চ শক্তিস্তরে উঠে যেতে পারে। এতে পরমাণুটি অস্থিতিশীল হয়। এ অবস্থাকে বলা হয় **উত্তেজিত অবস্থা,** কিছুক্ষণ পরে অক্রম সময় ব্যবধানে ইলেকট্রন শক্তির নিম্নতম স্তরে নেমে আসে অর্থাৎ পরমাণুটি ভূমি অবস্থায় ফিরে আসে। ইলেকট্রন যে শক্তি শোষণ করছিল তা তড়িৎচৌম্বক বিকিরণরূপে নির্গত হয়ে যায়।



চিত্র ৯.৫ : হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি স্তরসমূহ।

প্রতিটি শক্তিস্তরকে কোয়ান্টাম সংখ্যা n দ্বারা বৈশিষ্ট্যায়িত করা হয়। সর্বনিম্ন শক্তিস্তরের জন্য $n = 1$, পরবর্তী স্তরের জন্য $n = 2$ ইত্যাদি, $n = \infty$ (অসীম) স্তরের জন্য শক্তির মান শূন্য। কোনো ইলেকট্রন উত্তেজিত হয়ে এই স্তরে উঠলে এটি আর পরমাণুতে আবদ্ধ থাকে না, পরমাণু থেকে মুক্ত হয়ে যায়। কোনো পরমাণু একটি ইলেকট্রন হারালে তা আয়নিত হয়ে যায়, ভূমি অবস্থা থেকে কোনো হাইড্রোজেন পরমাণুকে আয়নিত করতে 13.6 eV শক্তির প্রয়োজন হয়।

৯.৭। নিউক্লিয়াসের গঠন (Structure of the Nucleus)

রাদারফোর্ডের আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষা থেকে জানা যায় যে, পরমাণুর প্রায় সমস্ত ভর (99.97%) এর কেন্দ্রে একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত থাকে এবং এখানেই থাকে পরমাণুর সকল ধনাত্মক আধান। রাদারফোর্ড পরমাণুর এই কেন্দ্রবিন্দুর নামকরণ করেন নিউক্লিয়াস। নিউক্লিয়াসের মধ্যে থাকে ধনাত্মক আধান যুক্ত **প্রোটন** এবং আধান নিরপেক্ষ **নিউট্রন**। সবচেয়ে সরল পরমাণু হাইড্রোজেনের নিউক্লিয়াসে কোনো নিউট্রন থাকে না–শুধুমাত্র একটি প্রোটন থাকে। আধান নিরপেক্ষ পরমাণুর নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধনাত্মক আধানযুক্ত প্রোটন সংখ্যার সমসংখ্যক ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে আবর্তনশীল থেকে পুরো পরমাণুর আধান নিরপেক্ষতা বজায় রাখে।

নিউক্লিয়াসের গঠন অতি জটিল। আলফা কণা ও গামা রশ্মি বর্ণালি থেকে জানা যায় যে, নিউক্লিয়াস থেকে আলফা কণা ও গামা রশ্মি নির্গত হয়। গামা রশ্মির বর্ণালি থেকে জানা যায় যে, নিউক্লিয়াসে আরো একটি কণার অস্তিত্ব রয়েছে। এই কণাকে **নিউট্রিনো** বলা হয়। এর কোনো ভর নেই। মহাজাগতিক বা কসমিক রশ্মির গবেষণা থেকে জানা যায় যে, নিউক্লিয়াসের ভিতরে আরো এক ধরনের কণার অস্তিত্ব আছে। এদেরকে বলা হয় **মেসন**।

নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধনাত্মক আধানযুক্ত প্রোটনের সংখ্যাকে বলা হয় পারমাণবিক সংখ্যা। একে Z দ্বারা নির্দেশ করা হয়। নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যাকে ভরসংখ্যা বলে। একে A দ্বারা প্রকাশ করা হয়। A থেকে Z বাদ দিলে নিউট্রন সংখ্যা N পাওয়া যায়। সাধারণত কোনো মৌলিক পদার্থের নিউক্লিয়াসকে ${}^A_ZX$ রূপে লেখা হয়। এখানে X হচ্ছে মৌলিক পদার্থের রাসায়নিক সংকেত, Z হলো পারমাণবিক সংখ্যা এবং A হলো ভর সংখ্যা।

নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ R কে প্রকাশ করা হয় $R = r_o A^{1/3}$ সম্পর্ক দ্বারা। এখানে r_o একটি ধ্রুবক যার মান $r_o = 1.414 \times 10^{-15}$ m এবং A হচ্ছে নিউক্লিয়াসের প্রোটন ও নিউট্রনের মিলিত সংখ্যা তথা ভর সংখ্যা। নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-15} m। একে **ফেমটোমিটার বা ফার্মিও** বলা হয়।

নিউক্লিয়াস সংক্রান্ত কতিপয় রাশি

নিউক্লিয়ন (Nucleon) : নিউক্লিয়াসে যে সকল কণা থাকে তাদেরকে নিউক্লিয়ন বলে। নিউক্লিয়াসকে আলফা কণা দ্বারা আঘাত করে দেখা গেছে যে, তা থেকে সাধারণত প্রোটন এবং নিউট্রন বেরিয়ে আসে। সুতরাং এ সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, নিউক্লিয়াস হলো প্রোটন এবং নিউট্রনের সমষ্টি। অন্যান্য পরীক্ষা থেকে জানা গেছে নিউক্লিয়াসের ভিতর অন্যান্য কণা রয়েছে যেমন, নিউট্রিনো।

প্রোটন (Proton) : এটি একটি স্থায়ী প্রাথমিক কণা। প্রোটনের আধান ইলেকট্রনের সমান কিন্তু বিপরীত অর্থাৎ এটি ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট। সুতরাং এর আধান 1.6×10^{-19} C। এর ভর প্রায় 1.00727663 a.m.u বা, 1.6724×10^{-27} kg এবং নিশ্চল শক্তি প্রায় 938.256 MeV।

নিউট্রন (Neutron) : স্বাভাবিক হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস ব্যতীত সকল নিউক্লিয়াস এই প্রাথমিক কণা দিয়ে তৈরি। এর ভর প্রায় 1.0086654 a.m.u বা 1.6747×10^{-27} kg এবং নিশ্চল শক্তি প্রায় 938.550 MeV। নিউক্লিয়াসের বাইরে 10.6 মিনিট অর্ধায়ুসহ এটা অবক্ষয় প্রাপ্ত হয়ে তৈরি করে একটি প্রোটন, একটি ইলেকট্রন এবং একটি প্রতিনিউট্রিনো। এটি অত্যধিক ভেদন ক্ষমতা সম্পন্ন।

নিউক্লাইড (Nuclide) : দুটি নিউক্লিয়াসের যদি প্রোটন সংখ্যা Z এবং নিউট্রন সংখ্যা N অভিন্ন হয়, তাহলে তারা একই নিউক্লীয় প্রজাতির অন্তর্ভুক্ত হয়। একটি নিউক্লীয় প্রজাতিকে বলা হয় নিউক্লাইড। একটি নিউক্লাইডকে তার রাসায়নিক সংকেত এবং রাসায়নিক সংকেত এর শির সংখ্যা ($A = Z + N$) দ্বারা শনাক্ত করা হয়।

আইসোটোপ (Isotope) : যে সব নিউক্লাইডের প্রোটন সংখ্যা (Z) সমান, কিন্তু ভর সংখ্যা (A) ভিন্ন তাদেরকে বলা হয় আইসোটোপ। যেমন- ${}^{13}_{6}C$ এবং ${}^{12}_{6}C$ এদের প্রোটন সংখ্যা সমান, কিন্তু ভর সংখ্যা অসমান। কিছু কিছু আইসোটোপ তেজস্ক্রিয় কণা এবং রশ্মি ছুঁড়ে দেয়। এদেরকে বলা হয় তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বা রেডিও আইসোটোপ। ${}^{32}P$ ও ${}^{14}C$ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ-এর উদাহরণ।

আইসোটোন (Isotone) : যে সব নিউক্লাইডের নিউট্রন সংখ্যা (N) সমান তাদের বলা হয় আইসোটোন।

আইসোবার (Isobar) : যে সব নিউক্লাইডের ভর সংখ্যা (A) সমান তাদের বলা হয় আইসোবার ; যেমন- ${}^{13}_{7}N$ এবং ${}^{13}_{6}C$ অথবা ${}^{40}_{18}Ar$ এবং ${}^{40}_{20}Ca$.

আইসোমার (Isomer) : একই প্রজাতির দুটি নিউক্লিয়াস যদি দুটি ভিন্ন শক্তি অবস্থায় থাকে এবং কমপক্ষে তাদের একটি যদি ক্ষণস্থায়ী হয়, তাহলে তাদেরকে বলা হয় আইসোমার।

একীভূত পারমাণবিক ভর একক (Unified atomic mass unit) : পারমাণবিক বা আণবিক স্কেলে ভরের জন্য আজকাল যে একক ব্যবহৃত হয় সেটি হচ্ছে একীভূত পারমাণবিক ভর একক (unified atomic mass unit)। যার সংকেত হচ্ছে, u. এই একককে ডেলটন (dalton) ও বলা হয়ে থাকে (Da)। এক একীভূত ভর একক হচ্ছে একটি নিউক্লিয়নের (একটি প্রোটন বা নিউট্রনের) ভরের প্রায় সমান যা ১ গ্রাম/মোল এর সমতুল্য। একটি বন্ধনহীন নিরপেক্ষ কার্বন-১২ পরমাণুর নিউক্লিয় ও ইলেকট্রনিক ভূমি অবস্থার ভরের বারো ভাগের এক ভাগকে একীভূত পারমাণবিক ভর একক বলে।

$$1\text{u} = \frac{1}{12}m\,(^{12}\text{C}) = 1.660538921 \times 10^{-27}\text{kg}$$

১৯৬১ সালের আগ পর্যন্ত যখন অক্সিজেন-১৬ এর সাথে তুলনা করে আণবিক ও পারমাণবিক স্কেলে ভর প্রকাশ করা হতো, তখন তাকে কেবল পারমাণবিক ভর একক (atomic mass unit) বলা হতো এবং amu দিয়ে প্রকাশ করা হতো। এখনো অনেকে একীভূত পারমাণবিক ভর একককে অর্থাৎ u কে পারমাণবিক ভর একক তথা amu দিয়ে প্রকাশ করে থাকেন।

1u (বা 1 amu) এর সমতুল্য শক্তি :

$$E = mc^2 = (1.66054 \times 10^{-27}\text{kg})\ (2.9979 \times 10^8)^2 = 14.924 \times 10^{-11}\text{J}$$

$$= \frac{14.924 \times 10^{-11}}{1.6 \times 10^{-19}}\text{ eV}$$

$$= 931.5 \times 10^6 \text{ eV}$$

$$= 931.5 \text{ M eV}$$

এখানে,
$1\text{u} = 1.66054 \times 10^{-27}\text{kg}$
$1.6 \times 10^{-19}\text{J} = 1 \text{ eV}$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.১। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু উত্তেজিত অবস্থা থেকে ভূমি অবস্থায় আসলে যে ফোটন নিঃসরণ করবে তার কম্পাঙ্ক কত হবে? উত্তেজিত এবং ভূমি অবস্থায় শক্তি যথাক্রমে –3.4 eV এবং –13.6 eV।

আমরা জানি,

$$hf = E_u - E_l$$

বা, $f = \dfrac{E_u - E_l}{h}$

$$= \frac{-3.4\text{ eV} - (-13.6\text{ eV})}{6.63 \times 10^{-34}\text{ Js}} = \frac{10.2 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}}{6.63 \times 10^{-34}\text{ Js}}$$

$$= 2.46 \times 10^{15}\text{ Hz}$$

উ: 2.46×10^{15} Hz.

এখানে,
ভূমি তথা নিম্নশক্তি স্তর, $E_l = -13.6$ eV
উত্তেজিত তথা উচ্চশক্তি স্তর, $E_u = -3.4$ eV
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
কম্পাঙ্ক, $f = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.২। অ্যালুমিনিয়াম নিউক্লিয়াসের সংকেত $^{27}_{13}Al$। এই নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা, নিউট্রন সংখ্যা, ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা কত?

আমরা জানি, মৌলিক পদার্থের নিউক্লিয়াসকে

$^{A}_{Z}X$ রূপে প্রকাশ করা হয়।

প্রদত্ত সংকেত $^{27}_{13}\text{A}l$

∴ পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = 13$

এখানে,
মৌলিক পদার্থের সংকেত, $X = Al$
পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = ?$
ভরসংখ্যা, $A = ?$
নিউট্রন সংখ্যা, $N = ?$

ভর সংখ্যা, $A = 27$

নিউট্রন সংখ্যা, $N = A - Z = 27 - 13 = 14$

প্রোটন সংখ্যা $= 13$

উ: 13, 14, 27 এবং 13

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি বের কর। দেওয়া আছে; ইলেকট্রনের ভর এবং আধান যথাক্রমে 9.1×10^{-31} kg এবং 1.6×10^{-19} C। শূন্যস্থানের ভেদন যোগ্যতা $\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2 N^{-1} m^{-2}$।

আমরা জানি,

$$E_1 = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_o^2}$$

$$= -\frac{9.1 \times 10^{-31}\ kg \times (1.6 \times 10^{-19}\ C)^4}{8 \times (6.63 \times 10^{-34}\ Js)^2 \times (8.85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}\ m^{-2})^2}$$

$$= -2.17 \times 10^{-18}\ J$$

$$= -13.6\ eV$$

উ: – 13.6 eV.

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$\epsilon_o = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2 N^{-1} m^{-2}$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৪। হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর কক্ষের কোয়ান্টাম সংখ্যা বের কর যার ব্যাসার্ধ 0.0100 mm। এই অবস্থায় একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি কত? প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ 0.53Å এবং ভূমি অবস্থার শক্তি –13.6 eV।

আমরা জানি,

$$r_n = n^2 r_1$$

$$\therefore n = \sqrt{\frac{r_n}{r_1}} = \sqrt{\frac{0.01 \times 10^{-3} m}{0.53 \times 10^{-10}\ m}}$$

$$n = 434$$

আবার

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = \frac{-13.6\ eV}{(434)^2}$$

$$= -7.22 \times 10^{-5}\ eV$$

উ: 434, -7.22×10^{-5} eV

এখানে,

প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ, $r_1 = 0.53$ Å $= 0.53 \times 10^{-10}$ m

nতম কক্ষের ব্যাসার্ধ, $r_n = 0.0100$ mm $= 0.01 \times 10^{-3}$ m

কোয়ান্টাম সংখ্যা, $n = ?$

ভূমি অবস্থার শক্তি, $E_1 = -13.6$ eV

nতম অবস্থার শক্তি, $E_n = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৫। হাইড্রোজেন পরমাণুতে তৃতীয় বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। ঐ কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তি হিসাব কর।

আমরা জানি,

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_o}{\pi me^2}$$

$$= \frac{3^2 \times (6.63 \times 10^{-34}\ Js)^2 \times (8.85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1})}{3.14 \times 9.1 \times 10^{-31}\ kg \times (1.6 \times 10^{-19} C)^2}$$

$$= 4.786 \times 10^{-10}\ m$$

$$= 4.786\ Å$$

আবার,

$$E_n = -\frac{me^4}{8n^2h^2\epsilon_o^2}$$

$$= -\frac{9.1 \times 10^{-31}\ kg \times (1.6 \times 10^{-19} C)^4}{8 \times 9 \times (6.63 \times 10^{-34} Js)^2 \times (8.85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1})^2}$$

$$= -2.41 \times 10^{-19}\ J$$

$$= -1.5\ eV$$

উ: 4.786 Å; – 1.5 eV.

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা, $\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1}$

কোয়ান্টাম সংখ্যা, $n = 3$

কক্ষের ব্যাসার্ধ, $r_n = ?$

ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = ?$

৯.৮। নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস
Some Important Phenomena of Nuclear Physics

১। তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity)

ফরাসি বিজ্ঞানী **হেনরি বেকেরেল** (1852 – 1908) তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। ১৮৯৬ সালে তিনি দেখতে পান যে, ইউরেনিয়াম যৌগের নিকটে রাখা ফটোগ্রাফিক প্লেট কুয়াশাচ্ছন্ন বা ঝাপসা হয়ে যাচ্ছে। তিনি অনুধাবন করেন যে, ইউরেনিয়াম থেকে নির্গত বিকিরণের দরুন ফটোগ্রাফিক প্লেট ঝাপসা হয়েছে। এ ঘটনাকে বলা হয় **তেজস্ক্রিয়তা** বা **তেজস্ক্রিয় ক্ষয়**। তিনি দেখান যে, ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয়াস থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরত এই বিকিরণ নির্গত হয়। এই বিকিরণ অতি উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন এবং সাধারণ আলফা কণা বা বিটা কণা। আলফা কণা বা বিটা কণা যে কণাই নির্গত হোক না কেন আদি (parent) মৌলটি (জনক) সম্পূর্ণ নতুন মৌলে (জাতক) রূপান্তরিত হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত না একটি স্থায়ী মৌলে রূপান্তরিত হয় ততক্ষণ এই রূপান্তর প্রক্রিয়া চলতে থাকে। তেজস্ক্রিয়তা ঘটনাটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং সম্পূর্ণভাবে প্রকৃতি নিয়ন্ত্রিত। এটি তাপ, চাপ, বৈদ্যুতিক বা চৌম্বক ঘটনা দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

পরবর্তীকালে রেডিয়াম, পোলোনিয়াম, থোরিয়াম, অ্যাকটেনিয়াম ইত্যাদি ভারী মৌল থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি বা কণার নির্গমন আবিষ্কৃত হয়। যে সকল মৌল থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয় তাদেরকে **তেজস্ক্রিয় মৌল** বলে।

তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গমনের ঘটনাকে বলা হয় তেজস্ক্রিয়তা।

একক : তেজস্ক্রিয়তার এস. আই একক বেকেরেল (Bq)। **প্রতি সেকেন্ডে একটি তেজস্ক্রিয় ভাঙন বা ক্ষয়কে এক বেকেরেল বলে।**

1 Bq = 1 decay s^{-1}

আগে কুরী (Ci) নামে তেজস্ক্রিয়তার একটি একক ব্যবহৃত হতো।

$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ decay $\text{s}^{-1} = 3.7 \times 10^{10}$ Bq

তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লিয়ার ঘটনা : তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গমনের ফলে আদি মৌলের নিউক্লিয়াস একটি নতুন মৌলের নিউক্লিয়াসে রূপান্তরিত হয়। তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহ নিউক্লিয়াস থেকেই নির্গত হয়ে মৌলের রূপান্তর ঘটায়, তাই তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লিয়ার ঘটনা।

তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রকারভেদ

তেজস্ক্রিয় পদার্থ দু ধরনের। যেমন,

ক. প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় পদার্থ (Natural radioactive substance)

খ. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় পদার্থ (Artificial radioactive substance)

ক. প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় পদার্থ : কোনো প্রাকৃতিক পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গমনের ঘটনা ঘটলে সেসব পদার্থকে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় পদার্থ বলে। যেমন- ইউরেনিয়াম ($^{235}_{92}$U), রেডিয়াম ($^{226}_{88}$Ra), থোরিয়াম ($^{232}_{90}$Th) প্রভৃতি মৌল হতে যে তেজস্ক্রিয়তা ঘটে তা প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা। এসব মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 82-এর চেয়ে বেশি।

খ. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় পদার্থ : কোনো মৌলকে কৃত্রিম উপায়ে তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত করলে সেসব মৌলকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় মৌল বলে। কোনো মৌলকে নিউক্লিয় বিক্রিয়ার মাধ্যমে বাইরে থেকে অতি উচ্চ বেগ সম্পন্ন কোনো কণা দ্বারা আঘাত করলে সেটি তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হয়। এদেরকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় মৌল বা রেডিও আইসোটোপ বলে। যেমন, $^{14}_{6}$C, $^{17}_{8}$O ইত্যাদি।

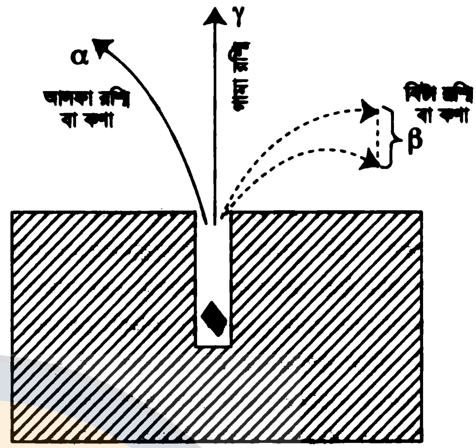
তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকারভেদ (Types of Radioactive Rays)

বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে বিজ্ঞানীরা তিন রকম তেজস্ক্রিয় রশ্মি আবিষ্কার করেন। ১৮৯৯ সালে রাদারফোর্ড এবং ১৯০০ সালে ভিলার্ডের পরীক্ষা থেকে এসব রশ্মির সন্ধান পাওয়া যায়।

তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন প্রকার।

১। আলফা রশ্মি, ২। বিটা রশ্মি এবং ৩। গামা রশ্মি।

মাদাম কুরীর পরীক্ষা : নিম্নোক্ত পরীক্ষার মাধ্যমে মাদাম কুরী তিন প্রকার রশ্মির অস্তিত্ব নিঃসন্দেহে প্রমাণ করেন। তিনি একটি সীসার ব্লকের সরু লম্বা ছিদ্র করে ঐ ছিদ্রে রাখলেন রেডিয়ামঘটিত তেজস্ক্রিয় পদার্থ। ছিদ্র হতে সামান্য দূরে লম্বালম্বিভাবে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট রাখা হলো যাতে রশ্মি প্লেটের ওপর পড়তে পারে। তারপর সমগ্র ব্যবস্থাকে আবদ্ধ করলেন একটি বায়ুনিরোধী প্রকোষ্ঠে এবং পাম্পের সাহায্যে ভিতরের বাতাস বের করে নিলেন এবং চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করলেন। ফটোগ্রাফিক প্লেট পরিস্ফুটিত করে পাওয়া গেল তিনটি পৃথক স্থানে তিনটি দাগ। চুম্বকের প্রভাবে এক জাতের রশ্মি গেল সামান্য বেঁকে, অপরটি গেল উল্টোদিকে অপেক্ষাকৃত অধিক বেঁকে। তৃতীয়টি মোটেই বাঁকেনি (চিত্র ৯.৬)।



চিত্র : ৯.৬

চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ, কণাগুলোর গতির প্রারম্ভিক অভিমুখ এবং বিচ্যুতির অভিমুখ থেকে সহজে বোঝা গেল প্রথম রশ্মিটি ধনাত্মক আলফা রশ্মি, দ্বিতীয়টি ঋণাত্মক বিটা রশ্মি এবং তৃতীয়টি নিরপেক্ষ গামা রশ্মি। নিঃসরণ থেকে আরো বোঝা গেল আলফা রশ্মি বিটা রশ্মির তুলনায় অধিক ভারী।

তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য :

(১) যে সকল মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 82-এর বেশি, কেবল সে সকল পরমাণু প্রাকৃতিকভাবে তেজস্ক্রিয় হতে পারে। এর ব্যতিক্রমও আছে যেমন $^{14}_{6}C$ তেজস্ক্রিয় মৌল।

(২) তেজস্ক্রিয় পদার্থ সাধারণত আলফা, বিটা ও গামা —এই তিন প্রকারের তেজস্ক্রিয় রশ্মি নিঃসরণ করে।

(৩) তেজস্ক্রিয়তা একটি সম্পূর্ণ নিউক্লিয়ার ঘটনা এবং এর মাধ্যমে নিউক্লিয়াসের ভাঙনের ফলে একটি মৌল আর একটি নতুন মৌলে রূপান্তরিত হয়।

(৪) তেজস্ক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত ও উদ্দেশ্যবিহীন ঘটনা এবং এটা চাপ, তাপ, বিদ্যুৎ বা চৌম্বকক্ষেত্রের ন্যায় বাইরের কোনো প্রক্রিয়া দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

আলফা, বিটা ও গামা রশ্মির ধর্ম

আলফা রশ্মির ধর্ম :

১. আলফা রশ্মি ধনাত্মক আধানযুক্ত। এর আধান 3.2×10^{-19} C

২. এ রশ্মি চৌম্বক ও তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়।

৩. এ রশ্মি তীব্র আয়নায়ন সৃষ্টি করতে পারে।

৪. এর ভর বেশি হওয়ায় ভেদন ক্ষমতা কম।

৫. সাধারণ চাপ ও তাপমাত্রার কয়েক সেন্টিমিটার বায়ু বা ধাতুর খুব পাতলা পাত দ্বারা এর গতি থামিয়ে দেওয়া যায়।

৬. এ কণা ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।

৭. এ রশ্মি জিঙ্কসালফাইড পর্দায় প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।

৮. এ কণা প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়।

৯. এটি একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস।

১০. এ কণার ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর চারগুণ।

বিটা রশ্মির ধর্ম :

১. এ রশ্মি ঋণাত্মক আধানযুক্ত। এর আধান 1.6×10^{-19} C
২. এ রশ্মি চৌম্বক ও তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়।
৩. এ রশ্মি অত্যন্ত দ্রুত নির্গত হয়। এর দ্রুতি আলোর দ্রুতির শতকরা 98 ভাগ হতে পারে।
৪. এ রশ্মি অতি উচ্চ দ্রুতি সম্পন্ন ইলেকট্রনের প্রবাহ। এর ভর ইলেকট্রনের সমান অর্থাৎ 9.1×10^{-31} kg.
৫. ফটোগ্রাফিক প্লেটে এর প্রতিক্রিয়া আছে।
৬. এ রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।
৭. এর ভেদন ক্ষমতা আলফা রশ্মির চেয়ে বেশি এবং এটি 1 cm অ্যালুমিনিয়াম পাত ভেদ করতে পারে।
৮. গ্যাসে যথেষ্ট আয়নায়ন সৃষ্টি করতে পারে।
৯. কোনো পদার্থের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এই রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয়।

গামা রশ্মির ধর্ম :

১. এ রশ্মি আধান নিরপেক্ষ।
২. এ রশ্মি তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না।
৩. এর বেগ আলোর বেগের সমান অর্থাৎ 3×10^8 ms^{-1}
৪. আলফা ও বিটা রশ্মির চেয়ে এ রশ্মির ভেদন ক্ষমতা খুব বেশি। এটি কয়েক সেন্টিমিটার সীসার পাত ভেদ করে যেতে পারে।
৫. স্বল্প আয়নায়ন ক্ষমতা সম্পন্ন।
৬. এ রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।
৭. ফটোগ্রাফিক প্লেটে এ রশ্মি প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করতে পারে।
৮. এর কোনো ভর নেই।
৯. এটি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ।
১০. এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র, তাই শক্তি খুব বেশি।

২। তেজস্ক্রিয় ক্ষয়

তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কারের তিন বছর পরে **এলস্টার** (Elster) ও **গাইটেল** (Geitel) নামক দু'জন বিজ্ঞানী লক্ষ করেন যে, কোনো তেজস্ক্রিয় বস্তুর তেজস্ক্রিয়তা সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে কমতে থাকে এবং এই **ক্ষয় সূচক নিয়ম** (exponential law) মেনে চলে। তেজস্ক্রিয়তা বলতে একটি স্বতন্ত্র পরমাণুর পরিবর্তন বোঝায় এবং সমগ্র বস্তুখণ্ডের পরিবর্তন বোঝায় না। তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত আকস্মিক ঘটনা। কোন্ মুহূর্তে কোন্ পরমাণুটি ভেঙে যাবে তা নির্দিষ্ট করে বলা অসম্ভব। এর ক্ষয় পরিসংখ্যানের নিয়ম মেনে চলে। পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে, তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙনের বা ক্ষয়ের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক।

সূত্র : ***তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙনের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক।***

ধরা যাক, সময় গণনার শুরুতে (যখন $t = 0$) কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা ছিল N_0। সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে কিছু পরমাণু ভেঙে যায়। মনে করি t সময়ে অবশিষ্ট অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N। এখন যদি ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র dt সময়ে dN সংখ্যক পরমাণু ভেঙে যায়, তাহলে পরমাণুর ভাঙনের হার $\frac{dN}{dt}$। এখন এ ভাঙনের হার অক্ষত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক, অর্থাৎ

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

যেহেতু সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে পদার্থের পরমাণুর সংখ্যা কমে যাচ্ছে তাই ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহার করা হয়েছে।

$$\therefore \frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (9.16)$$

এখানে λ একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে ঐ পদার্থের তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক (Radioactive Decay Constant) বলে।

ক্ষয় ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক

(9.16) সমীকরণ থেকে দেখা যায়,

$$\lambda = -\frac{\frac{dN}{dt}}{N} \qquad \dots \qquad (9.17)$$

এ সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $N = 1$ হলে

$$\lambda = -\frac{dN}{dt}$$

অর্থাৎ ক্ষয় ধ্রুবক একটি পরমাণুর একক সময়ে ভাঙনের সম্ভাব্যতা নির্দেশ করে। ক্ষয় ধ্রুবক যত বড় হবে নির্দিষ্ট সময়ে একটি পরমাণুর ক্ষয়ের সম্ভাবনা তত বেশি হবে।

কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি পরমাণুর একক সময়ে ভাঙনের সম্ভাব্যতাকে ঐ পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক বলে।

(9.17) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, এর একক হলো s^{-1}।

রেডনের $\left({}^{222}_{86}R_n\right)$ ক্ষয় ধ্রুবক $2.11 \times 10^{-6}\ s^{-1}$ বলতে বোঝায় 1 সেকেন্ডে 1টি রেডন পরমাণুর ভেঙে যাবার সম্ভাবনা 1 এর মধ্যে 2.11×10^{-6}।

তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সূত্র

কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক λ এবং t সময়ে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হলে (9.16) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \text{বা,} \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

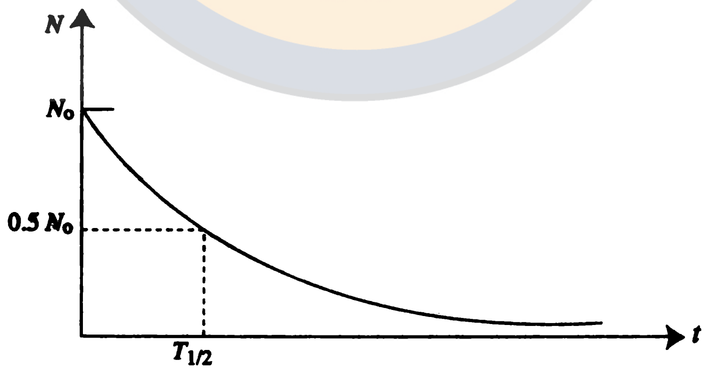
মনে করি শুরুতে অর্থাৎ $t = 0$, তখন পরমাণুর সংখ্যা $N = N_0$ এবং অন্য কোনো এক সময় $t = t$ তে $N = N$। সুতরাং এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত সমীকরণকে যোগজীকরণ করে আমরা পাই,[১]

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_{0}^{t} \lambda dt$$

$$\text{বা,}\ [\ln N]_{N_0}^{N} = -\lambda\,[t]_0^t \quad \text{বা,}\ \ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\text{বা,}\ \ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \therefore \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\text{বা}\ \therefore N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad \dots \qquad (9.18)$$



চিত্র : ৯.৭

[১]এখানে $\ln$ হচ্ছে প্রাকৃতিক লগারিদম বা e এর ভিত্তিতে $\log$ অর্থাৎ $\ln x = \log_e x$

এ সমীকরণটিই তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সমীকরণ নামে পরিচিত এবং এ সমীকরণ হতে স্পষ্টত বোঝা যায় যে, তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সূচক নিয়ম মেনে চলে। চিত্র ৯.৭-এ তাই প্রদর্শিত হলো।

৩। অর্ধ জীবন (Half life)

যে সময়ে কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের মোট পরমাণুর ঠিক অর্ধেক পরিমাণ ভেঙে যায়, তাকে ঐ পদার্থের অর্ধ জীবন বা অর্ধায়ু বলে।

যে সময় কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের N সংখ্যক পরমাণু ভেঙে $\frac{N}{2}$ সংখ্যক হয়, সেই সময়ই হচ্ছে অর্ধ জীবন। অর্ধ জীবনকে $T_{1/2}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ইউরেনিয়ামের অর্ধ জীবন 450 কোটি বছর বলতে বোঝায় নির্দিষ্ট সংখ্যক ইউরেনিয়াম পরমাণু ভেঙে ঠিক অর্ধেক হতে সময় লাগে 450 কোটি বছর। আরো 450 কোটি বছরে ভেঙে হয় এক-চতুর্থাংশ।

অর্ধ জীবন ও ক্ষয় ধ্রুবকের পারস্পরিক সম্পর্ক

(9.18) নং সমীকরণ হতে আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

যখন, $t = T_{1/2}$ = অর্ধ জীবন, তখন $N = \frac{N_0}{2}$

$$\therefore \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

বা, $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$

বা, $ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T_{1/2}$

বা, $ln\ 1 - ln\ 2 = -\lambda T_{1/2}$

বা, $ln\ 2 = \lambda T_{1/2}$ $(\because\ ln\ 1 = 0)$

বা, $T_{1/2} = \frac{ln\ 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$ ... ... (9.19)

উপরোক্ত সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে, অর্ধ জীবন $T_{1/2}$ ক্ষয় ধ্রুবক λ এর ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ অর্ধ জীবনের মান বেশি হলে ক্ষয় ধ্রুবকের মান কম হবে।

৪। গড় জীবন (Average life)

আমরা আগেই বলেছি যে, তেজস্ক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত ঘটনা। এর প্রকৃতি পরিসংখ্যানের নিয়মাবলি মেনে চলে এবং যে কোনো পরমাণুর জীবন শূন্য (0) থেকে ∞ পর্যন্ত হতে পারে। সুতরাং কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় জীবন নির্ণয় করা সম্ভব। প্রত্যেকটি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর জীবনের যোগফলকে পরমাণুর প্রারম্ভিক সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় জীবন পাওয়া যায়। গড় জীবনকে সাধারণত τ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। গাণিতিকভাবে গড় জীবন হলো,

$$\tau = \frac{\text{১ম পরমাণুর জীবন} + \text{২য় পরমাণুর জীবন} + \ldots + N_0\text{তম পরমাণুর জীবন}}{N_0}$$

কোনো তেজস্ক্রিয় বস্তুখণ্ডের সবগুলো পরমাণুর জীবনকালের যোগফলকে এর পরমাণুর প্রারম্ভিক সংখ্যা দিয়ে ভাগ করে যে জীবনকাল পাওয়া যায় তাকে গড় জীবন বলে।

দেখা গেছে যে, গড় জীবন $\tau = \frac{1}{\lambda}$ (9.20)

অর্ধ জীবন ও গড় জীবনের পারস্পরিক সম্পর্ক

আমরা জানি, $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

আবার, $\frac{1}{\lambda} = \tau$

$\therefore T_{1/2} = 0.693\ \tau$ (9.21)

সুতরাং অর্ধ জীবন গড় জীবনের সমানুপাতিক।

৫। ভর ত্রুটি (Mass Defect)

কোনো স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর এর গঠনকারী উপাদানসমূহের মুক্তাবস্থায় ভরের যোগফলের চেয়ে কিছুটা কম হতে দেখা যায়। ভরের এই পার্থক্যকে ভর ত্রুটি বলে।

ধরা যাক, একটা নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর $= M$

প্রোটন সংখ্যা $= Z$

নিউট্রন সংখ্যা $= N$

একটা প্রোটনের ভর $= m_p$

একটা নিউট্রনের ভর $= m_n$

$\therefore$ ভরত্রুটি, $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M$ (9.22)

৬। বন্ধনশক্তি (Binding Energy)

হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল পরমাণুর নিউক্লিয়াস একাধিক প্রোটন ও নিউট্রন দ্বারা গঠিত। এই প্রোটন এবং নিউট্রনগুলোকে একত্রে নিউক্লিয়ন বলে। নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রিত করে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে কিছু পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তি ভরত্রুটির সমতুল্য শক্তির সমান। আবার কোনো নিউক্লিয়াসকে ভেঙ্গে এর নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাইরে থেকে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয়। এ শক্তিকে বন্ধন শক্তি বলে। সুতরাং বন্ধন শক্তিকে এভাবে বলা যায়,

কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লিয়ন একত্রিত হয়ে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়, বা কোনো নিউক্লিয়াসকে ভেঙ্গে এর নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাইরে থেকে যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয় তাকে নিউক্লিয়ার বন্ধন শক্তি বলে।

নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রকারী নিউক্লিয়ার বলের ক্রিয়া থেকে নিউক্লিয়ার বন্ধন শক্তির উদ্ভব হয় এবং এই বন্ধন শক্তির কারণেই নিউক্লিয়াসসমূহ স্থায়ী হয়। বন্ধনশক্তি যত বেশি হবে নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্বও তত বেশি হবে।

কোনো নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর $= M$, ভর ত্রুটি $= \Delta m$ এবং আলোর বেগ $= c$ হলে আইনস্টাইনের ভরশক্তি সম্পর্ক থেকে আমরা পাই,

বন্ধন শক্তি, $B.\ E. = \Delta mc^2$

বা, বন্ধন শক্তি, $B.\ E = [(Zm_p + Nm_n - M]\ c^2.$ (9.23)

এখানে, $M =$ নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর

$Z =$ প্রোটন সংখ্যা

$N =$ নিউট্রন সংখ্যা

$m_p =$ একটা প্রোটনের ভর

$m_n =$ একটা নিউট্রনের ভর

৭। নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)

যে বিক্রিয়ায় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটে তাকে নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া বলে। এটা স্বতঃস্ফূর্ত ভাঙন অথবা কৃত্রিম ভাঙন হতে পারে যাতে খুব শক্তিশালী কণা নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে যেমনটি পারমাণবিক চুল্লিতে ঘটে থাকে। যেমন—

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{1}_{1}H \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.24)$$

সকল প্রকার নিউক্লিয়ার বিক্রিয়াকে নিচের সাধারণ সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় :

$$X + a = Y + b$$

এক্ষেত্রে 'a' হচ্ছে আঘাতকারী কণা ($^{4}_{2}He$) বা বুলেট; X হলো আঘাতপ্রাপ্ত লক্ষ্যবস্তু বা টার্গেট নিউক্লিয়াস; 'b' হলো বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বহির্গামী কণা ($^{1}_{1}H$) এবং Y হলো পরিবর্তিত নিউক্লিয়াস।

নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া $X + a = Y + b$- কে সংক্ষেপে লেখা হয় $X(a, b)Y$

সুতরাং সমীকরণ (9.24) হবে $^{27}_{13}Al\ (\alpha, p)\ ^{30}_{14}Si$

এই বিক্রিয়াকে (α, p) বিক্রিয়া বলে। এখানে α হচ্ছে আঘাতকারী কণা আলফা বা $^{4}_{2}He$ এবং p হচ্ছে বহির্গামী কণা প্রোটন বা $^{1}_{1}H$।

রাসায়নিক বিক্রিয়া ও নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ার পার্থক্য

রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে বিক্রিয়ক পদার্থের পরমাণুসমূহের বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রন সজ্জার পরিবর্তন ঘটে। কোনো নতুন মৌলের উদ্ভব হয় না। কিন্তু নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়ার আধানের পরিবর্তন হয়ে সম্পূর্ণ নতুন মৌলের উদ্ভব ঘটে। যেমন অ্যালুমিনিয়ামের মধ্যে আলফা কণা পরিচালনা করায় অ্যালুমিনিয়াম পরিবর্তিত হয়ে সিলিকনের নিউক্লিয়াসে পরিণত হয়েছে।

৮। নিউক্লিয়ার ফিশান (Nuclear Fission)

১৯৩৯ সালে নিউক্লিয়ার ফিশান বিক্রিয়া সর্বপ্রথম শনাক্ত করেন বিজ্ঞানী অটোহান্ এবং এফ স্ট্রস্‌ম্যান। ^{235}U নিউক্লিয়াসের ওপর নিউট্রনের বিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করতে গিয়ে তারা লক্ষ করেন যে, ভারী নিউক্লিয়াস (যেমন ^{235}U) আপতিত নিউট্রনটিকে শোষণ করে নেয়, ফলে লক্ষ্য (target) নিউক্লিয়াসটি (^{235}U) দুটি ক্ষুদ্রতর কিন্তু প্রায় সমান ভর সংখ্যাবিশিষ্ট নিউক্লিয়াসে বিভক্ত হয়ে যায়। এই বিক্রিয়াকে বলা হয় ফিশান বিক্রিয়া এবং ঘটনাটিকে বলা হয় ফিশান। এ নিউক্লিয়াস দুটিকে বলা হয় ফিশান ভগ্নাংশ (fission fragments)। নিউক্লীয় ফিশানের ফলে উৎপন্ন পদার্থগুলো সাধারণত অত্যধিক তেজস্ক্রিয় হয়। ফিশান ভগ্নাংশ হিসেবে বিভিন্ন নিউক্লিয় প্রজাতি (Nuclear species) আবির্ভূত হতে পারে। আমরা এখানে একটি আদর্শ নিউক্লিয় ফিশানের কথা উল্লেখ করব।

যে বিশেষ ধরনের নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় একটি ভারী নিউক্লিয়াস প্রায় সমান ভর সংখ্যাবিশিষ্ট দুটি নিউক্লিয়াসে বিভক্ত বা বিভাজিত হয় তাকে বলা হয় নিউক্লিয়ার ফিশান।

ধীর গতির (কম শক্তিসম্পন্ন) নিউট্রন দ্বারা ইউরেনিয়াম $^{235}_{92}U$ এর ফিশানকে নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow \left[{}^{236}_{92}U\right]^{*} \rightarrow X + Y + \text{নিউট্রন} + \text{শক্তি}$$

এখানে $\left[{}^{236}_{92}U\right]^{*}$ হচ্ছে যৌগিক নিউক্লিয়াস যার স্থায়িত্বকাল মাত্র 10^{-12} s। এটি ফিশান ভগ্নাংশ X এবং Y-এ ভেঙে যাওয়ার আগের অবস্থা নির্দেশ করে। নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় ভর-শক্তি এবং আধানের নিত্যতার শর্ত মেনে X এবং Y এর অনেকগুলো সমন্বয় হতে পারে। ইউরেনিয়ামের ফিশানে প্রায় 90 রকমের ভিন্ন ভিন্ন নিউক্লিয়াসের উৎপত্তি হতে

পারে। এই প্রক্রিয়ায় কয়েকটি নিউট্রনও সৃষ্টি হয়। প্রতি ফিশানে গড়ে 2.47 নিউট্রন মুক্ত হয়। নিচে একটি নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়া দেখানো হলো।

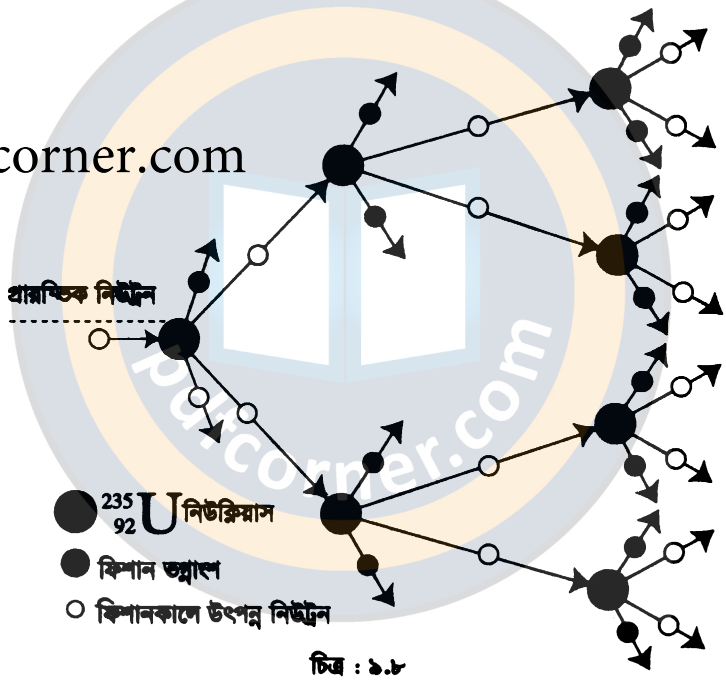
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow \left[^{236}_{92}U\right]^* \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2\,^{1}_{0}n + \text{শক্তি (প্রায় 200 MeV)} \quad (9.25)$$

এখানে দেখা যাচ্ছে $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াস একটি নিউট্রন শোষণ করে $^{236}_{92}U$ যৌগিক নিউক্লিয়াসে পরিবর্তিত হয়। পরে যৌগিক নিউক্লিয়াসটি দুটি নিউক্লিয়াস জেনন (Xe) এবং স্ট্রনসিয়াম (Sr)-এ বিভক্ত হয়েছে। এই প্রক্রিয়ায় দুটি নিউট্রন সৃষ্টি হয়েছে এবং প্রায় 200 MeV শক্তি মুক্ত হয়।

ফিশান ভগ্নাংশ $^{140}_{54}Xe$ এবং $^{94}_{38}Sr$ উভয়েই বিটা তেজস্ক্রিয়।

ভারী নিউক্লিয়াসকে প্রোটন, ডিউটেরন, আলফা কণা এবং গামা রশ্মি দ্বারা আঘাত করলেও নিউক্লিয় ফিশান সংঘটিত হয়।

৯। শৃঙ্খল বিক্রিয়া (Chain Reaction)



চিত্র : ৯.৮

শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলতে এমন স্ব-বহ বিক্রিয়া বোঝায় যা একবার শুরু হলে তাকে চালিয়ে রাখার জন্য কোনো অতিরিক্ত শক্তি প্রয়োজন হয় না। ফিশানযোগ্য বিক্রিয়ায় যে নিউট্রন মুক্তি লাভ করে তা শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে সম্ভব করে তোলে। আমরা যদি সমীকরণ (9.25)-এর কথা বিবেচনা করি তাহলে দেখতে পাব যে, ফিশানের ফলে $^{236}_{92}U$ থেকে মুক্ত হয়েছে দুটি নিউট্রন। এখন এ দুটি নিউট্রন যদি আরো দুটি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের ফিশান ঘটায় তাহলে পাওয়া যাবে 4টি নিউট্রন। এরা আরো 4টি নিউক্লিয়াসের ফিশান ঘটিয়ে তৈরি করবে ৪ (আট)টি নিউট্রন এবং এ প্রক্রিয়া ফিশানযোগ্য পদার্থ শেষ না হওয়া পর্যন্ত চলতে থাকবে। এ প্রক্রিয়াকেই বলা হয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া। ৯.৮ চিত্রে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার একটি নক্শা দেওয়া হলো।

যে স্ব-বহ বিক্রিয়া একবার শুরু হলে তাকে চালিয়ে রাখার জন্য অতিরিক্ত কোনো শক্তির প্রয়োজন হয় না তাকে শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলে।

অনিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল বিক্রিয়ায় অতি অল্প সময়ে অধিক পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হয়। একটি নিউট্রন দ্বারা শুরু করা একটি অনিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল বিক্রিয়া নজিরবিহীন বিস্ফোরণ ঘটাতে পারে। কিন্তু শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে যথোপযুক্তভাবে নিয়ন্ত্রণ করতে পারলে তা থেকে পাওয়া যাবে অপরিসীম শক্তি। এই শক্তিকে মানব কল্যাণে ব্যবহার করা যেতে পারে। শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে নিউক্লিয়ার চুল্লিতে নানান রকম কাজ করা হয়। যেমন, ক্ষমতা বা শক্তি উৎপাদন, নিউট্রন উৎপাদন, তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও ফিশানযোগ্য পদার্থ উৎপাদন। এ ছাড়া পরমাণু বোমায়ও শৃঙ্খল বিক্রিয়ার প্রয়োগ রয়েছে।

১০। নিউক্লিয়ার ফিউশন (Nuclear Fusion)

যে বিক্রিয়ায় দুটি হাল্কা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে অপেক্ষাকৃত ভারী একটি নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি বের হয় সে বিক্রিয়াকে বলা হয় নিউক্লিয়ার ফিউশন। ফিউশন সংঘটিত হয় অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায়। এ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াতে অংশগ্রহণকারী পরমাণুগুলো সম্পূর্ণ আয়নিত অবস্থায় থাকে। এ অবস্থাকে বলা হয় **প্লাজমা**। নক্ষত্রে যে মৌলিক তাপোৎপাদী বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে এবং যা এ মহাবিশ্বের সমস্ত শক্তির উৎস তা হলো হাইড্রোজেন পরমাণু ফিউশনিত হয়ে হিলিয়াম পরমাণু গঠন। এটা দুটি বিক্রিয়ায় ঘটে– একটা প্রোটন-প্রোটন চক্র এবং অপরটি কার্বন-কার্বন চক্র। নিউক্লিয়ার ফিউশনকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা নির্দেশ করা যেতে পারে,

$$^1_1H + ^1_0n \rightarrow ^2_1H \qquad (9.26)$$

এখানে একটি প্রোটন একটি নিউট্রনকে গ্রাস করে তৈরি করছে একটি ডিউটেরন (^2_1H)। গ্রাসের সময় 3.9679×10^{-30} kg ভর হারিয়ে যাচ্ছে এবং 2.23 MeV শক্তি আবির্ভূত হচ্ছে। ডিউটেরনের গতিশক্তি এবং গামা রশ্মি নিঃসরণের ফলে এ শক্তি পাওয়া যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৬। ^{198}Au এর অর্ধ জীবন 2.70 দিন। ^{198}Au এর ক্ষয় ধ্রুবক বের কর।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{2.70\ d}$$

$$\lambda = 0.257\ d^{-1}$$

উ: $0.257\ d^{-1}$.

এখানে,
অর্ধ জীবন, $T_{1/2} = 2.70\ d$
ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৭। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবকের মান $3.75 \times 10^{-3}\ y^{-1}$। এর অর্ধ জীবন নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{3.75 \times 10^{-3} y^{-1}} = 184.8\ y$$

উ: 184.8 y

এখানে
ক্ষয় ধ্রুবক $\lambda = 3.75 \times 10^{-3}\ y^{-1}$
অর্ধ জীবন $T_{1/2} = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৮। ট্রিটিয়ামের অর্ধ জীবন 12.5 বছর। 25 বছর পর একটি নির্দিষ্ট ট্রিটিয়াম বস্তুখণ্ডের কত অংশ অবশিষ্ট থাকবে?

ধরি বস্তুখণ্ডের পরমাণু সংখ্যা N_o এবং t সময় পর এতে N সংখ্যক পরমাণু অবশিষ্ট থাকবে।

এখানে,
অর্ধ জীবন, $T_{1/2} = 12.5$ y
সময়, $t = 25$ y

আমরা জানি,

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

কিন্তু ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{12.5\ y} = 5.544 \times 10^{-2}\ y^{-1}$

$\therefore N = N_o e^{(-5.544 \times 10^{-2} y^{-1} \times 25\ y)}$

$= N_o e^{-1.386} = 0.25\ N_o$

$\therefore \frac{N}{N_o} = 0.25 = \frac{1}{4}$

উ: এক-চতুর্থাংশ।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৯। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 12 দিন। কত দিনে ঐ পদার্থের 85% ক্ষয়প্রাপ্ত হবে?

এখানে,
অর্ধ জীবন, $T_{1/2} = 12$ d
সময়, $t = ?$

এখানে 85% ক্ষয় হয়। অবশিষ্ট থাকে 15%। সুতরাং তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা N_o এবং অবশিষ্ট পরমাণুর সংখ্যা N হলে,

$N = N_o$ এর 15%

বা, $\frac{N}{N_o} = \frac{15}{100} = 0.15$

এখন আমরা জানি, $N = N_o e^{-\lambda t}$

কিন্তু ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{12\ d} = 0.05775\ d^{-1}$

$\therefore \frac{N}{N_o} = e^{-\lambda t}$

$\therefore \lambda t = -\ ln\left(\frac{N}{N_o}\right)$

বা, $t = -\frac{1}{\lambda}\ ln\left(\frac{N}{N_o}\right)$

$t = -\frac{1}{0.05775\ d^{-1}} \times ln\ 0.15 = 32.85$ d

উ: 32.85 d

গাণিতিক উদাহরণ ৯.১০। রেডিয়ামের অর্ধ জীবন 1590 বছর। এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান ও গড় জীবন নির্ণয় কর।

এখানে,
অর্ধ জীবন, $T_{1/2} = 1590$ y
ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = ?$
গড় জীবন, $\tau = ?$

আমরা জানি,

ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{1590\ y}$

$= 4.36 \times 10^{-4}\ y^{-1}$

এবং গড় জীবন $\tau = \frac{T_{1/2}}{0.693} = \frac{1590\ y}{0.693}$

$= 2294$ y

উ: $4.36 \times 10^{-4}\ y^{-1}$; 2294 y

সার-সংক্ষেপ

থমসনের পরমাণু মডেল : এ মডেল অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো নিরবচ্ছিন্নভাবে বণ্টিত ধনাত্মক আধানে ছড়িয়ে আছে।

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল : পরমাণুর সকল ধনাত্মক আধান এবং প্রায় সবটুকু ভর পরমাণুর কেন্দ্রে নিউক্লিয়াস নামক ক্ষুদ্র জায়গায় কেন্দ্রীভূত হয়ে আছে। পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে রয়েছে আবর্তনরত ইলেকট্রন।

বোরের পরমাণু মডেল : নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ইলেকট্রনগুলো অনুমোদিত কক্ষপথে ঘুরে। এ অনুমোদিত কক্ষপথে ঘুরার সময় ইলেকট্রনগুলো কোনো শক্তি বিকিরণ করে না।

তেজস্ক্রিয়া : নিউক্লিয়াস থেকে তেজস্ক্রিয় কণার নির্গমন প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়া বলে। তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র হলো

$N = N_0 e^{-\lambda t}$.

অর্ধ জীবন : যে সময়ে কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ঠিক অর্ধেক পরিমাণ পরমাণু ভেঙে যায় তাকে ঐ পদার্থের অর্ধ জীবন বলে।

অর্ধ জীবন, $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

গড় জীবন : কোনো তেজস্ক্রিয় বস্তুখণ্ডের সকল পরমাণুর জীবনকালের যোগফলকে এর প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা দিয়ে ভাগ করলে যে জীবনকাল পাওয়া যায় তাকে গড় জীবন বলে।

ভরত্রুটি : কোনো স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর এর গঠনকারী উপাদানসমূহের মুক্তাবস্থায় ভরের যোগফলের চেয়ে কিছুটা কম হতে দেখা যায়। ভরের এই পার্থক্যকে ভরত্রুটি বলে।

বন্ধনশক্তি : কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লিয়ন একত্রিত হয়ে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় যা কোনো নিউক্লিয়াসকে ভেঙে এর নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাইরে থেকে যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয় তাকে নিউক্লিয়ার বন্ধন শক্তি বলে।

নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া : যে বিক্রিয়ায় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটে তাকে নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া বলে। যেমন— ${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{1}_{1}H$

নিউক্লিয়ার ফিশান : যে বিশেষ ধরনের নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় একটি ভারী নিউক্লিয়াস প্রায় সমান ভর সংখ্যাবিশিষ্ট দুটি নিউক্লিয়াসে বিভক্ত বা বিভাজিত হয় তাকে বলা হয় নিউক্লিয়ার ফিশান।

শৃঙ্খল বিক্রিয়া : যে স্ব-বহ বিক্রিয়া একবার শুরু হলে তাকে চালিয়ে রাখার জন্য অতিরিক্ত কোনো শক্তির প্রয়োজন হয় না তাকে শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলে।

নিউক্লিয়ার ফিউশন : যে বিক্রিয়ায় দুটি হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে অপেক্ষাকৃত ভারী একটি নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি বের হয় সে বিক্রিয়াকে বলা হয় নিউক্লিয়ার ফিউশন।

অনুশীলনী

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

১। রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা থেকে কোন্‌টির অস্তিত্ব পাওয়া যায়?

(ক) ইলেকট্রন ○ (খ) নিউক্লিয়াস ○
(গ) নিউট্রিনো ○ (গ) নিউট্রন ○

২। বোরের স্বীকার্য অনুসারে অনুমোদিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত?

(ক) $L = \frac{nh}{2\pi}$ ○ (খ) $L = \frac{2\pi}{nh}$ ○
(গ) $L = \frac{2\pi n}{h}$ ○ (ঘ) $L = \frac{2h}{\pi}$ ○

৩। রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় ব্যবহৃত স্বর্ণপাতের পুরুত্ব কত?

(ক) 6×10^{-7}m ○ (খ) 5×10^{-7}m ○
(গ) 5×10^{-6}m ○ (ঘ) 6×10^{-6}m ○

৪। রাদারফোর্ডের মডেল অনুসারে নিচের কোন বক্তব্যটি সঠিক নয়?
(ক) পরমাণুর সমুদয় ভর এর কেন্দ্রে পুঞ্জিভূত ○
(খ) সমুদয় ধনাত্মক চার্জ এর কেন্দ্রে পুঞ্জিভূত ○
(গ) নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-15}m এর পর্যায়ভুক্ত ○
(ঘ) পরমাণুর অস্তিত্ব বাধাগ্রস্ত হবে না ○

৫। ইলেকট্রন যখন উচ্চ শক্তি স্তর থেকে নিম্ন শক্তি স্তরে যায় তখন ইলেকট্রন কর্তৃক বিকিরিত শক্তি কী হবে?
(ক) $hf = E_u - E_l$ ○ (খ) $hf = E_u + E_l$ ○
(গ) $hf = \frac{E_u}{E_l}$ ○ (ঘ) $hf = \frac{E_l}{E_u}$ ○

৬। একটি ভারী নিউক্লিয়াস ভেঙে প্রায় সমান ভরের দুটি নিউক্লিয়াসে বিভক্ত হওয়ার প্রক্রিয়াকে কী বলে?
(ক) শৃঙ্খল বিক্রিয়া ○ (খ) নিউক্লিয় ফিশন ○
(গ) নিউক্লিয় ফিউশন ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

৭। $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের ইলেকট্রনের সংখ্যা কত?
(ক) 92 ○ (খ) 235 ○
(গ) 143 ○ (ঘ) শূন্য ○

৮। ভরসংখ্যা বলতে নিউক্লিয়াসে অবস্থিত কীসের সংখ্যা বোঝায়?
(ক) ইলেকট্রন ও প্রোটন ○ (খ) প্রোটন ও নিউট্রন ○
(গ) নিউট্রন ও ইলেকট্রন ○ (ঘ) ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন ○

৯। তেজস্ক্রিয়তা কে আবিষ্কার করেন?
(ক) পিয়ারে কুরি ○ (খ) বেকেরেল ○
(গ) থমসন ○ (ঘ) রয়েন্টজেন ○

১০। কোনো পদার্থ থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরিত হয় যখন তাকে—
(ক) উত্তপ্ত করা হয় ○ (খ) উচ্চ রক্তচাপে রাখা হয় ○
(গ) অন্য কোনো কণার সাথে বিক্রিয়া ঘটানো হয় ○ (ঘ) স্বতঃস্ফূর্তভাবে ○

১১। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নিচের কোনটি নির্গত হয় না?
(ক) α–রশ্মি ○ (খ) β–রশ্মি ○
(গ) γ–রশ্মি ○ (ঘ) নিউট্রন ○

১২। তেজস্ক্রিয়তার এস.আই একক কী?
(ক) কুরি ○ (খ) বেকেরেল ○
(গ) রয়েন্টজেন ○ (ঘ) m^{-1} ○

১৩। তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবকের এস.আই. একক কী?
(ক) m^{-1} ○ (খ) cm^{-1} ○
(গ) s^{-1} ○ (ঘ) year ○

১৪। তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয়ের হার—
(ক) সময়ের সাথে বৃদ্ধি পায় ○ (খ) সময়ের সাথে হ্রাস পায় ○
(গ) সময়ের সাথে পরিবর্তন হয় না ○ (ঘ) সময়ের সাথে সূচকীয়ভাবে হ্রাস পায় ○

১৫। প্রতি সেকেন্ডে ক্ষয়ের সংখ্যা দিয়ে তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপ করা হয়। প্রতি সেকেন্ডে একটি ক্ষয়কে কী বলা হয়?
(ক) 1 eV ○ (খ) 1 M eV ○
(গ) 1 Curie ○ (ঘ) 1 Becqueral ○

১৬। কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধেক পরিমাণ ক্ষয় হতে যে সময় লাগে তাকে কী বলে?
(ক) পূর্ণ জীবন ○ (খ) গড় জীবন ○
(গ) অর্ধ জীবন ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

১৭। নিচের কোন বিষয়ের ওপর কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধ জীবন নির্ভর করে?
(ক) তাপমাত্রা ○ (খ) চাপ ○
(গ) মৌলের প্রকৃতি ○ (ঘ) মৌলের পরিমাণ ○

১৮। একক সময়ে একটি মৌলের ক্ষয়ের সম্ভাব্যতাকে কী বলে?
(ক) বেকেরেল ○ (খ) কুরি ○
(গ) ক্ষয় ধ্রুবক ○ (ঘ) এর কোনোটি নয় ○

১৯। তেজস্ক্রিয় পরমাণুর আদি সংখ্যা N_o হলে t সময় পরে অবশিষ্ট তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা কত হবে?
(ক) $N = N_o e^{\lambda t}$ ○ (খ) $N = N_o e^{-\lambda t}$ ○
(গ) $N = N_o e^{-\lambda}$ ○ (ঘ) $N = N_o e^{\lambda}$ ○

২০। যে কোনো সময় t -তে উপস্থিত তেজস্ক্রিয় মৌলের সংখ্যা N হলে তেজস্ক্রিয় মৌলের ক্ষয়ের হার হবে—
(ক) $-\frac{dN}{dt} \propto N$ ○ (খ) $\frac{dN}{dt} \propto N$ ○
(গ) $-\frac{dN}{dt} \propto eN$ ○ (ঘ) $-\frac{dN}{dt} \propto e^{-N}$ ○

২১। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধ জীবন ও ক্ষয় ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক কী?
(ক) $T_{1/2} = \frac{1}{\lambda}$ ○ (খ) $T_{1/2} = \frac{\lambda}{0.693}$ ○
(গ) $T_{1/2} = 0.693\lambda$ ○ (ঘ) $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ ○

২২। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের ক্ষয়ধ্রুবকের বিপরীত সংখ্যাকে কী বলে?
(ক) অর্ধ জীবন ○ (খ) মোট জীবন ○
(গ) গড় জীবন ○ (ঘ) কুরি ○

২৩। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধ জীবন এর গড় জীবনের—
(ক) সমানুপাতিক ○ (খ) ব্যস্তানুপাতিক ○
(গ) সমান ○ (ঘ) কোনো সম্পর্ক নেই ○

২৪। নিচের কোনটি দ্বারা এক কুরি বোঝানো হয়?
(ক) 3.7×10^{7}decays^{-1} ○ (খ) 3.7×10^{8}decays^{-1} ○
(গ) 3.7×10^{9}decays^{-1} ○ (ঘ) 3.7×10^{10}decays^{-1} ○

২৫। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে বিকিরিত α কণা হচ্ছে—
(ক) হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ○ (খ) হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস ○
(গ) লিথিয়াম নিউক্লিয়াস ○ (ঘ) বোরোন নিউক্লিয়াস ○

২৬। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধ জীবন 40 দিন। মৌলটি সম্পূর্ণ ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে?
(ক) 40 দিন ○ (খ) 80 দিন ○
(গ) 400 দিন ○ (ঘ) অসীম সময় ○

২৭। 2 ঘণ্টা পরে কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের $\frac{1}{16}$ অংশ অবশিষ্ট থাকে। মৌলটির অর্ধ জীবন কত?
(ক) 15 মিনিট ○ (খ) 15 মিনিট ○
(গ) 45 মিনিট ○ (ঘ) 1 ঘণ্টা ○

২৮। অ্যালুমিনিয়াম নিউক্লিয়াসের প্রতীক $^{27}_{13}Al$। এর নিউট্রন সংখ্যা কত?
(ক) 27 ○ (খ) 13 ○
(গ) 40 ○ (ঘ) 14 ○

২৯। নিচের কোন দুটি রশ্মি একই ধর্ম প্রদর্শন করে?

(ক) X-ray এবং α–ray ○ (খ) γ-ray এবং β–ray ○

(গ) X-ray এবং γ–ray ○ (ঘ) α-ray এবং β–ray ○

৩০। রেডিয়ামের গড় জীবন 2341 বছর। এর ক্ষয় ধ্রুবক কত?

(ক) $4.27 \times 10^{-4} y^{-1}$ ○ (খ) $2.69 \times 10^{-4} y^{-1}$ ○

(গ) $8.54 \times 10^{-4} y^{-1}$ ○ (ঘ) $5.29 \times 10^{-4} y^{-1}$ ○

৩১। 10 গ্রাম ভরের একটি তেজস্ক্রিয় মৌল α–কণা বিকিরণ করে। এক অর্ধ জীবন পরে এর ভর কত হবে?

(ক) 5 গ্রাম ○ (খ) প্রায় 10 গ্রাম ○

(গ) 10 গ্রাম ○ (ঘ) এর কোনোটিই নয় ○

৩২। γ–রশ্মির মধ্যে আছে—

(ক) ইলেকট্রন ○ (খ) প্রোটন ○

(গ) ফোটন ○ (ঘ) পজিট্রন ○

৩৩। দুটি হালকা মৌল একত্রিত হয়ে একটি ভারী মৌল গঠনের প্রক্রিয়াকে কী বলে?

(ক) নিউক্লিয় ফিউশান বিক্রিয়া ○ (খ) শৃঙ্খল বিক্রিয়া ○

(গ) নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়া ○ (ঘ) এর কোনোটি নয় ○

৩৪। তিনটি বিবৃতি দেওয়া হলো—

(i) কোনো ইলেকট্রন যদি উচ্চশক্তি স্তর E_u থেকে একটি নিম্নশক্তি স্তর E_l এ গমন করে তখন নিঃসৃত ফোটনের শক্তি হবে $hf = E_u - E_l$

(ii) প্রতি সেকেন্ডে একটি তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন বা ক্ষয়কে এক বেকেরেল বলে।

(iii) যে নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় একটি ভারী নিউক্লিয়াস প্রায় সমান ভর বিশিষ্ট দুটি নিউক্লিয়াসে বিভক্ত হয় তাকে নিউক্লিয়ার ফিশান বলে।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i , ii ও iii ○

৩৫। একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধ জীবন হচ্ছে—

(i) $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

(ii) $T_{1/2} = 0.693$ s

(iii) $T_{1/2} = 0.693\ \tau$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৩৬। অ্যালুমিনিয়াম নিউক্লিয়াসের প্রতীক হচ্ছে $^{27}_{13}Al$। (১) ও (২) নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

(১) নিউক্লিয়াসটির পারমাণবিক সংখ্যা কত?

(ক) 13 ○ (খ) 27 ○

(গ) 14 ○ (ঘ) 40 ○

pdfcorner.com

(২) নিউক্লিয়াসটির নিউট্রন সংখ্যা কত?

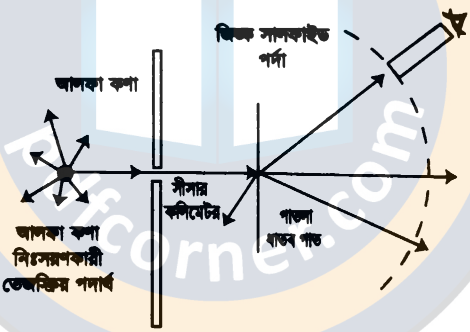
(ক) 13 ○ (খ) 27 ○
(গ) 14 ○ (ঘ) 40 ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (খ) ২. (ক) ৩ (ক) ৪. (ঘ) ৫. (ক) ৬. (খ) ৭. (ঘ) ৮. (খ) ৯. (খ) ১০. (ঘ) ১১. (ঘ) ১২. (খ) ১৩. (গ) ১৪. (ঘ) ১৫. (ঘ) ১৬. (গ) ১৭. (গ) ১৮. (গ) ১৯. (খ) ২০. (ক) ২১. (ঘ) ২২. (গ) ২৩. (ক) ২৪. (ঘ) ২৫. (ক) ২৬. (ঘ) ২৭. (খ) ২৮. (ঘ) ২৯. (গ) ৩০. (ক) ৩১. (ক) ৩২. (গ) ৩৩. (ক) ৩৪.(ঘ) ৩৫.(গ) ৩৬.(ক) (গ)

খ-বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। পাশের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং নিচের প্রশ্নগুলোর জবাব দাও।



(ক) চিত্রে যে পরীক্ষণটি দেখানো হয়েছে তা রাদারফোর্ড কর্তৃক সম্পন্ন হয়। এই পরীক্ষণটির নাম কী?

(খ) রাদারফোর্ডের পরীক্ষণটি বর্ণনা কর।

(গ) পরীক্ষণটির ফলাফলের ওপর ভিত্তি করে রাদারফোর্ড একটি পরমাণু মডেল প্রদান করেন। মডেলটি বর্ণনা কর। মডেলটি সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা কীভাবে অতিক্রম করা যায় ব্যাখ্যা কর।

২। তেজস্ক্রিয় ট্রিটিয়ামের অর্ধ জীবন 12.5 বছর।

(ক) তেজস্ক্রিয়তা কাকে বলে?

(খ) তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র ব্যাখ্যা কর এবং ক্ষয় ধ্রুবকের সংজ্ঞা দাও।

(গ) 25 বছর পর উদ্দীপকের ট্রিটিয়াম খণ্ডের কতটুকু অবশিষ্ট থাকবে?

(ঘ) ট্রিটিয়াম খণ্ড এক-পঞ্চমাংশে রূপান্তরিত হতে প্রয়োজনীয় সময় নির্ণয়ের রাশিমালা নির্ণয় কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ বর্ণনা কর।
২। রাদারফোর্ডের মডেল বর্ণনা কর।
৩। রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা কর।
৪। বোরের মডেলের স্বীকার্যগুলো লেখ।
৬। পরমাণুর মোট ভরের কত ভাগ নিউক্লিয়াসে থাকে?
৫। বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ডে মডেলের সীমাবদ্ধতা কীভাবে অতিক্রম করা যায় ব্যাখ্যা কর।
৭। নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের রাশিমালা কী?
৮। তেজস্ক্রিয়তা কাকে বলে?
৯। তেজস্ক্রিয়তার এককের সংজ্ঞা দাও।
১০। বেকেরেল ও কুরীর মধ্যে সম্পর্ক লেখ।
১১। তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহ প্রদর্শনের মাদাম কুরির পরীক্ষা বর্ণনা কর।
১২। তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। ক্ষয় ধ্রুবকের সংজ্ঞা দাও।
১৩। তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূচকীয় বা রূপান্তর সূত্রটি প্রতিপাদন কর।
১৪। তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্রটি বিবৃত কর।
১৫। তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের রূপান্তর সমীকরণটি লেখ।
১৬। ক্ষয় ধ্রুবকের সংজ্ঞা দাও।
১৭। অর্ধ জীবন কাকে বলে?
১৮। অর্ধ জীবন ও ক্ষয় ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক লেখ।
১৯। অর্ধ জীবন ও গড় জীবনের মধ্যে সম্পর্ক লেখ।
২০। অর্ধ জীবনের সাথে ক্ষয় ধ্রুবকের সম্পর্ক নির্ণয় কর।
২১। গড় জীবন কাকে বলে?
২২। ভরত্রুটি ব্যাখ্যা কর।
২৩। বন্ধন শক্তি বলতে কী বোঝায়?
২৪। নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।
২৫। নিউক্লিয়ার ফিশান কাকে বলে?
২৬। নিউক্লিয়ার ফিউশন কাকে বলে?
২৭। নিউক্লিয়ার ফিশান ও ফিউশন উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।
২৮। শৃঙ্খল বিক্রিয়া চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

pdfcorner.com

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু -1.5 eV শক্তি অবস্থা থেকে -3.4 eV অবস্থায় আসলে যে ফোটন নিঃসরণ করবে তার কম্পাঙ্ক কত হবে? [উ: 4.59×10^{14} Hz]

২। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ বের কর। [উ : 0.53Å]

৩। হাইড্রোজেন পরমাণুতে দ্বিতীয় বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ বের কর। ঐ কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তি হিসাব কর। [উ: 2.127Å; –3.383 eV]

৪। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 5 ঘণ্টা। এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান কত? [উ: 3.85×10^{-5} s^{-1}]

৫ কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 3 মিনিট হলে এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান বের কর। [উ: 3.85×10^{-3} s^{-1})

৬। একটি পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক 0.00385 s^{-1}। এর অর্ধ জীবন কত? [উ: 180 s]

৭। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবকের মান 3.75×10^{-3} s^{-1}। এর অর্ধ জীবন নির্ণয় কর। [উ: 184.8 s]

৮। রেডিয়ামের গড় আয়ু 2294 বছর। এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান ও অর্ধ জীবন বের কর। [উ: 4.36×10^{-4} y^{-1}; 1589.45 y]

৯। এক খণ্ড রেডিয়াম 4000 বছর তেজস্ক্রিয় বিকিরণ নিঃসরণ করে এক-পঞ্চমাংশে পরিণত হয়। রেডিয়ামের ক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর। [উ: 4.02×10^{-4} y^{-1}]

১০। রেডনের অর্ধ জীবন 4 দিন। এর গড় জীবন কত? [উ: 5.77 d]

১১। ইউরেনিয়ামের অর্ধ জীবন 45×10^{8} বছর। এর গড় জীবন নির্ণয় কর। [উ: 6.49×10^{9} বছর]

১২। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 5 বছর। 20×10^{-3} kg ভরের পদার্থটিতে 10 বছর পর কত কিলোগ্রাম পদার্থ থাকবে? [উ: 5×10^{-3} kg]

১৩। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 15 ঘণ্টা। ঐ বস্তুর প্রারম্ভিক ভর 4g হলে 60 ঘণ্টা পরে কতটুকু অবশিষ্ট থাকবে? [উ: 0.25 g]

১৪। কোনো একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 10 দিন। কত দিনে ঐ পদার্থের 75% ক্ষয়প্রাপ্ত হবে? [উ: 20 d]

১৫। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবন 15 দিন। কত দিনে ঐ পদার্থের 65% ক্ষয়প্রাপ্ত হবে? [উ: 22.72 d]

১৬। কোনো পদার্থের অর্ধ জীবন 5 বছর। ঐ পদার্থের কোনো বস্তু খণ্ডের 15 বছর পর কত অংশ ক্ষয় পাবে? [উ: 87.5%]

১৭। এক খণ্ড ^{198}Au এর 75% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে? ^{198}Au এর অর্ধ জীবন 2.7 দিন। [উ: 5.4 d]

১৮। রেডনের অর্ধজীবন 4 দিন। রেডনের তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবকের মান কত এবং কত দিন পর রেডনের প্রারম্ভিক মানের $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে? [উ: 0.173 d^{-1} ; 17.32 d]

১৯। এক খণ্ড রেডনের 40% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে? রেডনের অর্ধ জীবন 3.82 দিন। [উ: 2.82 d]

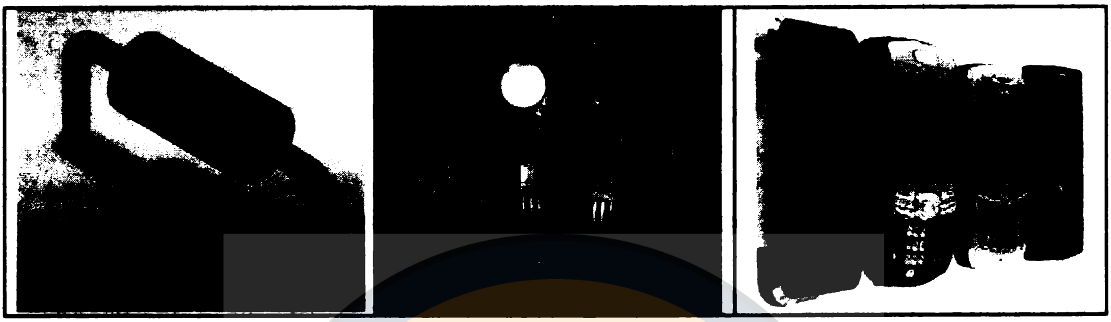
২০। রেডনের অর্ধ জীবন 3.82 দিন হলে এক খণ্ড রেডনের 75% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে? [উ: 7.66 d]

২১। প্রাথমিক অবস্থায় কোনো বস্তুখণ্ডে যদি 10^{8} সংখ্যক রেডন পরমাণু থাকে, তাহলে একদিনে কত সংখ্যক পরমাণু ভেঙে যাবে? রেডনের অর্ধ জীবন 4 দিন। [উ: 15.9×10^{6}]

দশম অধ্যায়

সেমিকন্ডাক্টর ও ইলেকট্রনিক্স

SEMI CONDUCTOR AND ELECTRONICS



বর্তমান যুগ ইলেকট্রনিক্সের যুগ। আমাদের জীবনকে সহজ, সুন্দর, আরামদায়ক ও আনন্দময় করার জন্য আমরা প্রতিনিয়ত যে সকল দ্রব্যাদি ব্যবহার করি যেমন রেডিও, টেলিভিশন, ভিসিআর, কম্পিউটার, মোবাইল ফোন ইত্যাদি—তাদের অধিকাংশই ইলেকট্রনিক সামগ্রী। এই সকল যন্ত্রে ব্যাপকভাবে ডায়োড এবং ট্রানজিস্টর ব্যবহৃত হয়। সেমিকন্ডাক্টর দ্বারা ডায়োড ও ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স ও লজিক সার্কিট ইলেকট্রনিক্স ও তথ্য যোগাযোগ প্রযুক্তিতে বিপ্লব এনেছে। কম্পিউটার, ক্যালকুলেটর, টেলিফোন, টিভি ইত্যাদিতে ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সের ব্যবহার এদের কার্যক্রমের গুণগত মান অনেক পাল্টে দিয়েছে। এই অধ্যায়ে আমরা সেমিকন্ডাক্টর, ডায়োড ও ট্রানজিস্টরের ধর্ম ও ব্যবহার, বিভিন্ন লজিক গেইট ও নম্বর পদ্ধতি নিয়ে আলোচনা করব।

প্রধান শব্দসমূহ :
শক্তি ব্যান্ড, যোজন ব্যান্ড, পরিবহন ব্যান্ড, নিষিদ্ধ ব্যান্ড, পরিবাহী, অপরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর, p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর, n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর, ডায়োড, কেলাস, রেকটিফায়ার, ট্রানজিস্টর, অ্যাম্পলিফায়ার, বাইনারি নম্বর পদ্ধতি, অক্টাল নম্বর পদ্ধতি, হেক্সাডেসিমেল পদ্ধতি, লজিক গেট, OR-গেট, AND-গেট, NOT-গেট, NAND-গেট, NOR-গেট, XOR-গেট, XNOR-গেট।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	কঠিন পদার্থের ব্যান্ড তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.১
২	ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.২
৩	ইনট্রিন্সিক ও এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৪
৪	সেমিকন্ডাক্টরে ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৩
৫	পি-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর এবং এন টাইপ সেমিকন্ডাক্টর তৈরি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৫
৬	জাংশন ডায়োডের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৬
৭	একমুখীকরণ (Rectification) ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৭, ১০.৮

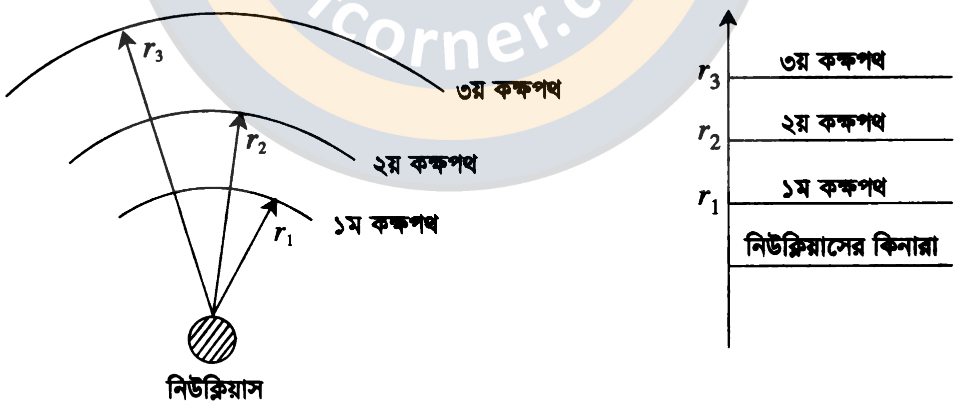
৮	**ব্যবহারিক :** ডায়োডের পূর্ণ ব্রিজ ব্যবহার করে একটি দিকপরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তর করতে পারবে।	১০.২২
৯	জাংশন ট্রানজিস্টরের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৯
১০	অ্যাম্পলিফায়ার ও সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.১২, ১০.১৩
১১	বিভিন্ন প্রকার নম্বর পদ্ধতির মধ্যে রূপান্তর ব্যবহার করতে পারবে।	১০.১৪-১০.১৭
১২	বাইনারি অপারেশন ব্যবহার করতে পারবে।	১০.১৮
১৩	বিভিন্ন প্রকার লজিক গেটের কার্যক্রম বিশ্লেষণ করতে পারবে।	১০.২০, ১০.২১
১৪	**ব্যবহারিক** * সমন্বিত বর্তনী ব্যবহার করে গেট বর্তনীর কার্যক্রম (ট্রুথটেবিল) যাচাই করতে পারবে।	১০.২২

১০·১। ব্যান্ড তত্ত্ব (Band Theory)

পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত বোরের তত্ত্ব থেকে আমরা জানি যে, পরমাণুর অভ্যন্তরে ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে কেবল কয়েকটি অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তন করে। এই কক্ষপথগুলোর ব্যাসার্ধ সুনির্দিষ্ট।

কোয়ান্টাম তত্ত্ব থেকে এই সকল ব্যাসার্ধের মান পাওয়া যায়। একটি পরমাণুর প্রতিটি ইলেকট্রনেরই একটি নির্দিষ্ট শক্তি থাকে। এই শক্তির পরিমাণ নির্ভর করে ইলেকট্রনটি কোন্ কক্ষপথে নিউক্লিয়াসকে আবর্তন করছে তার উপর। কক্ষপথের ব্যাসার্ধ যত বড় হয় ইলেকট্রনের শক্তিও তত বেশি হয়।

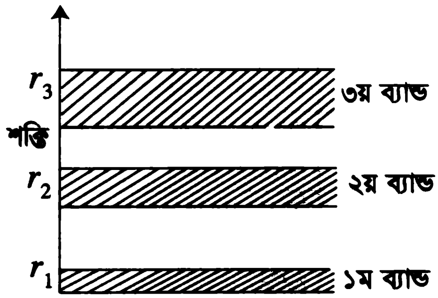
যদি কোনো ইলেকট্রনকে তাপ, আলো ইত্যাদি রূপে কিছু নির্দিষ্ট পরিমাণ অতিরিক্ত শক্তি প্রদান করা হয়, তাহলে ইলেকট্রনটি পরবর্তী উচ্চতর কক্ষপথে উন্নীত হয়। পরমাণুর এই অবস্থাকে **উত্তেজিত অবস্থা** বলে। এই অবস্থা কিন্তু বেশিক্ষণ স্থায়ী হয় না; কেননা ইলেকট্রনটি পুনরায় তাপ, আলো বা অন্যান্য বিকিরণের মাধ্যমে শক্তি হারিয়ে মূল নিম্নতর কক্ষপথে ফিরে আসে।



চিত্র : ১০.১

শক্তি স্তর : পরমাণুতে ইলেকট্রনের বিভিন্ন কক্ষপথের সাথে সংশ্লিষ্ট শক্তিকে সাধারণত একটি রৈখিক চিত্রের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়ে থাকে। এই চিত্রে শক্তি বিভিন্ন স্তরে বিন্যস্ত থাকে। এই চিত্রকে শক্তি স্তর রৈখিক চিত্র বলে [চিত্র : ১০·১]। প্রথম কক্ষপথ প্রথম শক্তিস্তর, দ্বিতীয় কক্ষপথ দ্বিতীয় শক্তিস্তর ইত্যাদি নির্দেশ করে (চিত্র : ১০.১)। সুতরাং দেখা যায়, কক্ষপথটি যত বড় হবে, ইলেকট্রনের শক্তি তত বেশি হবে এবং শক্তিস্তর তত উচ্চ হবে।

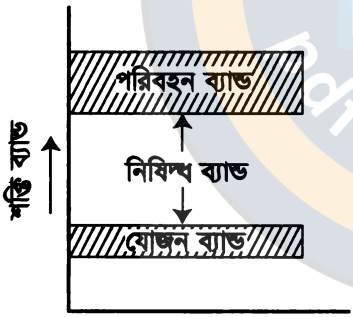
শক্তি ব্যান্ড : একটি বিচ্ছিন্ন পরমাণুর বেলায় কোনো একটি নির্দিষ্ট কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনগুলোর একটি সুনির্দিষ্ট শক্তি থাকবে। কিন্তু পরমাণুটি যদি কোনো কঠিন পদার্থের অন্তর্ভুক্ত হয় তাহলে সেই পরমাণুর ইলেকট্রনগুলোর শক্তির সেই সুনির্দিষ্ট মান থাকে না। কঠিন পদার্থের প্রতিটি পরমাণু তার আশেপাশের ঘন সন্নিবিষ্ট অন্যান্য পরমাণু দ্বারা প্রভাবিত হওয়ার কারণে কোনো একটি কক্ষপথের যে কোনো দুটি ইলেকট্রনের চারপাশের আধান পরিবেশ এক রকম থাকে না। ফলে যে কোনো একটি কক্ষপথে আবর্তনরত দুটি ইলেকট্রনের শক্তির মানও হুবহু এক থাকে না। উদাহরণ হিসেবে বলা যায়, প্রথম কক্ষপথের দুটি ইলেকট্রনের শক্তির সামান্য তারতম্য ঘটবে। যেহেতু কোনো কঠিন পদার্থে কোটি কোটি প্রথম কক্ষপথের ইলেকট্রন বিদ্যমান, সেহেতু এই সকল ভিন্ন ভিন্ন ইলেকট্রন ভিন্ন ভিন্ন শক্তিস্তরের একটি পাল্লা সৃষ্টি করে যাকে শক্তি ব্যান্ড বলা হয়।



চিত্র : ১০.২ (ক)

কোনো পদার্থে বিভিন্ন পরমাণুতে কিন্তু একই কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনগুলোর শক্তির সামান্য তারতম্য হয়। একই কক্ষপথে অবস্থিত এই সকল ইলেকট্রনের শক্তির সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ মানের মধ্যবর্তী পাল্লাকে শক্তি ব্যান্ড বলে।

প্রথম কক্ষপথের ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট শক্তি ব্যান্ড হলো প্রথম শক্তি ব্যান্ড। অনুরূপভাবে দ্বিতীয়, তৃতীয় কক্ষপথের ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট শক্তি ব্যান্ডকে যথাক্রমে দ্বিতীয় শক্তি ব্যান্ড ও তৃতীয় শক্তি ব্যান্ড বলে [চিত্র : ১০·২ক]। কঠিন পদার্থের অনেকগুলো শক্তি ব্যান্ড থাকে—যার মধ্যে তিনটি হচ্ছে প্রধান। এগুলো হচ্ছে **যোজন ব্যান্ড, পরিবহন ব্যান্ড** এবং **নিষিদ্ধ ব্যান্ড** [চিত্র : ১০.২খ]।



চিত্র ঃ ১০.২ (খ)

যোজন ব্যান্ড : পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনকে যোজন ইলেকট্রন বলে। যোজন ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পাল্লা বা ব্যান্ডকে যোজন ব্যান্ড বলে।

একটি সাধারণ পরমাণুতে দূরতম কক্ষপথের ইলেকট্রনের শক্তি থাকে সর্বোচ্চ। এই ব্যান্ড পূর্ণ বা আংশিক পূর্ণ থাকতে পারে। নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ক্ষেত্রে যোজন ব্যান্ড পূর্ণ থাকে। ফলে এ গ্যাসগুলো আর নতুন কোনো ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে না। অন্যান্য পদার্থে যোজন ব্যান্ড আংশিক পূর্ণ থাকে। আংশিক পূর্ণ যোজন ব্যান্ড আরো কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে।

পরিবহন ব্যান্ড : পরমাণুতে অবস্থিত মুক্ত যোজন ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে বলে এদেরকে পরিবহন ইলেকট্রন বলে। পরিবহন ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পাল্লা বা ব্যান্ডকে পরিবহন ব্যান্ড বলে।

কোনো কোনো পদার্থে বিশেষ করে ধাতব পদার্থে যোজন ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসের সাথে শিথিলভাবে যুক্ত থাকে। সাধারণ তাপমাত্রায় এই সকল ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ থেকে মুক্ত হয়ে যেতে পারে। পরিবাহীতে এই সকল মুক্ত ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহন করে থাকে।

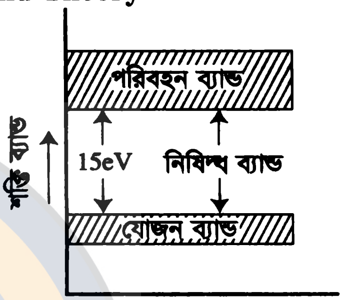
পরিবহন ব্যান্ডের সকল ইলেকট্রনই মুক্ত ইলেকট্রন। যদি কোনো বস্তুতে পরিবহন ব্যান্ড ফাঁকা থাকে—তাহলে সেই বস্তুতে তড়িৎ পরিবহন সম্ভব হয় না। এই বস্তুকে **অন্তরক** বলে। অন্তরকে পরিবহন ব্যান্ড সম্পূর্ণ ফাঁকা থাকে, আর যোজন ব্যান্ড আংশিক পূর্ণ থাকে।

নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড : শক্তি স্তর রৈখিক চিত্রে পরিবহন ব্যান্ড এবং যোজন ব্যান্ড এর মধ্যবর্তী শক্তির পাল্লাকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড বলে।

এই নিষিদ্ধ শক্তি অঞ্চলে কোনো অনুমোদিত শক্তি অবস্থা বা স্তর না থাকায় এ অঞ্চলে কোনো ইলেকট্রন থাকতে পারে না। কোনো বস্তুতে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান যত বেশি হবে, যোজন ইলেকট্রনগুলোও পরমাণুতে তত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকবে। কোনো ইলেকট্রনকে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহন ব্যান্ডে নিতে হলে অর্থাৎ কোনো যোজন ইলেকট্রনকে মুক্ত করতে হলে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধানের সমমানের বাহ্যিক শক্তি সরবরাহ করতে হবে।

১০.২। পরিবাহী, অপরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর এবং ব্যান্ড তত্ত্ব
Conductor, Insulator, Semiconductor and Band Theory

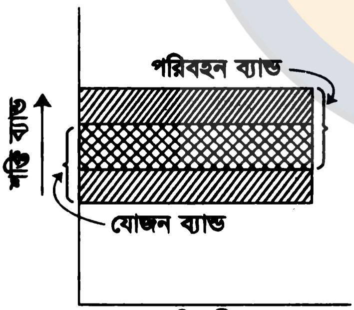
তড়িৎ পরিবাহিতা ধর্মের ওপর ভিত্তি করে কঠিন পদার্থকে তিন শ্রেণিকে ভাগ করা যায়—যথা: **অপরিবাহী, পরিবাহী** এবং **সেমিকন্ডাক্টর** বা **অর্ধপরিবাহী**। ব্যান্ড তত্ত্বের দ্বারা এদের প্রত্যেকের আচরণ ব্যাখ্যা করা যায়।



অপরিবাহী
চিত্র ঃ ১০.৩

অপরিবাহী বা অন্তরক : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ **প্রবাহ চলতে পারে না তাদেরকে অপরিবাহী বলে**। যেমন কাচ, কাঠ ইত্যাদি। অপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ অনেক বেশি—প্রায় $10^{12}\ \Omega m$ ক্রমের।

অপরিবাহীতে যোজন ব্যান্ড ইলেকট্রন দ্বারা আংশিক পূর্ণ থাকে এবং পরিবহন ব্যান্ড ফাঁকা থাকে। এছাড়া যোজন ব্যান্ড এবং পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধান অনেক বেশি, 6 eV থেকে 15 eV এর মতো (চিত্র : ১০·৩)। ফলে সাধারণ তাপমাত্রায় অপরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলেও এ থেকে ইলেকট্রনগুলো উচ্চতর শক্তিস্তরে যাওয়ার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহ করতে পারে না। এ জন্য সাধারণ তাপমাত্রায় অপরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলে না।



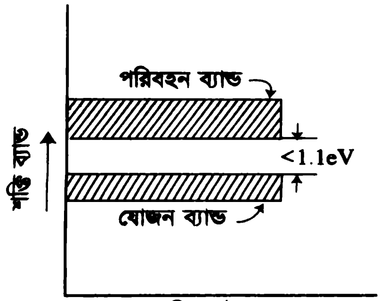
পরিবাহী
চিত্র : ১০.৪

পরিবাহী : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে সহজে তড়িৎ **প্রবাহ চলতে পারে তাদেরকে পরিবাহী বলে**। সাধারণত ধাতব পদার্থ তড়ি সুপরিবাহী হয়। তামা, রুপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি সুপরিবাহী।

পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ কম হয়—প্রায় $10^{-8}\Omega m$ ক্রমের। পরিবাহীতে অনেক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহীতে যোজন ব্যান্ড এবং পরিবহন ব্যান্ডের মাঝে শক্তি ব্যবধান তো থাকেই না বরং কিছু অংশে এদের উপরিলেপন ঘটে (চিত্র : ১০·৪)। এ জন্য পরিবাহীর দুই প্রান্তে সামান্য বিভব পার্থক্য ঘটলেই মুক্ত ইলেকট্রনগুলো তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে।

সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী : অপরিবাহী ও পরিবাহীর মাঝামাঝি আপেক্ষিক রোধের কয়েকটি পদার্থ আছে সেগুলোকে বলা হয় সেমিকন্ডাক্টর। যেমন—জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদি। এদের আপেক্ষিক রোধ $10^{-4}\ \Omega\ m$ ক্রমের। কিন্তু কেবল আপেক্ষিক রোধ দিয়েই সেমিকন্ডাক্টর চিহ্নিত করা হয় না। কেননা কিছু সংকরও আছে যাদের আপেক্ষিক রোধ জার্মেনিয়াম, সিলিকন প্রভৃতির সমক্রমের কিন্তু সেগুলো সেমিকন্ডাক্টর নয়। সেমিকন্ডাক্টরের আরো কিছু বৈশিষ্ট্য আছে। যেমন, এর আপেক্ষিকবোধ $10^{-4}\ \Omega\ m$ ক্রমের। এতে কোনো

অপদ্রব্য মিশালে এর তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। পরমশূন্য তাপমাত্রায় (0K, শূন্য কেলভিন) এরা অপরিবাহী। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পাল্লা পর্যন্ত এর রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এর তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে এর তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। এদের পরিবহন ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি পার্থক্য 1.1 eV বা এর কম (চিত্র : ১০·৫)।

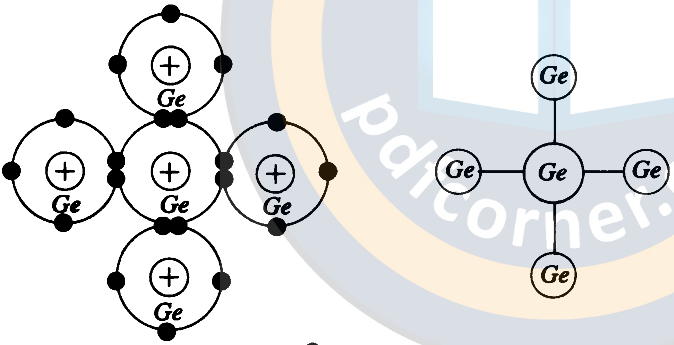


চিত্র : ১০.৫

সুতরাং বলা যায় যে, **যে সকল পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক অপরিবাহী ও পরিবাহীর মাঝামাঝি এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে যাদের রোধ কমে অর্থাৎ পরিবাহিতাঙ্ক বাড়ে এবং সুবিধাজনক অপদ্রব্য যোগ করলে যাদের পরিবাহিতাঙ্ক ধর্মের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটে তাদেরকে সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী বলে।**

ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী

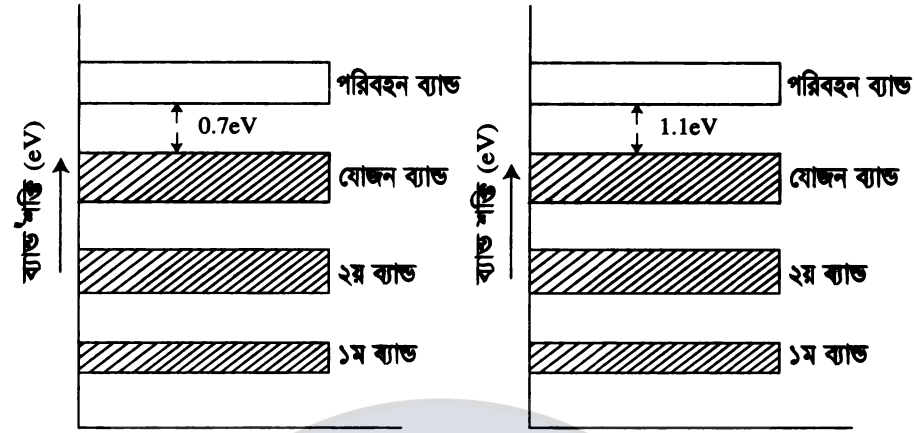
যে পদার্থে যোজন ব্যান্ড প্রায় পূর্ণ এবং পরিবহন ব্যান্ড প্রায় খালি থাকে এবং এই দুটি ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির পার্থক্য খুব কম (অনধিক 1.1 eV) থাকে তাকে সেমিকন্ডাক্টর বলে। (চিত্র ১০.৫)।



চিত্র : ১০.৬

জার্মেনিয়াম হচ্ছে একটি বহুল ব্যবহৃত আদর্শ সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী। জার্মেনিয়ামের সর্বশেষ কক্ষপথে চারটি যোজন ইলেকট্রন আছে। কিন্তু এই যোজন ইলেকট্রনগুলো মুক্ত ইলেকট্রন নয়। কেননা অন্যান্য পরমাণুর মতো জার্মেনিয়াম পরমাণুও তার শেষ কক্ষপথটি আটটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ করতে চায়। এটি করতে গিয়ে ১০·৬ চিত্রের ন্যায় প্রতিটি জার্মেনিয়াম পরমাণু অন্য চারটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর মাঝখানে নিজেকে স্থাপন করে। এতে প্রতিটি পার্শ্ববর্তী পরমাণু মধ্যবর্তী পরমাণুটির সাথে একটি যোজন ইলেকট্রন ভাগাভাগি করে নেয়। এই ভাগাভাগির ঘটনায় মধ্যবর্তী পরমাণুটি তার সর্বশেষ কক্ষপথটি আটটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ করে। এভাবে মধ্যবর্তী পরমাণুটি **সহযোজী** বন্ধন (Covalent bond) সৃষ্টি করে। সহযোজী বন্ধন সৃষ্টির এই প্রক্রিয়ায় একটি পরমাণুর প্রতিটি যোজন ইলেকট্রন তার পার্শ্ববর্তী পরমাণুর যোজন ইলেকট্রনের সাথে সরাসরি বন্ধন তৈরি করে। অর্থাৎ যোজন ইলেকট্রনগুলো অন্যান্য পরমাণুর সাথে সম্পৃক্ত হয়ে যায়। ফলে সেমিকন্ডাক্টরে যোজন ইলেকট্রনগুলো মুক্ত থাকে না।

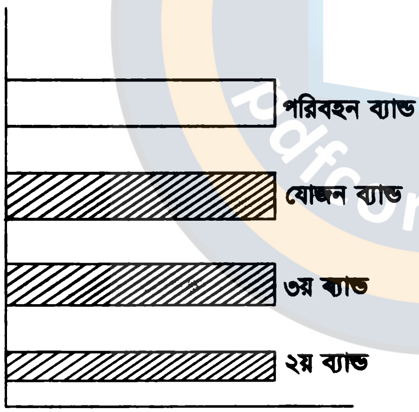
যে পদার্থে পরমাণু বা অণুগুলো একটি সুনির্দিষ্ট প্যাটার্নে সজ্জিত থাকে তাকে **কেলাস** বলে। সকল সেমিকন্ডাক্টরের গঠন কেলাসিত। এ জন্য এক টুকরা জার্মেনিয়ামকে সাধারণভাবে **জার্মেনিয়াম কেলাস** বলা হয়ে থাকে।



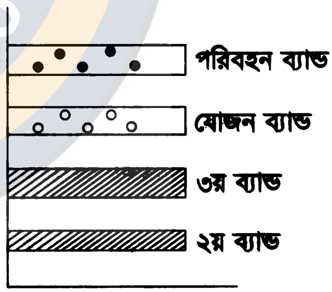
(ক) জার্মেনিয়াম (খ) সিলিকন

চিত্র : ১০.৭

সেমিকন্ডাক্টরে যোজন শক্তি ব্যান্ড প্রায় পূর্ণ থাকে এবং পরিবহন ব্যান্ড প্রায় ফাঁকা থাকে। এ ছাড়া যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধান খুব কম থাকে। ১০·৭ চিত্রের জার্মেনিয়াম ও সিলিকনের শক্তি ব্যান্ড রৈখিক চিত্র থেকে দেখা যায় যে, কক্ষ তাপমাত্রায় জার্মেনিয়ামের জন্য এটি 0.7 eV এবং সিলিকনের জন্য 1.1 eV। ফলে তুলনামূলকভাবে কম শক্তি প্রয়োগেই ইলেকট্রনগুলোকে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহন ব্যান্ডে স্থানান্তর সম্ভব হয়।



চিত্র : ১০.৮



চিত্র : ১০.৯

পরমশূন্য তাপমাত্রায় (0K) সেমিকন্ডাক্টরে ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। এই তাপমাত্রায় সহযোজী বন্ধনগুলো খুবই সবল হয় এবং সবগুলো যোজন ইলেকট্রনই সহযোজী বন্ধন তৈরিতে ব্যস্ত থাকে, ফলে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না এবং সেমিকন্ডাক্টর কেলাস এই অবস্থায় যোজন ব্যান্ড পূর্ণ থাকে এবং যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মাঝে শক্তির ব্যবধান বিরাট হয় [চিত্র : ১০·৮] । ফলে কোনো যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে এসে মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে না। মুক্ত ইলেকট্রন না থাকার কারণে সেমিকন্ডাক্টর এই তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অপরিবাহী বা অন্তরকের ন্যায় আচরণ করে।

যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় তখন তাপ শক্তির কারণে কিছু সংখ্যক সহযোজী বন্ধন ভেঙে যায় এবং কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয়। ১০·৯ চিত্রে শক্তি ব্যান্ড রেখাচিত্র দেখানো হয়েছে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেতে থাকলে কিছু সংখ্যক

pdfcorner.com

যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে প্রবেশ করার মতো যথেষ্ট শক্তি অর্জন করে এবং মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হয়। এখন বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করে। যখনই একটি যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে প্রবেশ করে তখনই যোজন ব্যান্ডে একটি শূন্যস্থান বা গর্ত বা 'হোল' (hole) সৃষ্টি হয়। আমরা পরবর্তী অনুচ্ছেদে দেখব কীভাবে এই হোল বা গর্তগুলো তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করে।

১০.৩। ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা (Concept of Eectron and Hole)

ইলেকট্রন হলো ঋণাত্মক তড়িৎবাহী একটি মৌলিক কণা। এর আধানের মান 1.6×10^{-19}C এবং ভর 9.1×10^{-31}kg. এগুলো পরমাণুর কেন্দ্রের বহিস্থ কক্ষপথে আবর্তন করে। উপযুক্ত শক্তি প্রয়োগ করে ইলেকট্রনকে কক্ষভ্রষ্ট করা যায় বা কক্ষ থেকে বের করে নেয়া যায়।

হোল হলো কোনো কঠিন পদার্থের ল্যাটিস কাঠামোতে ইলেকট্রনের খালি করা অবস্থান যা চলমান ধনাত্মক আধান বাহক হিসাবে আচরণ করে। কোনো সেমিকন্ডাক্টর পদার্থের কোনো কক্ষে স্থায়ী ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন কোনো কারণে মুক্ত হয়ে গেলে সেখানে শূন্যতার সৃষ্টি হয়। এরই নাম হোল (Hole)। অন্য কোনো কক্ষ থেকে ইলেকট্রন এসে এই শূন্যস্থান দখল করলে ইলেকট্রন প্রদানকারী কক্ষও আবার ইলেকট্রন শূন্য হয়ে পড়ে এবং তড়িৎ পরিবহন ঘটে। ফলে একটি ধনাত্মক আধানের মতো ভূমিকা পালন করে হোল সমগ্র পদার্থের মধ্য দিয়ে গমন করে।

১০.৪। সেমিকন্ডাক্টরের প্রকারভেদ (Classification of Semiconductor)

সেমিকন্ডাক্টর সাধারণত দুই ধরনের হয়। যথা—

(১) ইনট্রিন্সিক বা অন্তর্জাত সেমিকন্ডাক্টর (Intrinsic semiconductor)

(২) এক্সট্রিন্সিক বা বহির্জাত সেমিকন্ডাক্টর (Extrinsic semiconductor)

ইনট্রিন্সিক বা অন্তর্জাত সেমিকন্ডাক্টর : যে সকল সেমিকন্ডাক্টরে কোনো অপদ্রব্য মেশানো হয় না তাদেরকে ইনট্রিন্সিক বা অন্তর্জাত সেমিকন্ডাক্টর বলে। পর্যায় সারণির চতুর্থ সারির পরমাণু কেলাস যেমন, কার্বন (C), সিলিকন (Si), জার্মেনিয়াম (Ge), টিন (Sn) এ সকল পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা বেশ কম। ফলে এদের পরিবাহিতাঙ্ক খুব বেশি নয়।

এক্সট্রিন্সিক বা বহির্জাত সেমিকন্ডাক্টর : অন্তর্জাত সেমিকন্ডাক্টরে অতিসামান্য অপদ্রব্য নিয়ন্ত্রিত পরিমাণে (প্রায় এক কোটি পরমাণুতে একটি পরমাণু) মেশালে এতে বিপুল পরিমাণে মুক্ত ইলেক্ট্রন বা হোল সৃষ্টি হয়। ফলে এর পরিবাহিতা বহুগুণে বৃদ্ধি পায়। অপদ্রব্য মেশানো সেমিকন্ডাক্টরকে এক্সট্রিন্সিক বা বহির্জাত সেমিকন্ডাক্টর বলে। পরিবাহিতা বৃদ্ধির জন্য বিশুদ্ধ সেমিকন্ডাক্টরে অপদ্রব্য মেশানোকে **ডোপায়ন বা ডোপিং** (doping) বলে। ডোপায়নের জন্য দুই ধরনের অপদ্রব্য ব্যবহার করা হয় :

(ক) **পর্যায় সারণির তৃতীয় সারির মৌল,** যেমন : বোরন (B), এলুমিনিয়াম (Al), গ্যালিয়াম (Ga), ইন্ডিয়াম (In)।

(খ) **পর্যায় সারণির পঞ্চম সারির মৌল,** যেমন : ফসফরাস (P), আর্সেনিক (As), এন্টিমনি (Sb), বিসমাথ (Bi)।

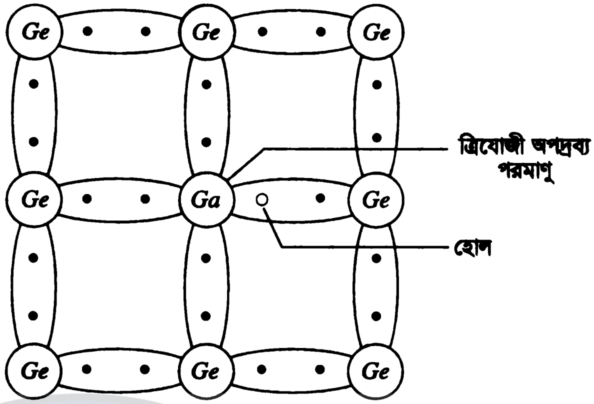
এক্সট্রিন্সিক বা বহির্জাত সেমিকন্ডাক্টর দুই ধরনের হয়, যথা : p টাইপ এবং n টাইপ। ডোপিত মৌলের প্রকৃতি থেকে নির্ধারিত হয় সেমিকন্ডাক্টরটি p টাইপ (ধনাত্মক টাইপ) হবে, না n টাইপ (ঋণাত্মক টাইপ) হবে।

১০.৫। p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী

p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর (p-type semiconductor)

কোনো বিশুদ্ধ সেমিকন্ডাক্টরে সামান্য পরিমাণ ত্রিযোজী অর্থাৎ পর্যায় সারণির তৃতীয় সারির মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মেশানো হলে, তাকে p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বলে।

জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের পরমাণুতে যদি উপযুক্ত মাত্রায় (প্রায় এক কোটিতে একটি) কোনো ত্রিযোজী মৌল (অর্থাৎ যার পরমাণুতে তিনটি যোজন ইলেক্ট্রন আছে যেমন গ্যালিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি) মেশানো হয় তাহলে ঐ কেলাসের গঠনের কোনোরূপ পরিবর্তন হয় না কিন্তু পার্শ্ববর্তী চতুর্যোজী ধাতুর সাথে সহযোজী বন্ধন গঠন করতে এর একটি ইলেকট্রন ঘাটতি পড়ে। ফলে কেলাসে একটি ধনাত্মক হোল সৃষ্টি হয় (চিত্র : ১০·১০)। এই জাতীয় অপদ্রব্য মিশ্রণে সৃষ্ট হোল পূরণ করতে অন্য একটি ইলেকট্রনের প্রয়োজন হয়। ত্রিযোজী অপদ্রব্য ইলেকট্রন গ্রহণ করে বলে এদেরকে বলা হয় **গ্রাহক** (acceptor) পরমাণু। জার্মেনিয়াম বা সিলিকনে প্রতিটি গ্যালিয়াম বা অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু একটি করে হোল সৃষ্টি করে। ফলে সামান্য পরিমাণ গ্যালিয়াম বা অ্যালুমিনিয়াম লক্ষ লক্ষ হোল সৃষ্টি করে। গ্রাহক পরমাণুর বহির্খোলকে সাতটি যোজন ইলেকট্রন ও একটি হোল থাকে। হোলটি একটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হলে পরমাণুটির খোলকের গঠন স্থিতিশীল হয়। ধনাত্মক হোল ইলেকট্রনকে গ্রহণ করে ফলে ইলেকট্রন জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের মধ্যে গতিশীল বা চলমান থাকে। এভাবে ইলেকট্রন পরমাণু থেকে পরমাণুতে গমন করে। যে ইলেকট্রনটি হোলে চলে যায় তা যে পরমাণু থেকে এটি আসে তাতে একটি হোল সৃষ্টি করে আসে। সেই হোলকে দখল করার জন্য অন্য একটি ইলেকট্রন আসে। এই ইলেকট্রনটিও রেখে আসে আরেকটি ধনাত্মক হোল। যেন মনে হয় ধনাত্মক হোল পদার্থের মধ্যে ইলেকট্রনের গতির দিকের বিপরীত দিকে গতিশীল বা চলমান। এখানে **গরিষ্ঠ আধান বাহক** হলো **হোল**। এই ধরনের পদার্থের নাম p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর পদার্থ।

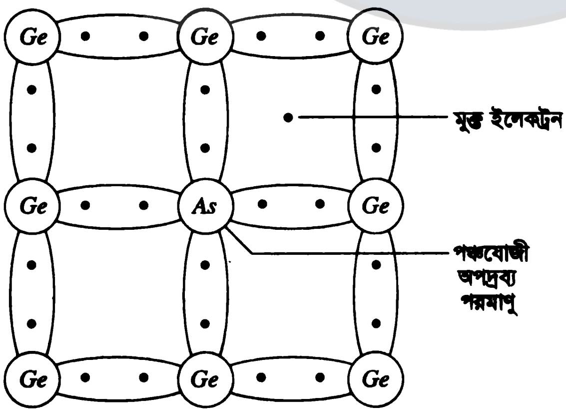


চিত্র ঃ ১০.১০

p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে পরিবহন ঘটে প্রধানত ধনাত্মক আধান বা হোলের দরুন। এখানে ঋণাত্মক আধান বা ইলেকট্রন হলো **লঘিষ্ঠ আধান বাহক**।

n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর (*n*-type semiconductor)

কোনো বিশুদ্ধ সেমিকন্ডাক্টরে সামান্য পরিমাণ পঞ্চযোজী অর্থাৎ পর্যায় সারণির পঞ্চম সারির মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মেশানো হলে, তাকে n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বলে।



চিত্র : ১০.১১

জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের কেলাসে যদি উপযুক্ত মাত্রায় (প্রায় এক কোটি পরমাণুতে একটি) কোনো পঞ্চযোজী মৌল (অর্থাৎ যার পরমাণুতে পাঁচটি যোজন ইলেকট্রন আছে, যেমন আর্সেনিক, এন্টিমনি ইত্যাদি) মেশানো হয় তাহলে ঐ কেলাসের গঠনের কোনোরূপ পরিবর্তন হয় না এবং মিশ্রিত পরমাণুর পাঁচটি যোজন ইলেকট্রনের মধ্যে চারটি জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের পরমাণুর সাথে সহযোজী বন্ধন সৃষ্টি করে এবং একটি উদ্বৃত্ত থাকে (চিত্র : ১০·১১)। এই উদ্বৃত্ত ইলেকট্রনকে খুব সামান্য শক্তি সরবরাহে মুক্ত করা যায়

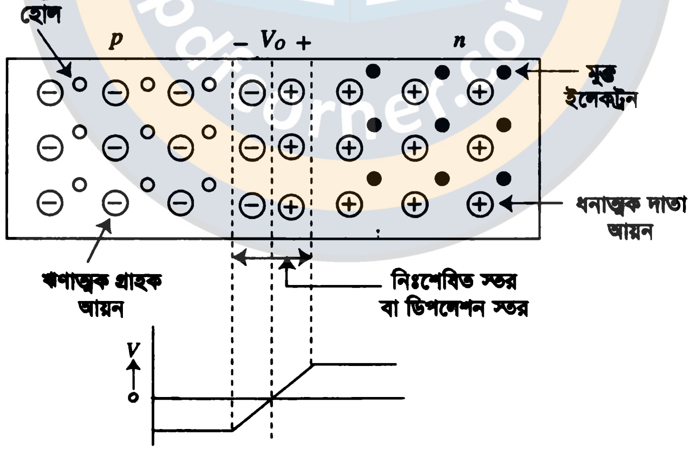
এবং এরাই সেমিকন্ডাক্টরের পরিবাহিতা বৃদ্ধি করে। পঞ্চযোজী অপদ্রব্য ইলেকট্রন দান করে বলে এদের দাতা (donner) পরমাণু বলে। ইলেকট্রনের দ্বারা পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় বলে এই ধরনের এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টরকে n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বলে। জার্মেনিয়াম বা সিলিকনে প্রতিটি আর্সেনিক বা এন্টিমনি পরমাণু একটি করে ইলেকট্রন দান করে। ফলে সামান্য পরিমাণ আর্সেনিক বা এন্টিমনি লক্ষ লক্ষ ইলেকট্রন দান করে। n-টাইপ বস্তুকে ইলেকট্রন সমৃদ্ধ বস্তু বলা হয়। n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে পরিবহন ঘটে প্রধানত ঋণাত্মক আধান বা ইলেকট্রনের জন্য। এতে গরিষ্ঠ বাহক (majority carrier) হলো ইলেকট্রন এবং লঘিষ্ঠ বাহক (minority carrier) হলো হোল।

p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে আধান (Charge on p-type and n-type semiconductors)

পূর্বের আলোচনা থেকে দেখা যায় যে, p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে তড়িৎপ্রবাহ হয় হোল-এর জন্য এবং n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে তড়িৎপ্রবাহ হয় অতিরিক্ত ইলেকট্রনের জন্য। এতে সাধারণভাবে ধারণা হতে পারে p-টাইপ বস্তুতে অতিরিক্ত ধনাত্মক আধানে এবং n-টাইপ বস্তুতে অতিরিক্ত ঋণাত্মক আধান রয়েছে বা মনে হতে পারে p-টাইপ বস্তু হচ্ছে ধনাত্মক আধানে আহিত বস্তু আর n-টাইপ বস্তু হচ্ছে ঋণাত্মক আধান আহিত বস্তু। প্রকৃত অবস্থা কিন্তু তা নয়। একথা সত্য যে n-টাইপ বস্তুতে অতিরিক্ত কিছু ইলেকট্রন আছে। কিন্তু এই অতিরিক্ত ইলেকট্রন সরবরাহ করে দাতা অপদ্রব্য, এই দাতা অপদ্রব্য নিজে তড়িৎ নিরপেক্ষ। যখন অপদ্রব্য মেশানো হয় তখন যাকে 'অতিরিক্ত ইলেক্ট্রন' বলা হয় প্রকৃতপক্ষে তা সেমিকন্ডাক্টর কেলাসে সহযোজী বন্ধন গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় সংখ্যক ইলেক্ট্রনের অতিরিক্ত। এই অতিরিক্ত ইলেকট্রন মুক্ত ইলেকট্রন এবং এরা সেমিকন্ডাক্টরের পরিবাহিতা বৃদ্ধি করে। p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে একইভাবে অতিরিক্ত হোল পাওয়া যায়। তাই বলা যায়, p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর প্রকৃতপক্ষে তড়িৎ নিরপেক্ষ।

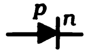
১০.৬। সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড বা জাংশন ডায়োড
Semiconductor Diode or Junction Diode

p-n জংশন (p-n Junction) ঃ



চিত্র : ১০.১২

একটি p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর ও একটি n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর সমন্বয়ে p-n জংশন তৈরি হয়। দুটি সেমিকন্ডাক্টর সমন্বয়ে গঠিত বলে একে সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড বলে। এই জংশন তড়িৎপ্রবাহ একদিকে প্রবাহিত করে বা একমুখী করে, তাই এর অপর নাম সেমিকন্ডাক্টর রেকটিফায়ার। প্রকৃতপক্ষে দুটি সেমিকন্ডাক্টরকে জোড়া লাগিয়ে ডায়োড তৈরি করা হয় না। একটি বিশুদ্ধ সেমিকন্ডাক্টর কেলাসকে এমনভাবে ডোপায়ন করা হয় যাতে একদিকে p-টাইপ ও অন্যদিকে n-টাইপ অঞ্চলের উদ্ভব হয় এবং মাঝে একটা জংশন তৈরি হয়। p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের

স্পর্শতলকে জংশন বা সংযোগ তল বলে। ডায়োডের বর্তনী প্রতীক হচ্ছে  এবং ব্লক চিত্র হচ্ছে | p | n |। একটি *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের অভ্যন্তরে বহুসংখ্যক হোল ও অতি অল্পসংখ্যক ইলেকট্রন থাকে। হোলের সংখ্যা কেলাসের মধ্যে ঋণাত্মক আয়নিত গ্রাহক পরমাণুর সমান। একইভাবে একটি *n*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের মধ্যে বহুসংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন এবং অতি অল্পসংখ্যক হোল থাকে এবং ঐ মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা কেলাসের মধ্যকার ধনাত্মক আয়নিত দাতা পরমাণুর সমান।

p-n জংশন সৃষ্টির সাথে সাথে *p*-অঞ্চলে হোলের সংখ্যা *n*-অঞ্চলের হোলের সংখ্যার চেয়ে অনেক বেশি বলে ব্যাপনের নিয়ম অনুযায়ী *p*-অঞ্চলের হোলগুলো *n*-অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে যাতে *p* ও *n* অঞ্চলের সর্বত্র হোলের সংখ্যা ঘনত্ব সমান হয়। একইভাবে *n*-অঞ্চল থেকে কিছু ইলেকট্রন *p*-অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে।

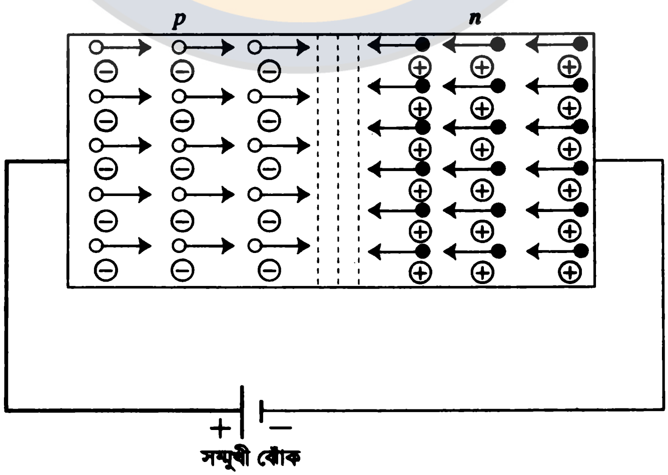
p-অঞ্চল হতে হোলগুলো *n*-অঞ্চলে প্রবেশ করে *n*-অঞ্চলের মুক্ত ইলেকট্রনের সাথে মিলিত হয়ে তড়িৎ নিরপেক্ষ হয় ফলে সমসংখ্যক ধনাত্মক দাতা আয়ন উন্মুক্ত হয়। আবার *n*-অঞ্চল হতে একই প্রক্রিয়ায় মুক্ত ইলেকট্রনগুলো *p*-অঞ্চলে প্রবেশ করে সেখানকার হোলের সাথে মিলিত হয়ে তড়িৎ নিরপেক্ষ হয় এবং সমসংখ্যক ঋণাত্মক গ্রাহক আয়ন উন্মুক্ত করে। ফলে *p*-অঞ্চলে কিছু ঋণাত্মক আয়ন এবং *n*-অঞ্চলে কিছু ধনাত্মক আয়নের উদ্ভব হয় (চিত্র : ১০.১২)। এভাবে যথেষ্ট সংখ্যক গ্রাহক ও দাতা আয়ন উন্মুক্ত হওয়ার পর ব্যাপন প্রক্রিয়া বাধাগ্রস্ত হবে। এখন *n*-অঞ্চলের ধনাত্মক আধান *p*-অঞ্চল থেকে হোলের আগমন এবং *p* অঞ্চলের ঋণাত্মক আধান *n*-অঞ্চল থেকে ইলেকট্রনের আগমনকে বাধা দেবে। ফলে সংযোগস্থলে একটা বিভব প্রাচীরের উদ্ভব হবে যা বিভব বাধা সৃষ্টি করবে। এই বিভব বাধার বাইরে উভয়দিকে কেলাস তড়িৎ নিরপেক্ষ অবস্থায় থাকে। শুধু বিভব বাধা অংশে *n*-অঞ্চলে ধনাত্মক আয়ন এবং *p*-অঞ্চলে ঋণাত্মক আয়ন দেখা যায়। *p-n* জংশনের এ অংশকে **মুক্ত আধানহীন স্তর বা নিঃশেষিত স্তর বা ডিপলেশন স্তর** বলে।

এখন *p-n* জংশনে বহিস্থ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে তড়িৎ প্রবাহ হবে। তবে সেটা নির্ভর করবে ভোল্টেজ কীভাবে প্রয়োগ করা হবে তার ওপর। *p-n* জংশনে বহিস্থ ভোল্টেজ-এর প্রয়োগ দুভাবে হতে পারে। যথা-

১. সম্মুখী ঝোঁক বা সম্মুখী বায়াস (Forward bias)

২. বিমুখী ঝোঁক বা বিমুখী বায়াস (Reverse bias)

১. সম্মুখী ঝোঁক :



চিত্র : ১০.১৩

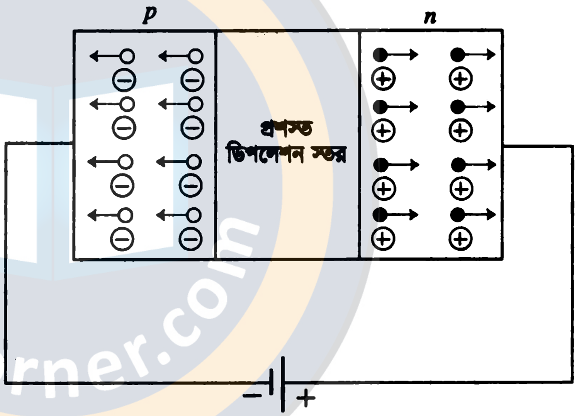
pdfcorner.com

p-n জংশনে যদি কোনো বহিস্থ ভোল্টেজ বা বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হয় তাহলে তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। **ভোল্টেজ যদি এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যে কোষের ধনাত্মক প্রান্ত *p*-টাইপ বস্তুর সাথে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত *n*-টাইপ বস্তুর সাথে সংযুক্ত হয় তাহলে তাকে সম্মুখী ঝোঁক বলে** (চিত্র ১০.১৩)। এক্ষেত্রে কোষের ধনাত্মক প্রান্ত ইলেকট্রনগুলোকে বামে অর্থাৎ *p*-টাইপ বস্তুর দিকে এবং কোষের ঋণাত্মক প্রান্ত হোলগুলোকে ডানে অর্থাৎ *n*-টাইপ বস্তুর দিকে টানবে। ফলে *n*-টাইপ বস্তু থেকে ইলেকট্রন জংশন পার হয়ে *p* টাইপ বস্তুতে যাবে এবং হোল জংশন পার হয়ে *n*-টাইপ বস্তুতে প্রবেশ করবে। ব্যাপারটি এরকম যে *n*-টাইপ বস্তু থেকে ইলেকট্রন জংশন পার হয়ে *p*-টাইপ বস্তুতে গিয়ে এর হোলগুলো পূর্ণ করবে। ফলে *p-n* জংশন ও বহিস্থ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলবে। এই প্রবাহকে বলা হয় **সম্মুখী প্রবাহ**। এই ধরনের সংযোগকে বলা হয় **সম্মুখী ঝোঁক**।

২. বিমুখী ঝোঁক

ভোল্টেজ যদি বিপরীত অভিমুখে প্রয়োগ করা হয় অর্থাৎ কোষের ধনাত্মক প্রান্ত যদি *n*-টাইপ এবং ঋণাত্মক প্রান্ত যদি *p*-টাইপ বস্তুর সাথে সংযুক্ত করা হয় তাহলে তাকে বিমুখী ঝোঁক বলে (চিত্র ১০.১৪)।

এক্ষেত্রে *n*-টাইপ বস্তুর মুক্ত ইলেকট্রন ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্তের আকর্ষণের ফলে *n*-টাইপ বস্তুতেই থেকে যাবে *p* জংশন পার হয়ে কিছুতেই *p* টাইপ বস্তুতে যেতে পারবে না। *p*-টাইপ বস্তুর 'হোল'ও *p*-টাইপ বস্তুতেই থেকে যাবে। ফলে ডিপলেশন স্তরের প্রশস্ততা বৃদ্ধি পাবে এবং জংশন দিয়ে কোনো তড়িৎপ্রবাহ চলবেনা। এ ধরনের সংযোগকে বলা হয় **বিমুখী ঝোঁক**।



বিমুখী ঝোঁক
চিত্র : ১০.১৪

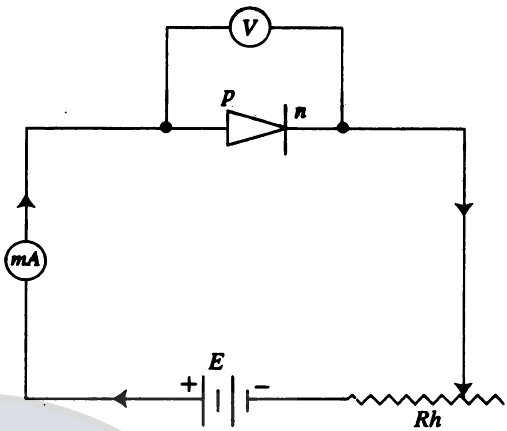
উপরিউক্ত ঘটনা থেকে বোঝা যায় যে, ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে *p-n* জংশন শুধু ইলেকট্রন এক অভিমুখে প্রবাহের অনুমতি দেয়। অর্থাৎ এই জংশনে ইলেকট্রনের প্রবাহ একমুখী। সুতরাং এটি রেকটিফায়ার হিসেবে কাজ করে। তাই সেমিকন্ডাক্টরকে **ডায়োড রেকটিফায়ার** বলে।

১০.৭। *p-n* জংশনের বৈশিষ্ট্য লেখ (Characteristic Curve of *p-n* Junction)

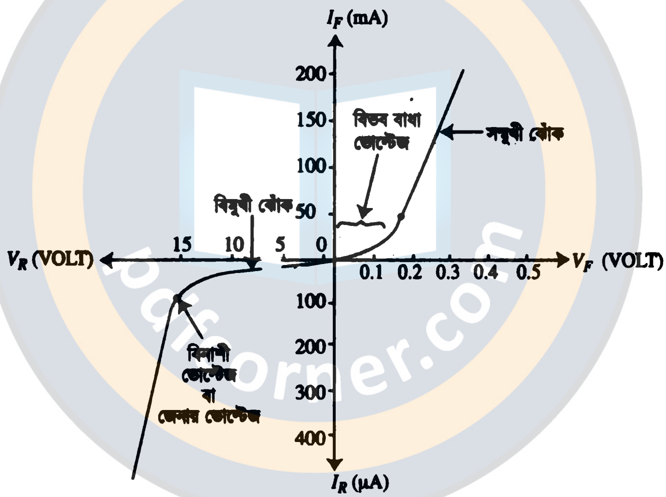
একটি *p-n* জংশনের দুই প্রান্তে ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। ভোল্টেজ পরিবর্তনের সাথে তড়িৎ প্রবাহের যে পরিবর্তন ঘটে লেখচিত্রের মাধ্যমে তার উপস্থাপনকে *p-n* জংশনের বৈশিষ্ট্য লেখ বা ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ বা *I-V* লেখ বলে। চিত্র ১০.১৫-এ প্রদর্শিত বর্তনীতে রয়েছে একটি জংশন ডায়োড, তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপের জন্য একটি মিলিঅ্যামিটার (*mA*) এবং ভোল্টেজ মাপার জন্য একটি ভোল্টমিটার (*V*), তড়িচ্চালক শক্তির উৎস (*E*), পরিবর্তনশীল রোধ (*Rh*) ইত্যাদি।

পরিবর্তনশীল রোধের মান বদলিয়ে বর্তনীতে ভোল্টেজের মান পরিবর্তন করা হয়। প্রযুক্ত ভোল্টেজ ও প্রাপ্ত তড়িৎ প্রবাহের লেখচিত্র আঁকলে তা চিত্র ১০.১৬ এর মতো হবে।

ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে দেখা যায় যে, সম্মুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে স্বল্প ভোল্টেজ পার্থক্যের জন্য তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ দ্রুত বৃদ্ধি পায় কিন্তু বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে ভোল্টেজের পার্থক্য যতই বাড়ানো হোক না কেন তড়িৎ প্রবাহের মানের পরিবর্তন খুবই কম হয়; এমনকি প্রায় স্থির থাকে। এই অবস্থায় ভোল্টেজ আরো বাড়াতে থাকলে শেষে এক সময় হঠাৎ করে বিপুল পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়, যেন মনে হয় *p-n* জংশনের বিভব বাধা একেবারে বিলুপ্ত হয়ে গেছে। বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে যে ভোল্টেজের জন্য এরূপ ঘটে তাকে **জেনার ভোল্টেজ বা জেনার বিভব** (Zener Voltage) বলে। 1934 সালে জেনার কর্তৃক আবিষ্কৃত **ডায়োডের এই ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া** বলে। এই ভোল্টেজ প্রয়োগে জংশন ডায়োডের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয়ে যেতে পারে। এজন্য এই ভোল্টেজকে **বিনাশী ভোল্টেজও** বলে।



চিত্র : ১০.১৫



চিত্র : ১০.১৬

গতীয় রোধ : যে বিভব পার্থক্যে *p-n* জংশন কাজ করে তাকে গতীয় রোধ বলে। *p-n* জংশনে প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যে ক্ষুদ্র পরিবর্তন ΔV এর জন্য আনুষঙ্গিক তড়িৎপ্রবাহের ক্ষুদ্র পরিবর্তন ΔI এর অনুপাতকে গতীয় রোধ বলে। গাণিতিকভাবে গতীয় রোধ R হলো,

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad \dots \quad (10.1)$$

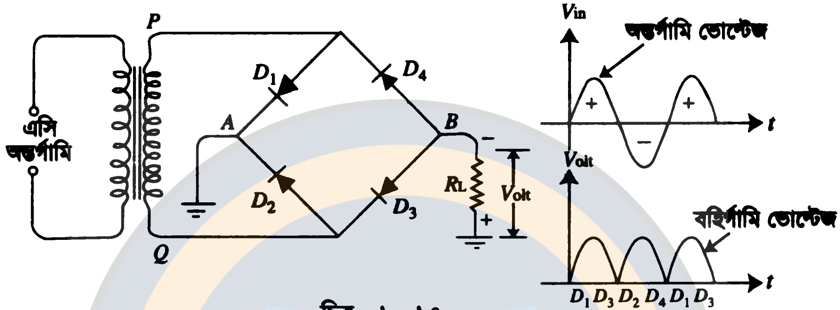
১০.৮। একমুখীকরণ (Rectification)

বেশির ভাগ ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি বা বর্তনী পরিচালনার জন্য নিরবচ্ছিন্ন একমুখী প্রবাহ বা ডিসি প্রবাহ প্রয়োজন হয়। ব্যাটারি বা শুষ্ক কোষই হচ্ছে ডিসি প্রবাহের প্রধান উৎস। কিন্তু এদের ভোল্টেজ বেশ কম এবং এগুলো প্রায়ই পরিবর্তন করতে হয় বলে বেশ ব্যয়বহুল। এ কারণে আমরা যদি আমাদের বৈদ্যুতিক লাইনের দিক পরিবর্তী তথা এসি ভোল্টেজকে একমুখী তথা ডিসি ভোল্টেজ-এ রূপান্তরিত করতে পারি তা ব্যবহারে যেমন সুবিধাজনক হয় তেমনি

সাশ্রয়ীও হয়। এসি ভোল্টেজকে ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তর করার পদ্ধতিকে বলা হয় রেকটিফিকেশন বা একমুখীকরণ।

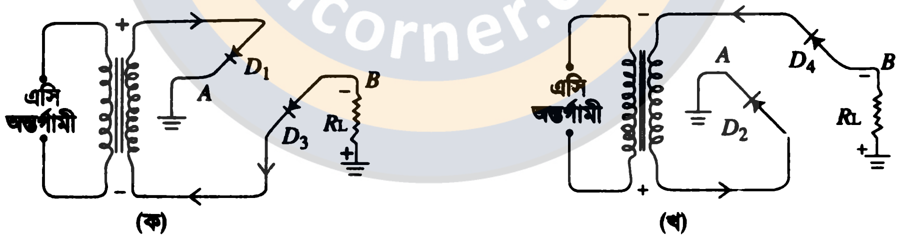
১০·৯। পূর্ণতরঙ্গ ব্রিজ রেকটিফায়ার (Full Wave Bridge Rectifier)

বর্তনী সংযোগ : পূর্ণতরঙ্গ ব্রিজ রেকটিফায়ার তৈরি করার জন্য প্রয়োজন হয় চারটি ডায়োড। D_1, D_2, D_3 এবং D_4 ডায়োড চারটি দিয়ে ১০.১৭ চিত্রের ন্যায় একটি ব্রিজ গঠন করা হয়। যে এসি উৎসকে রেকটিফাই বা একমুখী করতে হবে সেটি একটি ট্রান্সফর্মারের মাধ্যমে ব্রিজের দুই বিপরীত কৌণিক বিন্দুতে চিত্রানুযায়ী সংযোগ দেওয়া হয়। ব্রিজের অন্য দুই কৌণিক বিন্দুতে ভূ-সংযুক্তির মাধ্যমে লোড রেজিস্টান্স, R_L যুক্ত করা হয়।



চিত্র : ১০.১৭

কার্যনীতি : পূর্ণতরঙ্গ ব্রিজ রেকটিফায়ারে এসি অন্তর্গামী উৎসের দুই চক্রই কাজে লাগানো হয়। গৌণ ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য ট্রান্সফার্মারের P প্রান্ত ধনাত্মক এবং প্রান্ত Q ঋণাত্মক হয়। ফলে D_1 ও D_3 ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং শুধুমাত্র D_1 ও D_3 ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এই ডায়োড দুটি লোড রেজিস্টান্স R_L এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত হবে। (চিত্র ১০.১৮ ক)। তড়িৎ প্রবাহ তীর চিহ্ন দিয়ে দেখানো হয়েছে। তড়িৎ A থেকে লোড রেজিস্ট্যান্সের মধ্য দিয়ে B এর দিকে প্রবাহিত হবে। R_L এর দুই প্রান্তে ডিসি বহির্গামী পাওয়া যাবে।



চিত্র : ১০.১৮

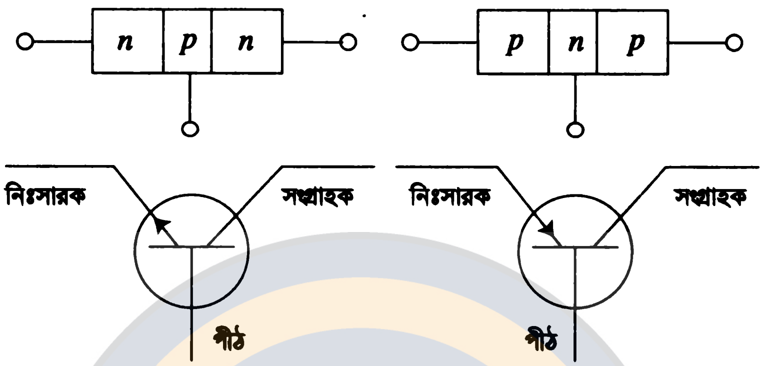
গৌণ কুণ্ডলীর ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য P প্রান্ত ঋণাত্মক এবং Q প্রান্ত ধনাত্মক হয়। ফলে D_2 ও D_4 ডায়োড সম্মুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং D_1 ও D_3 ডায়োড বিমুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং শুধুমাত্র D_2 ও D_4 ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এই দুটি ডায়োড লোড রেজিস্ট্যান্স R_L এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত হয় (চিত্র ১০.১৮খ)। তড়িৎ প্রবাহ তীরচিহ্ন দিয়ে দেখানো হয়েছে। তড়িৎ A থেকে লোড রেজিস্ট্যান্স R_L এর মধ্য দিয়ে B এর দিকে প্রবাহিত হবে। R_L এর দুই প্রান্তে ডিসি বহির্গামী পাওয়া যাবে।

১০·১০। জাংশন ট্রানজিস্টর (Junction Transistors)

ট্রানজিস্টরের আবিষ্কার ইলেকট্রনিক্সের জগতে বিপ্লব এনেছে। ১৯৪৮ সালে জে. বার্ডিন ও ডব্লিউ. এইচ. ব্রাটেইন ট্রানজিস্টর আবিষ্কার করেন। এই ক্ষুদ্র সেমিকন্ডাক্টরটি তড়িত সংকেতকে বিবর্ধন করতে পারে এবং উচ্চগতি

সুইচ হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে। ট্রানজিস্টর তাই ইলেকট্রনিক সার্কিট বা বর্তনীতে বিবর্ধক ও সুইচ হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

তিন প্রান্তবিশিষ্ট যে ক্ষুদ্র অর্ধপরিবাহী যন্ত্রে বহির্মুখী প্রবাহ, ভোল্টেজ এবং ক্ষমতা অন্তর্মুখী প্রবাহ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাকে ট্রানজিস্টর বলে।



চিত্র : ১০.১৯

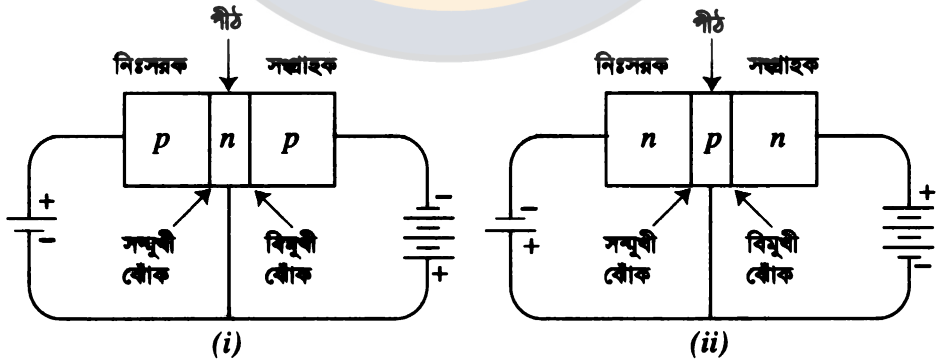
চিত্র ১০.১৯ : *n-p-n* এবং *p-n-p* ট্রানজিস্টরের সাধারণ চিত্র ও বর্তনী প্রতীক।

দুই শ্রেণির সেমিকন্ডাক্টরের (*n*-টাইপ ও *p*-টাইপ) তিনটি দিয়ে ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। এতে একটি *p*-টাইপের কেলাসের উভয় পার্শ্বে একটি করে *n*-টাইপ কেলাস বা *n*-টাইপের কেলাসের উভয় দিকে একটি করে *p*-টাইপ কেলাস স্যান্ডউইচ করে যথাক্রমে *n-p-n* বা *p-n-p* জংশন তৈরি করা হয়। এদেরকে যথাক্রমে *n-p-n* ট্রানজিস্টর ও *p-n-p* ট্রানজিস্টর বলা হয়।

এরকমভাবে সজ্জিত কেলাসের প্রথমটিকে নিঃসারক (emitter), মাঝেরটিকে পীঠ বা ভূমি (base) এবং অন্য পাশেরটিকে সংগ্রাহক (collector) বলা হয় (চিত্র : ১০.১৯)।

ট্রানজিস্টরের ঝোঁক ব্যবস্থা

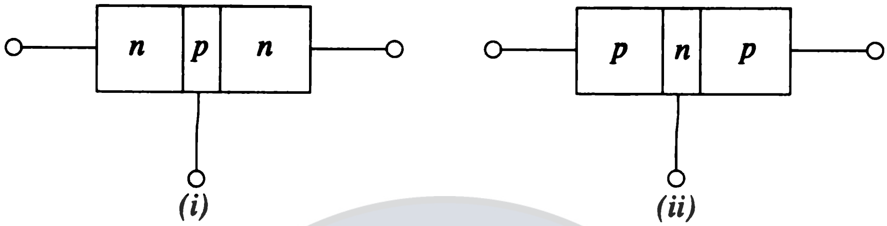
নিঃসারক : ট্রানজিস্টরের এক পাশের অংশ যা আধান সরবরাহ করে তাকে নিঃসারক বলে। নিঃসারককে পীঠের সাপেক্ষে সর্বদা সম্মুখী বায়াসে সংযোগ দেওয়া হয় (চিত্র : ১০.২০)।



চিত্র : ১০.২০

সংগ্রাহক : ট্রানজিস্টরের অন্যপাশের অংশ যা আধান সংগ্রহ করে তাকে সংগ্রাহক বলে। সংগ্রাহককে সর্বদা বিমুখী বায়াসে সংযোগ দেওয়া হয় (চিত্র : ১০.২০)।

পীঠ বা ভূমি : নিঃসারক ও সংগ্রাহকের মাঝের অংশকে পীঠ বা ভূমি বলা হয়। ট্রানজিস্টরের পীঠ-নিঃসারক জংশন সম্মুখী বায়াস প্রদান করা হয় যাতে করে নিঃসারক বর্তনীর রোধ কম হয়। সংগ্রাহক বর্তনীর রোধ বৃদ্ধিকল্পে পীঠ-সংগ্রাহক জংশনে বিমুখী বায়াস প্রদান করা হয়।



চিত্র : ১০.২১

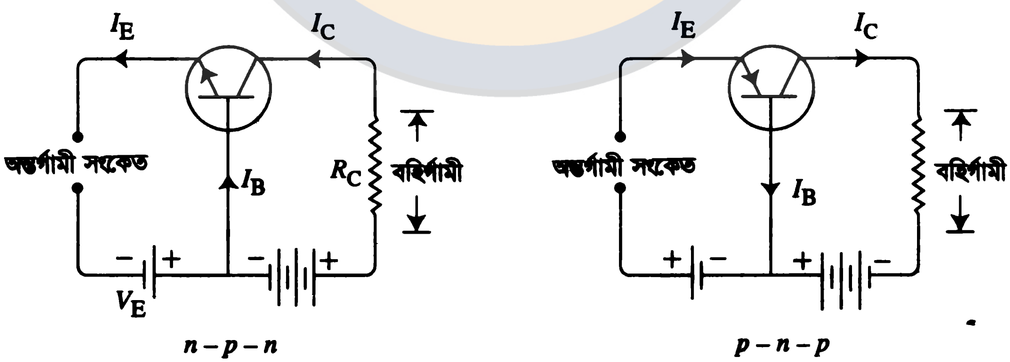
ট্রানজিস্টরের পীঠ নিঃসারকের তুলনায় খুবই পাতলা হয়। পক্ষান্তরে, সংগ্রাহক নিঃসারকের তুলনায় প্রশস্ত হয় চিত্র (১০·২১)। তবে আঁকার সুবিধার্থে নিঃসারক ও সংগ্রাহককে সমান আকৃতির দেখানো হয়ে থাকে (চিত্র ১০·১৯)। (১০·১৯) চিত্রে বর্তনীতে ব্যবহৃত ট্রানজিস্টরের প্রতীক দেখানো হয়েছে।

১০·১১। ট্রানজিস্টর বর্তনীর মৌলিক বিন্যাস

Basic Configuration of Transistor Circuits

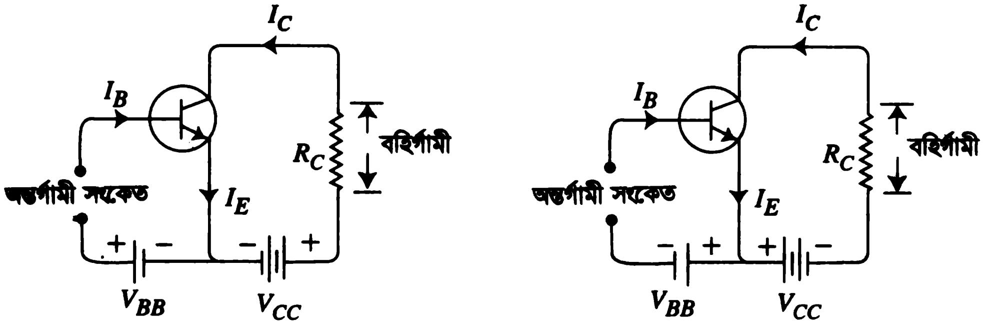
বর্তনীর প্রয়োজন অনুসারে তিন প্রকারের ট্রানজিস্টর বিন্যাস করা হয়।

১. সাধারণ পীঠ (common base) বিন্যাস : এই বিন্যাসে পীঠ ও সংগ্রাহক নিয়ে বহির্গামী এবং পীঠ ও নিঃসারক নিয়ে অন্তর্গামী প্রান্ত গঠিত হয়। উভয় প্রান্তের সাথে পীঠ সংযুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ পীঠ বিন্যাস বলে (চিত্র ১০·২২)।



চিত্র : ১০.২২

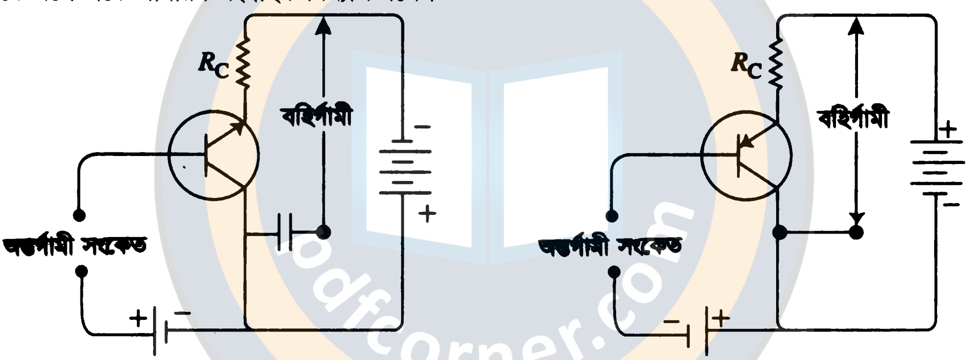
২. সাধারণ নিঃসারক (common emitter) বিন্যাস : এই বিন্যাসে নিঃসারক ও সংগ্রাহক নিয়ে বহির্গামী এবং নিঃসারক ও পীঠ নিয়ে অন্তর্গামী প্রান্ত গঠিত (চিত্র ১০·২৩)। উভয় প্রান্তের সাথে নিঃসারক সংযুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ নিঃসারক বিন্যাস বলে।



$n-p-n$ $p-n-p$

চিত্র : ১০.২৩

৩. সাধারণ সংগ্রাহক (common collector) বিন্যাস : এই বিন্যাসে সংগ্রাহক ও নিঃসারক নিয়ে বহির্গামী এবং সংগ্রাহক ও পীঠ নিয়ে অন্তর্গামী প্রান্ত গঠিত হয় (চিত্র ১০·২৪)। এ ক্ষেত্রে উভয় প্রান্তের সাথে সংগ্রাহক যুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ সংগ্রাহক বিন্যাস বলে।

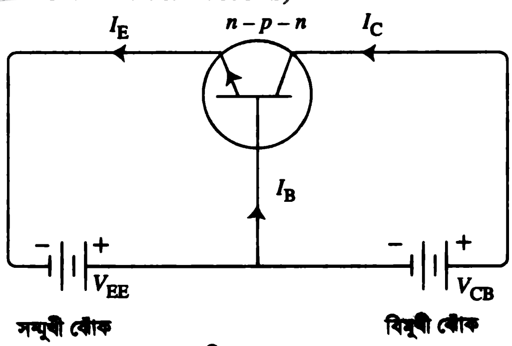


(ক) $n-p-n$ (খ) $p-n-p$

চিত্র : ১০.২৪

pdfcorner.com

১০·১২। ট্রানজিস্টরে তড়িতের প্রবাহ (Current Flow in Transistors)



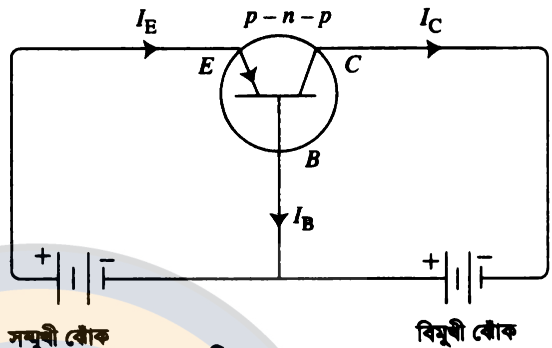
চিত্র : ১০.২৫

চিত্র ১০·২৫-এ একটি *npn* ট্রানজিস্টর দেখানো হয়েছে যার নিঃসারক-পীঠ জংশনকে সম্মুখী এবং সংগ্রাহক-পীঠ জংশনকে বিমুখী বায়াস করা হয়েছে। সম্মুখী বায়াস *n*-অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলোকে পীঠের দিকে প্রবাহিত করে ফলে নিঃসরক প্রবাহ I_E সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনগুলো *p*-টাইপ পীঠে প্রবেশ করার ফলে তারা সেখানকার হোল-এর সাথে মিলতে চায়। কিন্তু পীঠ খুব পাতলা হওয়ার কারণে সামান্য কিছু ইলেক্ট্রন (প্রায় 5%) হোল-এর সাথে মিলিত হয়ে খুব ক্ষুদ্র পীঠ প্রবাহ I_B সৃষ্টি করে এবং বাকি ইলেক্ট্রনগুলো (প্রায় 95%) *n*-টাইপ সংগ্রাহক অঞ্চলে প্রবেশ করে এবং সংগ্রাহক প্রবাহ I_C সৃষ্টি করে। এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ নিঃসারক

প্রবাহ সংগ্রাহক বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। সুতরাং দেখা যায় নিঃসরক প্রবাহ হচ্ছে সংগ্রাহক ও পীঠ প্রবাহের সমষ্টির সমান। অর্থাৎ

$$I_E = I_B + I_C \qquad (10.2)$$

(চিত্র ১০·২৬)-তে একটি *pnp* ট্রানজিস্টর দেখানো হয়েছে যার নিঃসারক-পীঠ জংশনকে সম্মুখী এবং সংগ্রাহক-পীঠ জংশনকে বিমুখী বায়াস করা হয়েছে। সম্মুখী বায়াসের ফলে *p*-টাইপ নিঃসারকের হোলগুলো পীঠের দিকে প্রবাহিত হয়ে নিঃসারক প্রবাহ I_E তৈরি করে। হোলগুলো *n*-টাইপ পীঠে প্রবেশ করে সেখানকার ইলেকট্রনগুলোর সাথে মিলতে চায়। কিন্তু পীঠ খুব পাতলা হওয়ার কারণে সামান্য (প্রায় 5%) কিছু হোল ইলেকট্রনের সাথে মিলিত হয়ে খুব সামান্য পীঠ প্রবাহ I_B তৈরি করে।



চিত্র : ১০.২৬

বাকি প্রায় 95% হোল *p*-টাইপ সংগ্রাহক অঞ্চলে প্রবেশ করে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C তৈরি করে। এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ নিঃসারক প্রবাহ সংগ্রাহক বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। লক্ষণীয় যে, *pnp* ট্রানজিস্টরের ভিতরে তড়িৎ প্রবাহ হোল-এর প্রবাহের জন্য হয় কিন্তু বহির্বর্তনীর সংযোগ তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ ইলেকট্রনের জন্যই হয়ে থাকে।

যদিও *npn* ও *pnp* ট্রানজিস্টরের কার্যনীতি একই রকম কিন্তু পার্থক্য এই যে, *npn* ট্রানজিস্টরে তড়িতের বাহক হলো প্রধানত ইলেকট্রন এবং *pnp* ট্রানজিস্টর তড়িতের বাহক হলো হোল।

আমরা জানি যে, ইলেকট্রন অধিক দ্রুত তড়িৎবাহক। তাই উচ্চ কম্পাঙ্কের বর্তনী বা কম্পিউটার বর্তনীতে *npn* ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়। এ সকল বর্তনীতে সিগনালের প্রতি অতি দ্রুত সাড়া দিতে হয়।

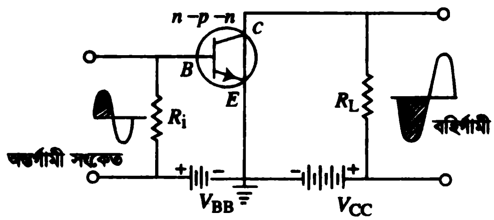
১০·১৩। অ্যাম্পলিফায়ার বা বিবর্ধক হিসেবে ট্রানজিস্টর (Transistor as Amplifier)

যে যন্ত্র এর অন্তর্গামীতে প্রদত্ত সংকেত বহির্গামীতে বিবর্ধিত করে তাকে অ্যাম্পলিফায়ার বলে। ইলেকট্রনিক অ্যাম্পলিফায়ার দুর্বল অন্তর্গামী সংকেতকে বৃহৎ বহির্গামী সংকেতে পরিণত করে। ট্রানজিস্টর অ্যাম্পলিফায়ার হিসেবে ব্যবহৃত হয়। ১০·২৭ চিত্রে একটি সাধারণ নিঃসারক বিবর্ধকের বর্তনী দেখানো হয়েছে। নিঃসারক-পীঠ জংশনে একটি দুর্বল অন্তর্গামী সংকেত প্রদান করা হয় এবং সংগ্রাহক বর্তনীতে সংযুক্ত রোধ R_L থেকে বহির্গামী সংকেত গ্রহণ করা হয়। ভালো বিবর্ধন বা অ্যাম্পলিফিকেশন পাওয়ার জন্য অন্তর্গামী বর্তনীকে সর্বদা সম্মুখী বায়াস করা হয় এবং তা করার জন্য অন্তর্গামী বর্তনীতে অন্তর্গামী সংকেতের অতিরিক্ত একটি ডি.সি. ভোল্টেজ V_{BB} প্রয়োগ করতে হয় যাকে বায়াস ভোল্টেজ বলে।

সম্মুখী ঝোঁক দেওয়ায় অন্তর্গামী বর্তনীতে রোধ খুব কম হয়। নিঃসারক-সংগ্রাহক বর্তনী অর্থাৎ বহির্গামী বর্তনীতে V_{cc} ব্যাটারির মাধ্যমে বিমুখী ঝোঁক প্রদান করা হয়।

নিঃসারক পীঠ জংশনে প্রযুক্ত সংকেতের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় জংশনের সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায় ফলে অধিক পরিমাণ ইলেকট্রন নিঃসারক থেকে পীঠ-এর মধ্য দিয়ে সংগ্রাহকে প্রবাহিত হয় এবং সংগ্রাহক প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। এই বেড়ে যাওয়া সংগ্রাহক প্রবাহ (I_c) লোড রেজিস্ট্যান্স R_L-এ অধিক পরিমাণ বিভব পতন সৃষ্টি করে।

অর্থাৎ বহির্গামীতে অধিক ভোল্টেজ পাওয়া যায়। সংকেতের ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য নিঃসারক-পীঠ জংশনের সম্মুখী ঝোঁক হ্রাস পায় ফলে সংগ্রাহক প্রবাহও কমে যায়। সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যাওয়ায় বহির্গামী ভোল্টেজও হ্রাস পায় তবে তা' অন্তর্গামী থেকে বেশি হয়। এভাবে ট্রানজিস্টর কোনো দুর্বল সংকেতকে অ্যাম্পলিফাই বা বিবর্ধিত করে।



চিত্র : ১০.২৭

বাস্তবক্ষেত্রে বিবর্ধনের জন্য অনেকগুলো ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়ে থাকে। একটির বহির্গামী অপরটির অন্তর্গামী হিসেবে কাজ করে।

ট্রানজিস্টর অ্যাম্পলিফায়ারকে মাইক, ইন্টারকম, অ্যালার্ম, রেডিও ইত্যাদি ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়।

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক : সাধারণ পীঠ বিন্যাসে অন্তর্গামী প্রবাহ হচ্ছে নিঃসারক প্রবাহ I_E এবং বহির্গামী প্রবাহ হচ্ছে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C। সংগ্রাহক পীঠ ভোল্টেজ V_{CB} ধ্রুব থাকলে I_Cও I_E এর অনুপাতকে বলা হয় প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α। গাণিতিকভাবে,

$$\alpha = \left(\frac{I_C}{I_E}\right)_{V_{CB}} \tag{10.3}$$

প্রবাহ লাভ

সাধারণ নিঃসারক বিন্যাসের বেলায় অন্তর্গামী প্রবাহ হচ্ছে পীঠ প্রবাহ I_B এবং বহির্গামী প্রবাহ হচ্ছে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C, ধ্রুব V_{CE} (সংগ্রাহক নিঃসারক ভোল্টেজের) এর বেলায়, I_C এর পরিবর্তন ΔI_C ও I_B এর পরিবর্তন ΔI_B এর অনুপাতকে বলা হয় প্রবাহ লাভ β। সুতরাং

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \tag{10.4}$$

১০.১৪। সুইচ হিসাবে ট্রানজিস্টর (Transistor as a Switch)

ট্রানজিস্টরে পীঠ বা ভূমি বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ না চললে সংগ্রাহক বর্তনীতে কোনো তড়িৎপ্রবাহ চলে না। সুতরাং ট্রানজিস্টরকে সুইচ হিসাবে ব্যবহার করা যায় যা পীঠ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটিয়ে 'অন' ও 'অফ' করা যেতে পারে। ট্রানজিস্টর ব্যবহার করে বিভিন্ন রকম সুইচ তৈরি করা সম্ভব। এগুলো হলো—

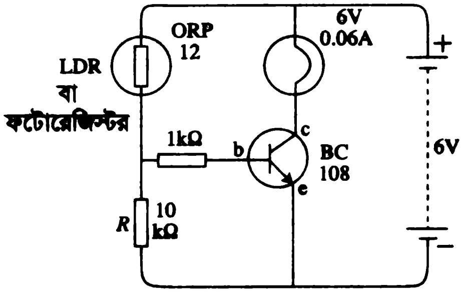
(ক) আলোক চালিত সুইচ (Light operated switch)

(খ) তাপ চালিত সুইচ (Heat operated switch)

(গ) শব্দ চালিত সুইচ (Sound operated switch)

যে রকম সুইচ হিসাবে ব্যবহার করা হোক না কেন বিবর্ধকের মতো পীঠ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের জন্য এতে একটি বিভব বিভাজক ব্যবহার করা হয়। নিচে একটি আলোক চালিত সুইচের কার্যপ্রণালি দেখানো হলো। এই বর্তনীর (চিত্র ১০.২৮) বাল্বটি আলোর উপস্থিতিতে জ্বলে ওঠে এবং অন্ধকারে নিভে যায়।

এখানে বিভব বিভাজকে একটি আলোক নির্ভরশীল রোধক (LDR) বা ফটো রেজিস্টর থাকে। অন্ধকারে এই ফটো রেজিস্টরের রোধ হয় প্রায় 1 MΩ। এর ফলে উৎস ভোল্টেজের খুব সামান্য ভগ্নাংশ R রোধের দুই প্রান্তে পাওয়া যায় এতে করে পীঠ প্রবাহ খুবই সামান্য হয় যা ট্রানজিস্টরকে অন করতে পারে না। উজ্জ্বল আলোতে ফটো রেজিস্টারের রোধ মাত্র কয়েকশ ও'ম হয়। ফলে R এর দুই প্রান্তের ভোল্টেজ বৃদ্ধি পায় এতে করে পীঠ প্রবাহও বৃদ্ধি পায় ফলে ট্রানজিস্টর অন হয় এবং বাল্ব জ্বলে ওঠে।



চিত্র : ১০.২৮ আলোকচালিত সুইচ।

ফটোরেজিস্টর এবং রোধ R এর অবস্থান বিনিময় করলে অন্ধকারে বাল্ব জ্বলে উঠবে এবং আলোতে বাল্ব নিভে যাবে।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১। কোনো ট্রানজিস্টর সাধারণ পীঠ সংযোগে সংযুক্ত। এর নিঃসারক প্রবাহ 0.85 mA এবং পীঠ প্রবাহ 0.05 m A। প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α বের কর।

আমরা জানি যে,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\therefore \alpha = \frac{0.80 \text{ m A}}{0.85 \text{ m A}}$$

$$= 0.94$$

উ: $\alpha = 0.94$

এখানে,

সংগ্রাহক প্রবাহ, $I_C = I_E - I_B$

$= 0.85 \text{ m A} - 0.05 \text{ m A} = 0.80 \text{ m A}$

বিবর্ধন গুণক, $\alpha = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.২। একটি সাধারণ ভূমি ট্রানজিস্টরে সংগ্রাহক প্রবাহ 0.85A এবং ভূমি প্রবাহ 0.05 mA। প্রবাহ বিবর্ধক গুণক α বের কর।

আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

আবার $I_E = I_C + I_B$

$= 0.85\text{A} + 0.05 \times 10^{-3}\text{ A}$

$= 0.85005\text{A}$

$$\therefore \alpha = \frac{0.85 \text{ A}}{0.85005 \text{ A}} = 0.99994$$

উ: $\alpha = 0.99994$

এখানে,

সংগ্রাহক প্রবাহ, $I_C = 0.85$ A

ভূমি প্রবাহ, $I_B = 0.05$ mA

$= 0.05 \times 10^{-3}$A

প্রবাহ বিবর্ধক গুণক, $\alpha = ?$

১০.১৫। নম্বর পদ্ধতি বা সংখ্যা পদ্ধতি (Number System)

১। ডেসিমেল বা দশমিক পদ্ধতি (Decimal System)

আমরা যে সংখ্যা বা নম্বর পদ্ধতির সাথে বেশি পরিচিত তা হলো ডেসিমেল বা দশমিক নম্বর পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে দশ ডিজিট বা অঙ্ক রয়েছে যার মাধ্যমে এই পদ্ধতির সকল সংখ্যা লেখা যায়। এসব ডিজিট হচ্ছে 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9। ডেসিমেল পদ্ধতিতে 9 এর চেয়ে বড় কোনো সংখ্যা লিখতে হলে দুই বা ততোধিক ডেসিমেল

ডিজিট সংযুক্ত করতে হয় বা মিলাতে হয়। উদাহরণ হিসাবে আমরা যদি 9 এর পরবর্তী বড় সংখ্যা দশ লিখতে চাই তাহলে আমাদের এই পদ্ধতির দ্বিতীয় সংখ্যা 1 এর পর প্রথম সংখ্যা 0 লিখতে হয়। অর্থাৎ 10 লিখতে হয়। একভাবে আমরা 11, 12, 13 .... 19 ইত্যাদি লিখতে পারি। 19 এর বড় কোনো সংখ্যা লিখতে আমরা তৃতীয় ডিজিট 2 এর পর প্রথম, দ্বিতীয় তৃতীয়, চতুর্থ ইত্যাদি ডিজিট লিখে 20, 21, 22 ......ইত্যাদি লিখতে হয়। এভাবে আমরা 99 পর্যন্ত লিখে থাকি। 99 এর পরের সংখ্যা লিখতে গেলে আমাদের তিনটি ডিজিট পাশাপাশি লিখতে হয় এবং আমরা একশ লিখি এভাবে 100 অর্থাৎ দ্বিতীয় ডিজিটের পর দুটি প্রথম ডিজিট লিখতে হয়। এভাবে আমরা যত বড় ইচ্ছে সংখ্যা লিখতে পারি। ডেসিমেল পদ্ধতির বেস বা ভিত্তি হলো 10 (দশ)। **কোনো নম্বর পদ্ধতির বেস হলো ঐ নম্বর পদ্ধতির মোট ডিজিট সংখ্যা।** এই পদ্ধতিতে ডিজিট দশটি তাই এর বেস 10।

উদাহরণ : ডেসিমেল পদ্ধতিতে 1967 কে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায়।

$$1967 = 1000 + 900 + 60 + 7$$
$$= 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$
$$0.1967 = 1 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3} + 7 \times 10^{-4}$$

এবং $26.296 = 2 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3}$

২। বাইনারি নম্বর পদ্ধতি (Binary Number System)

বাইনারি নম্বর পদ্ধতিতে কোনো সংখ্যাকে বোঝাতে মাত্র দুটি ডিজিট 0 এবং 1 ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিতে 1 এর বড় কোনো সংখ্যা লিখতে হলে 1 এর পরে 0 বা 1 দিতে হয়। যেমন 2 লিখতে হলে 10 লিখতে হয়। 3 লিখতে হলে 11 হিসাবে। 10 কে পড়তে হয় এক শূন্য (one zero) এবং 11 কে পড়তে হয় এক-এক (one-one)। তিন লেখার পর বাইনারি ডিজিট শেষ হয়ে যায়। সুতরাং এরপর চার লিখতে হলে আমাদের লিখতে হয় দশমিক পদ্ধতিতে যেমন 1 এর পর দুটি শূন্য দিয়ে লেখা হয়। সুতরাং বাইনারি পদ্ধতিতে 4 লিখতে আমাদের দ্বিতীয় ডিজিট 1 এর পর প্রথম ডিজিট 0 দুইবার লিখতে হয়। সুতরাং বাইনারি পদ্ধতিতে 4 (চার) লিখতে হয় 100 হিসাবে। পড়তে হয় এক-শূন্য-শূন্য। 5 সমতুল বাইনারি সংখ্যা হলো 101।

নিচের সারণিতে ডেসিমেল নম্বরের সমতুল্য বাইনারি নম্বর দেখানো হলো।

সারণি 10.1 : ডেসিমেল ও বাইনারি সংখ্যার সমতুল্যতা।

ডেসিমেল নম্বর	বাইনারি নম্বর
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001

বাইনারি সংখ্যায় বেস হলো 2। সুতরাং যে কোনো বাইনারি সংখ্যাকে নিচের মতো ডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ করা যায়।

$$(111)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$
$$= 4 + 2 + 1 = 7$$

সুতরাং $(111)_2 = (7)_{10}$

$$1001 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$= 8 + 0 + + 0 + 1 = 9$

সুতরাং $(1001)_2 = (9)_{10}$

বিট (Bit) : বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির 0 এবং 1 এই দুটি মৌলিক ডিজিটকে বিট বলে।

বাইট (Byte) : আটটি বিটের গ্রুপ নিয়ে গঠিত শব্দকে বাইট বলা হয়। এক বাইট সমান এক ক্যারেক্টর (character.)

8 bit = 1 byte
1024 byte = 1 Kilobyte (KB)
1024 Kilobyte = 1 Megabyte (MB)
1024 Megabyte =1 Gigabyte (GB)

১০.১৬। ডেসিমেল থেকে বাইনারিতে রূপান্তর

Transformation from Decimal to Binary

ডেসিমেল থেকে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর

আমরা জানি ডেসিমেল পদ্ধতির বেস হলো 10 এবং বাইনারি পদ্ধতির বেস হলো 2। ডেসিমেল পদ্ধতি থেকে বাইনারি পদ্ধতিতে রূপান্তরের দুটি ধারা হলো—

(১) ডেসিমেল নম্বরকে 2 দ্বারা বার বার ভাগ করতে হবে যতক্ষণ না ভাগফল শূন্য হয়।

(২) ভাগ শেষ বা অবশিষ্টকে উল্টো দিক থেকে পরপর পাশাপাশি সাজিয়ে বাইনারি নম্বর পাওয়া যাবে।

নিচের উদাহরণটি লক্ষ্য কর।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৩। ডেসিমেল নম্বর 45-কে বাইনারিতে রূপান্তর।

ভাগ	ভাগফল	ভাগশেষ	
45 ÷ 2	22	1	↑
22 ÷ 2	11	0	
11 ÷ 2	5	1	
5 ÷ 2	2	1	
2 ÷ 2	1	0	
1 ÷ 2	0	1	

সমতুল বাইনারি নম্বর হলো অবশিষ্ট সংখ্যাগুলো নিচ থেকে উপরের দিকে অর্থাৎ 101101।

সুতরাং $(45)_{10} = (101101)_2$

গাণিতিক উদাহরণ-১০.৪। $(63)_{10}$ কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

ভাগ	ভাগফল	ভাগশেষ	
63 ÷ 2	31	1	↑
31 ÷ 2	15	1	
15 ÷ 2	7	1	
7 ÷ 2	3	1	
3 ÷ 2	1	1	
1 ÷ 2	0	1	

pdfcorner.com

সমতুল বাইনারি নম্বর হলো 111111

$\therefore (63)_{10} = (111111)_2$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৫। $(0.75)_{10}$ কে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর কর।

কোনো ডেসিমেল নম্বরের ভগ্নাংশকে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর করতে হলে নম্বরটিকে পরপর 2 দ্বারা গুণ করতে হবে। গুণ করে কোনো পূর্ণ সংখ্যা পাওয়া গেলে হাতে রাখতে হবে এবং প্রাপ্ত ভগ্নাংশকে আবার 2 দ্বারা গুণ করতে হবে যতক্ষণ না ভগ্নাংশটি ০ (শূন্য) হয়। একই ভগ্নাংশ দুবার এলে আর গুণ করতে হবে না। এরপর হাতে রাখা পূর্ণসংখ্যা উপর থেকে নিচের দিকে পাশাপাশি সাজাতে হবে। সুতরাং 0.75 এর বাইনারি সমতুল হলো–

```
   0.75
    ×2
  ------
 1 | .50
   |  ×2
  ------
 1 | .00
```

সুতরাং $(0.75)_{10} = (0.11)_2$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৬। 64.30 কে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর কর।

64.30 কে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর করতে হলে পূর্ণসংখ্যা ও ভগ্নাংশ সংখ্যা পৃথক পৃথকভাবে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর করতে হবে।

```
2 | 64                         | .30
  2 | 32 – 0                   |  ×2
    2 | 8 – 0          ------------
      2 | 4 – 0           0    | .60
        2 | 2 – 0              |  ×2
          2 | 1 – 0    ------------
              0 – 1       1    | .20
                               |  ×2
                       ------------
                          0    | .40
                               |  ×2
                       ------------
                          0    | .80
                               |  ×2
                       ------------
                          1    | .60
```

সুতরাং $(64.30)_{10} = (100000.01001)_2$

১০.১৭। বাইনারি নম্বর থেকে ডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর

Transformation of Binary Number to Decimal Number

বাইনারি থেকে ডেসিমেলে রূপান্তর করতে হলে প্রত্যেকটি ডিজিটের স্থানীয় মানকে 2 এর সূচক হিসাবে লিখতে হবে। কোনো ডিজিটের ডান পাশে যতটি ডিজিট থাকবে ডিজিটকে 2 এর তত সূচক দিয়ে গুণ করতে হবে। এভাবে প্রত্যেকটি ডিজিটকে 2 এর সূচক দিয়ে গুণ করে যোগ করে ডেসিমেলের মান পাওয়া যায় এবং ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে 2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3} ইত্যাদি দিয়ে প্রথম থেকে পরপর ক্রমান্বয়ে গুণ করে গুণফলকে যোগ করে ডেসিমেলের মান পাওয়া যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৭। $(101001)_2$ কে ডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর কর।

$$(101001)_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$
$$= 32 + 0 + 8 + 0 + 0 + 1 = 41$$
$$\therefore (101001)_2 = (41)_{10}$$

pdfcorner.com

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৮। $(1010.11)_2 = 1\times 2^3 + 0\times 2^2 + 1\times 2^1 + 0\times 2^0 + 1\times 2^{-1} + 1\times 2^{-2}$

$$= 8 + 0 + 2 + 0 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$$

$$= 8 + 2 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = 10 + \frac{2+1}{4} = 10 + \frac{3}{4}$$

$$= 10 + 0.75 = (10.75)_{10}$$

সুতরাং $(1010.11)_2 = (10.75)_{10}$

১০.১৮। অক্টাল ও হেক্সাডেসিমেল পদ্ধতি (Octal and Hexadecimal System)

দুই অবস্থার (two states) যে কোনো ব্যবস্থার জন্য বাইনারি নম্বর পদ্ধতি অত্যন্ত জনপ্রিয় কিন্তু সমস্যা হলো বাইনারি পদ্ধতিতে প্রতিটি নম্বর বা সংখ্যা অত্যন্ত বড় হয়ে যায়। এ জন্য কোনো কোনো ক্ষেত্রে অক্টাল নম্বর পদ্ধতি ও হেক্সাডেসিমেল নম্বর পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

অক্টাল নম্বর পদ্ধতি (Octal System)

অক্টাল পদ্ধতির বেস হলো ৮ (আট) এবং আটটি ডিজিট হলো 0, 1 2, 3, 4, 5, 6, 7। এরা ডেসিমেল পদ্ধতির মতো একই ভৌত অর্থ বহন করে।

অক্টাল পদ্ধতির সংখ্যাকে ডেসিমেল পদ্ধতিতে রূপান্তর করা যায়। মনে কর আমরা 172 কে অক্টাল থেকে ডেসিমেলে রূপান্তর করতে চাই।

$$(172)_8 = 1\times 8^2 + 7\times 8^1 + 2\times 8^0$$
$$= 64 + 56 + 2$$
$$= (122)_{10}$$

এখন যদি আমরা $(122)_{10}$ কে অক্টালে রূপান্তর করতে চাই তাহলে আমরা নিম্নোক্তভাবে করতে পারি।

ভাগ	ভাগফল	ভাগশেষ	
$122 \div 8$	15	2	↑
$15 \div 8$	1	7	
$1 \div 8$	0	1	

এখানে ভাগশেষ বা অবশিষ্টকে নিচ থেকে ওপরের দিকের পাশাপাশি সাজিয়ে লিখলে অক্টাল সংখ্যা পাওয়া যায়। এখানে অক্টাল সংখ্যা হলো 172 সুতরাং

$$(122)_{10} = (172)_8$$

অক্টাল থেকে বাইনারিতে রূপান্তর করার জন্য তিনটি বিট একত্রিত করে করা হয়। নিচে এরকম রূপান্তর দেখানো হলো—

অক্টাল	বাইনারি
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

হেক্সাডেসিমেল পদ্ধতি (Hexadecimal System)

এই পদ্ধতির ডিজিট হলো 16টি (0–15) এরা হলো–

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 A, B, C, D, E, F এখানে দ্বারা 10–15 ডিজিটকে A, B, C, D, E, F বোঝানো হয়েছে।

পূর্ণসংখ্যার জন্য প্রত্যেক ডিজিটের স্থানীয় মান হলো 16 এর ঊর্ধ্বমুখী সূচক এবং ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে প্রতি ডিজিটের স্থানীয় মান হলো 16 এর নিম্নমুখী সূচক।

নিচের সারণিতে তিন রকম নম্বর বা সংখ্যায় রূপান্তর দেখানো হলো :

সারণি ১০.২

ডেসিমেল নম্বর	হেক্সাডেসিমেল নম্বর	বাইনারি নম্বর	অক্টাল নম্বর
0	0	0000	0
1	1	0001	1
2	2	0010	2
3	3	0011	3
4	4	0100	4
5	5	0101	5
6	6	0110	6
7	7	0111	7
8	8	1000	10
9	9	1001	11
10	A	1010	12
11	B	1011	13
12	C	1100	14
13	D	1101	15
14	E	1110	16
15	F	1111	17

এই ধরনের রূপান্তরে সবচেয়ে কম তাৎপর্যপূর্ণ ডিজিট এর সূচক হলো 16^0 এর পরবর্তী ডিজিটগুলোর সূচক হবে 16^1, 16^2 .... ইত্যাদি।

হেক্সাডেসিমেল নম্বরকে ডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর

এখন আমরা 19E হেক্সাডেসিমেল নম্বরকে ডেসিমেল সংখ্যায় রূপান্তর করব।

$$(19E)_{16} = 1 \times 16^2 + 9 \times 16^1 + 14 \times 16^0 \quad [\text{ যেহেতু } E = 14]$$

$$= 256 + 144 + 14 = 414$$

$$\therefore (19E)_{16} = (414)_{10}$$

এখন আমরা $(414)_{10}$ কে হেক্সাডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর করব।

ভাগ	ভাগফল	ভাগশেষ	
414 ÷ 16	25	14 = E	↑
25 ÷ 16	1	9	
1 ÷ 16	0	1	

$$\therefore (414)_{10} = (19E)_{16}$$

১০.১৯। বাইনারি অপারেশন (Binary Operation)

(ক) বাইনারি সংখ্যার যোগ (Binary Addition)

নিচের চারটি নিয়মে বাইনারি নম্বরের যোগ করা যায়

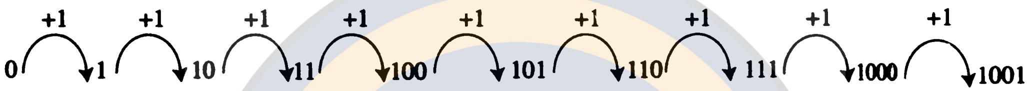
(১) 0 + 0 = 0 অর্থাৎ শূন্যের সঙ্গে শূন্য যোগ করলে শূন্য হয়।

(২) 1 + 0 = 1 অর্থাৎ এক এর সাথে শূন্য যোগ করলে 1 হয়।

(৩) 0 + 1 = 1 অর্থাৎ 0 এর সাথে এক যোগ করলে 1 হয়।

(৪) 1 + 1 = 0 হাতে থাকে 1।

বাইনারি যোগের ক্ষেত্রে ডান দিক থেকে বাম দিকে যোগ হবে এবং হাতের এক বাম দিকের অংকগুলোর সাথে যোগ হবে।



চিত্র : ১০.২৯

এবার আমরা বাইনারি কয়েকটি যোগ করব।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৯। বাইনারি দশমিক সমতুল

$$\begin{array}{r} 1010 \\ +\,0011 \\ \hline 1101 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 10 \\ 3 \\ \hline 13 \end{array}$$

$1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

$= 8 + 4 + 0 + 1 = 13$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১০।

$$\begin{array}{r} 1011 \\ +1001 \\ \hline 10100 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 11 \\ +\,9 \\ \hline 20 \end{array}$$

$10100 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$

$= 16 + 0 + 4 + 0 + 0 = 20$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১১। $(10011)_2$, $(11010)_2$, $(111111)_2$ বাইনারি সংখ্যাগুলো যোগ কর।

$$\begin{array}{r} 10011 \\ +11010 \\ \hline 101101 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 101101 \\ +111111 \\ \hline 1101100 \end{array}$$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১২। বাইনারি সংখ্যা 111.11 এবং 101.10 যোগ কর।

$$\begin{array}{r} 111.11 \\ 101.10 \\ \hline 1101.01 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 7.75 \\ +\,5.50 \\ \hline 13.25 \end{array}$$

$111.11 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

$= 4 + 2 + 1 + .5 + .25 = 7.75$

$101.10 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2}$

$= 4 + 1 + .5 = 5.5$

pdfcorner.com

এখন $1101.01 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

$= 8 + 4 + 1 + .25 = 13.25$

(খ) বাইনারি সংখ্যার বিয়োগ (Binary Subtraction)

বাইনারি সংখ্যায় বিয়োগ নিচের নিয়মগুলো মেনে চলে।

(1) $0 - 0 = 0$

(2) $1 - 0 = 1$

(3) $1 - 1 = 0$

(4) $0 - 1 = 1$ হাতে থাকে 1

এবার নিচের উদাহরণগুলো লক্ষ কর।

```
(1)   1 0 1        (2)   1 0 1 1        (3)   1 1 0 1
     -1 0 0            - 0 1 0 0             -1 0 1 0
     ------            ---------             --------
      0 0 1              0 1 1 1              0 0 1 1
```

(গ) বাইনারি সংখ্যার গুণ (Binary Multiplication)

বাইনারি সংখ্যায় গুণের বেলায় নিচের নিয়মগুলো মেনে চলে।

(1) $0 \times 0 = 0$

(2) $0 \times 1 = 0$

(3) $1 \times 0 = 0$

(4) $1 \times 1 = 1$

বাইনারি সংখ্যার গুণ ডেসিমেল পদ্ধতির গুণের মতো এবং একইভাবে করতে হয়।

```
(1)          1 0 1 1 0 1        (2)       1  0 0.  1
           ×       1 0 1                × 1. 1   1
           -------------                -----------
             1 0 1 1 0 1                .1  0 0  1
           0 0 0 0 0 0 ×              1 0  0 1  ×
         1 0 1 1 0 1 × ×            1 0 0  1 ×
         ---------------            -------------
         1 1 1 0 0 0 0 1            1 1 1. 1 1  1
```

(ঘ) বাইনারি সংখ্যার ভাগ (Binary Division)

বাইনারি সংখ্যার ভাগ দশমিক পদ্ধতির নিয়মেই করা হয়। নিচের উদাহরণগুলো লক্ষ করলেই তা বোঝা যাবে।

```
(1)   10) 1010 (101            (2)   101) 110111 (1011
          10                              101
          ----                            ---
            10                            .0111
            10                              101
          ----                              ---
                                            101
                                            101
                                            ---
```

pdfcorner.com

(3)
```
1000) 11010000 (11010
      1000
      ----
       1010
       1000
       ----
         1000
         1000
```

(4)
```
.101) 110111 (1011
      101
      ---
       111
       101
       ---
        101
        101
```

১০.২০। বুলিয়ান অপারেশন (Boolean Operation)

কম্পিউটার ব্যবস্থার ইলেকট্রনিক সার্কিট বা বর্তনীর কার্যনীতির ভিত্তি হলো জর্জ বুলি (George Boole) আবিষ্কৃত বুলিয়ান বীজগণিতের নীতি। বুলিয়ান বীজগণিত এমন যৌক্তিক বর্ণনা (logical statement) নিয়ে আলোচনা করে যার দুটি মাত্র মান থাকে—হয় সত্যমান (true value) না হয় মিথ্যা মান (false value)। বাইনারি পদ্ধতি অনুযায়ী ডিজিটাল বর্তনী শুধু দুটি অবস্থা 'অন' (ON) এবং 'অফ' (OFF) চিনতে পারে। বুলিয়ান চলক যা যৌক্তিক বর্ণনায় সত্য মানকে (truevalue) কে 1 এবং এর মিথ্যা মানকে 0 দ্বারা নির্দেশ করা হয়। বুলিয়ান বীজগণিতে তিনটি মৌলিক অপারেটর ব্যবহার করা হয় ; এরা হলো (i) OR, (ii) AND, (iii) NOT। বুলিয়ান বীজগণিতে

(i) যোগ চিহ্ন + দ্বারা OR বোঝানো হয়। Y = A + B, এটা পড়তে হয় Y, A অথবা B এর সমান।

(ii) গুণ চিহ্ন (× বা .) দ্বারা AND বোঝানো হয়। Y = A . B, পড়তে হয় Y, A এবং এর B মান সমান।

(iii) বার চিহ্ন (—) দ্বারা NOT বোঝানো হয়। $Y = \bar{A}$, একে Y, NOT A হিসাবে পড়তে হয়, Y এর মান A এর মানের সমান নয়।

১০.২১। লজিক গেট (Logic gate)

লজিক গেট হলো লজিক বর্তনীর নির্মাণের মৌলিক উপাদান। লজিক বর্তনী হলো একটি ডিজিটাল বর্তনী বা সার্কিট। লজিক সার্কিটের ইনপুট বা আন্তর্গামী টার্মিনালের অবস্থা বা শর্ত থেকে আউটপুট বা বহির্গামিতার ভবিষ্যদ্বাণী করা যায়। এই বর্তনীতে ইনপুট ও আউটপুটের মধ্যে যৌক্তিক সম্পর্ক বিদ্যমান। তাই এদের বলা হয় লজিক গেট।

ডিজিটাল সার্কিটে লজিক গেট ব্যবহার করে যৌক্তিক সম্পর্ক স্থাপন করে ইনপুট ভোল্টেজকে আউটপুট ভোল্টেজে রূপান্তর করা হয়। লজিক গেট হলো একটি ডিজিটাল বর্তনী যা বুলিয়ান বীজগণিতের সমীকরণগুলোকে বাস্তবায়িত করে।

লজিক গেটের এক বা একাধিক ইনপুট থাকতে পারে। কিন্তু আউটপুট হবে শুধু একটিই। ইনপুট ও আউটপুটের সম্ভাব্য মানের সম্পর্ককে একটি সারণির মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়। একে বলা হয় ট্রুথ টেবিল (Truth table)। সুতরাং লজিক গেটের ট্রুথ টেবিল হলো সেই সারণি যা লজিক গেটের সকল সম্ভাব্য ইনপুট ও আউটপুট প্রদর্শন করে। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সের তিনটি মৌলিক লজিক গেট হলো (i) OR গেট (ii) AND গেট ও (iii) NOT গেট। এই তিনটি মৌলিক গেটের বিভিন্ন সমবায় বা সংযুক্তির মাধ্যমে তৈরি করা হয় NOR গেট, XOR গেট ও NAND গেট।

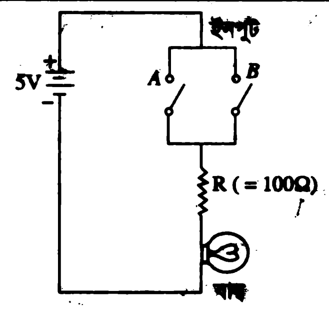
OR গেট (OR Gate)

OR গেটে দুই বা ততোধিক ইনপুট সিগন্যাল থাকে। কিন্তু আউটপুট সিগন্যাল থাকে মাত্র একটি। বড় হাতের অক্ষর A ও B দ্বারা ইনপুট নির্দেশ করা হয় এবং আউটপুট নির্দেশ করা হয় Y দ্বারা। একে OR গেট বলা হয়। কারণ এতে যদি যে কোনো বা সকল ইনপুট ভোল্টেজ উচ্চ থাকে তাহলে আউটপুট ভোল্টেজ উচ্চ হবে।

নিজে কর : ১০.৩০ (ক) চিত্রানুযায়ী একটি বর্তনী তৈরি কর। এখানে দুটি সুইচ A ও B সমান্তরাল সংযোগে রয়েছে। এই সমবায়কে একটি ব্যাটারি, একটি বাল্ব ও একটি রোধের সাথে শ্রেণি সংযোগ যুক্ত করা হয়েছে।

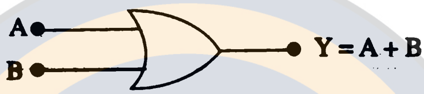
এবার A সুইচটি বন্ধ কর। A সুইচটি খুলে B সুইচটি বন্ধ কর। এবার একসঙ্গে A ও B সুইচটি বন্ধ কর। কী দেখলে?

বাল্বটি তখনই জ্বলে যখন A অথবা B অথবা A ও B উভয় সুইচটি বন্ধ থাকে। এটি OR-গেটের একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ।



চিত্র : ১০.৩০ (ক)

OR গেটের লজিক সঙ্কেত হলো (চিত্র ১০.৩০ খ),



চিত্র : ১০.৩০ (খ)

নিচে OR গেটের একটি ট্রুথ টেবিল দেওয়া হলো

সারণি ১০.৩ (ক) OR গেটের ট্রুথটেবিল

ইনপুট				আউটপুট	
A		B		Y (LED)	
সুইচ	বাইনারি	সুইচ	বাইনারি	আলো	বাইনারি
খোলা	0	খোলা	0	না	0
খোলা	0	বন্ধ	1	হ্যা	1
বন্ধ	1	খোলা	0	হ্যাঁ	1
বন্ধ	1	বন্ধ	1	হ্যাঁ	1

এই টেবিলটিকে ছোট করে এভাবেও লেখা যায়।

সারণি ১০.৩ (খ)

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

পরবর্তীতে ট্রুথ টেবিলগুলো আমরা এভাবেই লিখব।

OR গেট অপারেশনের বুলিয়ান রাশিমালা বা প্রকাশ হলো,

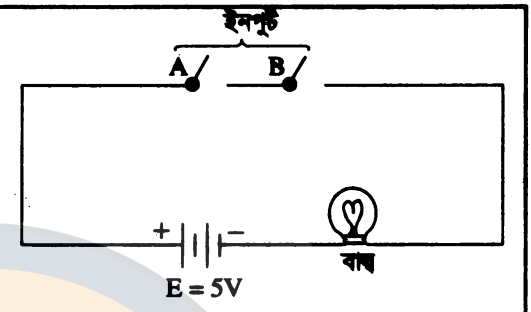
$Y = A + B$

এখানে A, B হলো ইনপুট এবং Y হলো আউটপুট (বহির্গামী) এবং + হলো OR অপারেশন যা যোগের কাজ করে।

AND গেট (The AND Gate)

AND গেটে দুই বা ততোধিক ইনপুট সিগন্যাল থাকতে পারে। কিন্তু আউটপুট সিগন্যাল পাওয়া যাবে শুধু একটি।

নিজে কর : ১০.৩১ (ক) চিত্রানুযায়ী একটি বর্তনী তৈরি কর। এখানে সুইচ A ও B একটি ব্যাটারি ও বাল্বের সাথে শ্রেণি সংযোগে যুক্ত আছে।
(ক) A ও B উভয় সুইচ খুলে দাও। (খ) এবার A সুইচ খুলে B সুইচ বন্ধ কর। (গ) B সুইচ খুলে A সুইচ বন্ধ কর। (ঘ) সুইচ A ও B উভয়ই বন্ধ কর। কী দেখলে?



চিত্র : ১০.৩১ (ক)

প্রথম তিন ক্ষেত্রে বাল্ব জ্বলবে না। শুধুমাত্র বাল্ব জ্বলবে যখন *A* এবং *B* উভয় সুইচই বন্ধ থাকবে। এটি একটি AND-গেট।

AND গেটের ট্রুথ টেবিল হলো (সারণি ১০.৪)

সারণি ১০.৪ : AND গেটের ট্রুথ টেবিল

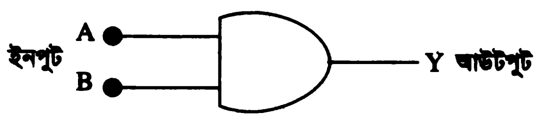
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND গেটের বুলিয়ান প্রকাশ হলো,

$$Y = A . B$$

Y = আউটপুট, A ও B হলো ইনপুট এবং . হলো AND অপারেশন যা গুণের কাজ করে।

AND গেটের লজিকাল সংকেত চিত্র ১০-৩১ (খ)-এ দেখানো হলো—

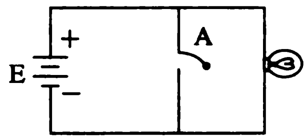


চিত্রঃ ১০.৩১ (খ)

NOT গেট (The NOT Gate)

NOT গেটে একটি ইনপুট ও একটি আউটপুট থাকে। একে ইনভার্টারও বলা হয়। NOT লজিককে *npn* ট্রানজিস্টর দিয়েও কাজ করানো যায়।

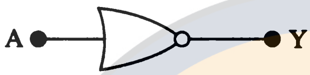
নিজে কর : ১০.৩২ (ক) চিত্রানুযায়ী একটি বর্তনী তৈরি কর। এখানে সুইচটি ব্যাটারি ও বাল্বের সাথে সমান্তরাল সংযোগে রয়েছে। প্রথমে সুইচটি খুলে দাও। এবার সুইচটি বন্ধ কর। কী দেখলে



চিত্র : ১০.৩২ (ক)

প্রথম ক্ষেত্রে বাল্বটি জ্বলবে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বাল্বটি জ্বলবে না। এটি একটি NOT গেট।

NOT গেটের সংকেত এবং ট্রুথ টেবিল হলো—



NOT গেটের সংকেত

চিত্র : ১০.৩২ (খ)

সারণি ১০.৫ : NOT গেটের ট্রুথ টেবিল

ইনপুট	আউটপুট
A	$Y = \overline{A}$
0	1
1	0

NOT গেটের বুলিয়ান প্রকাশ হলো

$$Y = \overline{A}$$

এখানে $\overline{A} = Y$ আউটপুট এর অর্থ $\overline{A}$ $(= Y)$ A এর বিপরীত।

যদি $A = 0, Y = \overline{A}$ হবে 1

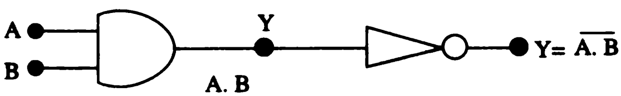
যদি $A = 1, Y = \overline{A}$ হবে 0

১০.২২। গেটের সমবায় (Combination of Gates)

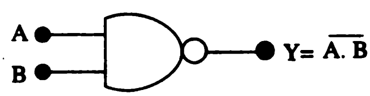
তিনটি মৌলিক গেট OR, AND এবং NOT এর সমবায়ে বিভিন্ন প্রকার জটিল ডিজিটাল বর্তনী তৈরি হয়েছে। এগুলো হলো—

১. NAND গেট।
২. NOR গেট।
৩. X OR গেট।
৪. X NOR গেট।

১. NAND গেট : AND গেটের আউটপুটে Y′ কে, NOT গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NAND গেট পাওয়া যায় [চিত্র ১০.৩৩ (ক)]। NAND গেট লজিক সংকেত [চিত্র ১০.৩৩ (খ)] তে দেখানো হয়েছে।



চিত্র : ১০.৩৩ (ক)



চিত্র : ১০.৩৩ (খ)

pdfcorner.com

AND এবং NOT গেটের ট্রুথ টেবিলকে একত্রিত করে NAND গেটের ট্রুথ টেবিল পাওয়া যায় সারণি ১০.৬(ক)। যা সারণি ১০.৬ (খ) তে প্রদত্ত ট্রুথ টেবিলের সমতুল্য।

সারণি ১০.৬ (ক)

AND			NAND
A	B	Y′	Y
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

সারণি ১০.৬ (খ)

A	B	Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

NAND গেটের বুলিয়ান প্রকাশ হলো–

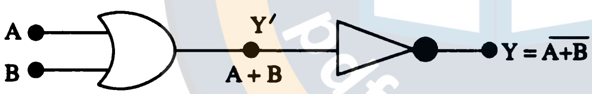
$Y = \overline{A \,.\, B}$

যার অর্থ হলো Y, A এবং B এর বিপরীত। A এবং B নয়।

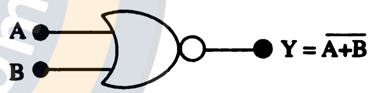
মনে রেখ AND গেটের আউটপুটকে উল্টালে NAND গেটের আউটপুট পাওয়া যায়।

২. **NOR গেট :** OR গেটের আউটপুট Y′ কে NOT গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NOR গেট পাওয়া যায় (চিত্র ১০.৩৪ক.)। NOR গেটে লজিক সংকেত চিত্র ১০.৩৪ খ তে দেওয়া হলো।

OR গেট ও NOT গেটের ট্রুথ টেবিলকে একত্রিত NOR গেটের ট্রুথ টেবিল পাওয়া যায়। সারণি করে ১০.৭ (ক) ও ১০.৭ (খ) তে যথাক্রমে সংযুক্ত ও পৃথক ট্রুথ টেবিল দেখানো হলো–



চিত্র : ১০.৩৪ (ক)



চিত্র : ১০.৩৪ (খ)

সারণি ১০.৭ (ক)

		OR	NOT
A	B	Y′	Y
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

সারণি ১০.৭ (খ) NOR গেটের ট্রুথ টেবিল

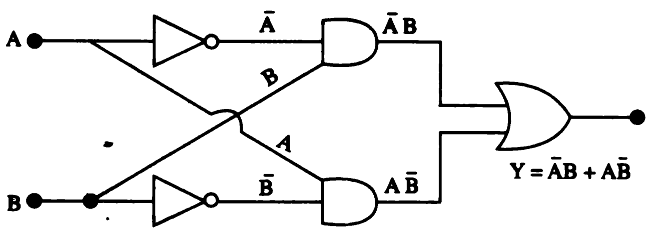
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

NOR গেটের বুলিয়ান রাশিমালা বা প্রকাশ হলো :

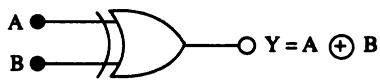
$Y = \overline{A + B}$

এর অর্থ হলো Y, A অথবা B নয়, যা A ও B এর বিপরীত।

৩. **X OR গেট :** OR গেট, AND গেট এবং NOT গেট সংযুক্ত করে XOR গেট পাওয়া যায় (চিত্র ১০.৩৫ ক)। এর লজিক সংকেত চিত্র ১০.৩৫খ তে দেওয়া হলো–



চিত্র : ১০.৩৫ (ক)



চিত্র : ১০.৩৫ (খ)

XOR গেটের আউটপুট তখনই 1 হবে যখন আউটপুট শুধুই পৃথক হবে। এই গেটের ট্রুথ টেবিল নিচে দেওয়া হলো—

এই বর্তনী ইলেকট্রনিক বর্তনীতে প্রায়শই ব্যবহৃত হয় বলে একে এক্সক্লুসিভ (exclusive) OR গেট বলা হয়।

সারণি ১০.৮ : X OR গেটের ট্রুথ টেবিল

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

৪. X NOR গেট : X NOR গেটের সাথে NOT গেট যোগ করে X NOR গেট পাওয়া যায়, যার লজিক সংকেত (চিত্র ১০.৩৬) ও ট্রুথ টেবিল (সারণি ১০.৯) নিচে দেওয়া হলো–

চিত্র : ১০.৩৬

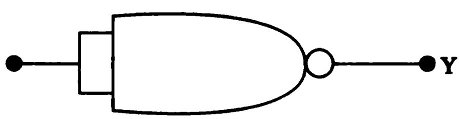
সারণি ১০.৯ : X NOR গেটের ট্রুথ টেবিল

		Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND গেট থেকে অন্যান্য গেট

NAND গেট থেকে বিভিন্ন সংযোগের মাধ্যমে NOT গেট, AND গেট ও OR গেট পেতে পারি।

(ক) NAND গেট ব্যবহার করে NOT গেট : NAND গেটের দুটি ইনপুটকে সংযুক্ত করে একটিতে রূপান্তরিত করে NOT গেট পাওয়া যায়। NAND গেটের জন্য ট্রুথ টেবিল তৈরি করে এর ট্রুথ টেবিল পাওয়া যায়। নিচে এই গেটের লজিক সঙ্কেত (চিত্র ১০.৩৭) ও ট্রুথ টেবিল (সারণি ১০.১০) দেওয়া হলো :



চিত্র : ১০.৩৭

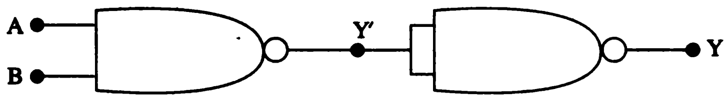
সারণি ১০.১০ NAND গেটের ট্রুথ টেবিল

A	B = A	Y
0	0	1
1	1	0

pdfcorner.com

(খ) NAND গেট ব্যবহার করে AND গেট

NAND গেটের আউটপুটকে NAND গেট থেকে তৈরি NOT গেটের ইনপুটের সাথে যুক্ত করে AND গেট পাওয়া যায়। নিচের চিত্রে (১০.৩৮) এ রকম একটি AND গেট দেখানো হলো। এই গেটের ট্রুথ টেবিল ১০.১১ সারণিতে দেওয়া হলো।



চিত্র : ১০.৩৮

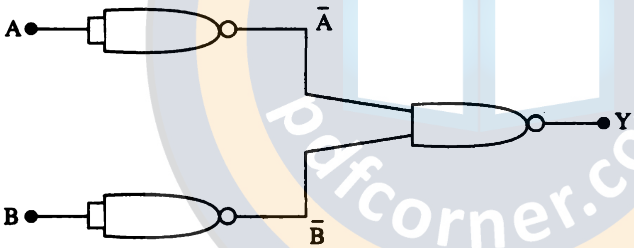
এই গেটের ট্রুথ টেবিল হলো–

সারণি : ১০.১১

A	B	Y'	Y
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

(গ) NAND গেট ব্যবহার করে OR গেট

A ও B ইনপুটদ্বয়কে NAND গেট থেকে তৈরি দুটি পৃথক NOT গেটের সাথে সংযুক্ত কর এবং ইনপুটকে বিপরীত করে $\bar{A}$ ও $\bar{B}$ করো। এই বিপরীত আউটপুট দুটিকে NAND গেটের আউটপুটে সংযুক্ত করো (চিত্র ১০.৩৯) এবং ট্রুথ টেবিল তৈরি কর। দেখা যায় যে, সংযুক্ত বর্তনীয় আউটপুট ও OR গেটের আউটপুট একই।



চিত্র : ১০.৩৯

ট্রুথ টেবিল সারণি ১০.১২

A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	Y
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

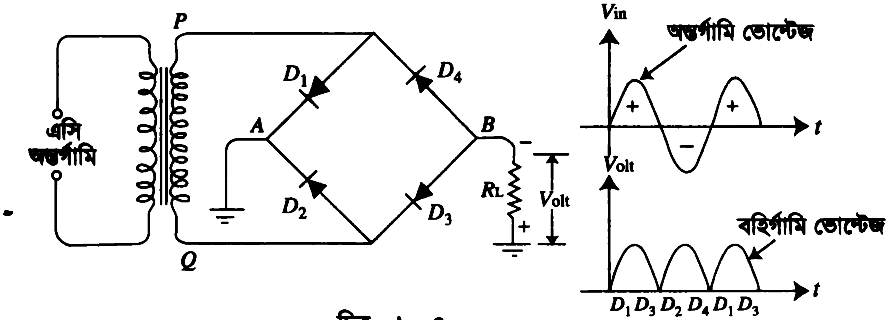
১০.২৩। ব্যবহারিক (Practical)

পরীক্ষণের নাম :	ডায়োডের পূর্ণ ব্রিজ ব্যবহার করে একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহকে
পিরিয়ড : ২	একমুখী প্রবাহে রূপান্তর।

মূলতত্ত্ব (Theory) : বেশিরভাগ ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি বা বর্তনী পরিচালনার জন্য নিরবচ্ছিন্ন একমুখী প্রবাহ বা ডিসি প্রবাহ প্রয়োজন হয়। ব্যাটারি বা শুষ্ক কোষই হচ্ছে ডিসি প্রবাহের প্রধান উৎস। কিন্তু এদের ভোল্টেজ বেশ কম এবং এগুলো প্রায়ই পরিবর্তন করতে হয় বলে বেশ ব্যয়বহুল। এ কারণে আমরা যদি আমাদের বৈদ্যুতিক লাইনের এসি ভোল্টেজকে ডিসি ভোল্টেজ-এ রূপান্তরিত করতে পারি তাহলে তা ব্যবহারে যেমন সুবিধাজনক হয় তেমনি সাশ্রয়ীও হয়। এসি ভোল্টেজকে ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তর করার পদ্ধতিকে বলা হয় রেকটিফিকেশন বা একমুখীকরণ।

যন্ত্রপাতি : ট্রান্সফর্মার, চারটি ডায়োড, লোড রেজিস্ট্যান্স, ডি.সি. ভোল্টমিটার, সংযোগকারী তার ও প্রজেক্ট বোর্ড।

pdfcorner.com



চিত্র : ১০.৪০

বর্তনী সংযোগ : ডায়োডের পূর্ণ ব্রিজ রেকটিফায়ার তৈরি করার জন্য প্রয়োজন হয় চারটি ডায়োড। D_1, D_2, D_3 এবং D_4 ডায়োড চারটি দিয়ে ১০.৪০ চিত্রের ন্যায় একটি ব্রিজ গঠন করা হয়। যে এসি উৎসকে রেকটিফাই বা একমুখী করতে হবে সেটি একটি ট্রান্সফর্মারের মাধ্যমে ব্রিজের দুই বিপরীত কৌণিক বিন্দুতে চিত্রানুযায়ী সংযোগ দেওয়া হয়। ব্রিজের অন্য দুটি কৌণিক বিন্দুতে ভূসংযুক্তির মাধ্যমে লোড রেজিস্ট্যান্স, R_L সংযুক্ত করা হয়।

কার্যনীতি (Working Principle) : পূর্ণ ব্রিজ রেকটিফায়ারে এসি অন্তর্গামী উৎসের দুই চক্রই কাজে লাগানো হয়। গৌণ ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য ট্রান্সফর্মারের P প্রান্ত ধনাত্মক এবং Q প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। ফলে D_1 ও D_3 ডায়োড সম্মুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং D_2 ও D_4 ডায়োড বিমুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং শুধুমাত্র D_1 ও D_3 ডায়োডের মধ্য তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এই ডায়োড দুটি লোড রেজিস্ট্যান্স R_L এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত হবে এবং তড়িৎ প্রবাহ A থেকে লোড রেজিস্ট্যান্সের মধ্য দিয়ে B এর দিকে প্রবাহিত হবে। R_L এর দুই প্রান্তে ডিসি বহির্গামী পাওয়া যাবে।

গৌণ কুণ্ডলীর ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য P প্রান্ত ঋণাত্মক এবং Q প্রান্ত ধনাত্মক হয়। ফলে D_2 ও D_4 ডায়োড সম্মুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং D_1 ও D_3 ডায়োড বিমুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং শুধুমাত্র D_2 ও D_4 ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এই দুটি ডায়োড লোড রেজিস্ট্যান্স R_L এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত হবে এবং তড়িৎ A থেকে লোড রেজিস্টান্সর R_L এর মধ্য দিয়ে B এর দিকে প্রবাহিত হবে। R_L এর দুই প্রান্তে ডিসি বহির্গামী পাওয়া যাবে।

পর্যবেক্ষণ : লোড রেজিস্ট্যান্সের দুইপ্রান্তে ডি.সি. ভোল্টমিটার সংযোগ দিলে ডি.সি. ভোল্টেজ পাওয়া যাবে।

ফলাফল : এ.সি. উৎস থেকে পাওয়া এ.সি. ভোল্টেজ কে ডি.সি. ভোল্টেজে রূপান্তরিত করা হলো।

সর্তকতা :

১. বর্তনী সংযোগ সতর্কতার সাথে করতে হবে।

২. ডায়োডগুলো সঠিকভাবে সংযুক্ত করতে হবে।

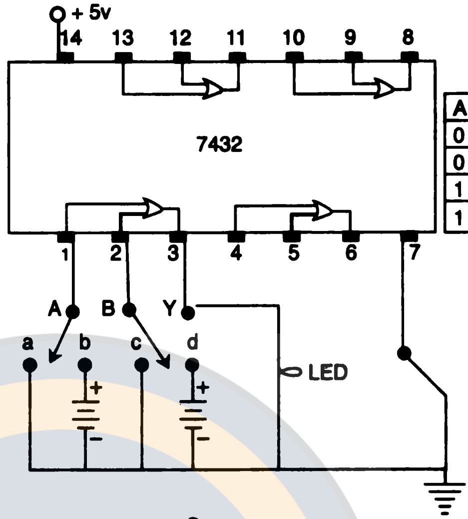
৩. ডি.সি. ভোল্টমিটারের সাহায্যে লোড রেজিস্ট্যান্সের দুপ্রান্তের ভোল্টেজ মাপতে হবে।

পরীক্ষণের নাম :	সমন্বিত বর্তনী ব্যবহার করে OR গেট বর্তনীর কার্যক্রম
পিরিয়ড : ১	(ট্রুথ টেবিল) যাচাই।

তত্ত্ব : যে বিশেষ ইলেকট্রনিক বর্তনী দ্বারা বুলিয়ান অ্যালজেবরা বাস্তবায়ন করা যায় তাকে লজিক গেট বলে। যে লজিক গেট এর দুই বা দুইয়ের অধিক ইনপুট কিন্তু একটি মাত্র আউটপুট থাকে এবং এর যে কোনো একটি ইনপুট উচ্চ বিভব হলেই আউটপুট উচ্চ বিভব হয়, তাছাড়া অন্য ক্ষেত্রে আউটপুট বিভব নিম্ন হয়, তাকে OR গেট বলে। OR গেটের ইনপুট A এবং B এবং আউটপুট Y হলে, $Y = A + B$।

যন্ত্রপাতি : ডিজিটাল ট্রেনার বোর্ড, IC(7432), সংযোগ তার, একটি LED, 5V পাওয়ার সাপ্লাই ইত্যাদি।

বর্তনী সংযোগ : OR গেটের IC(7432) চিত্র এবং ট্রুথ টেবিল ১০.৪১ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। OR গেটের IC (7432)-তে দুই প্রতিপার্শ্বে 7টি করে ইনপুটবিশিষ্ট চারটি OR গেট সংযুক্ত থাকে (চিত্র ১০.৪১)। এতে মোট 14টি পিন থাকে। 14 নং পিনের সাথে +5V এবং 7 নং পিন ভূমির সাথে সংযুক্ত করা হয়। প্রথম OR গেটের ইনপুট 1নং ও 2নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 3নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। দ্বিতীয় OR গেটের ইনপুট 4 ও 5 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 6নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। তৃতীয় OR গেটের ইনপুট 9 নং ও 10 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 8নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। এভাবে চতুর্থ OR গেটের ইনপুট 12 ও 13 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 11 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। আমরা এখানে কেবলমাত্র প্রথম OR-গেটটি ব্যবহার করব।



ট্রুথ টেবিল

A	B	Y= A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

চিত্র : ১০.৪১

কাজের ধারা :

১. ১০.৪১ নং চিত্রের ন্যায় IC- এর 7 নং পিন ভূমির সাথে এবং 14 নং পিন +5V এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। চিত্রের a ও c বিন্দুদ্বয় ভূমি এবং b ও d বিন্দুদ্বয় +5V এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। আউটপুটের সাথে একটি LED-এবং সংযোগ দেওয়া বের হয়। এখন ইনপুট A ও B যথাক্রমে a ও c এর সাথে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটদ্বয়ে শূন্য বিভব প্রয়োগ করা হয়। এই অবস্থায় আউটপুটে সংযুক্ত LED জ্বলে না অর্থাৎ আউটপুটের বিভবও শূন্য। এক্ষেত্রে লজিক অবস্থা A = 0, B = 0 এবং Y = 0।

২. এবার ইনপুট A ও B যথাক্রমে a ও b বা b ও c-এর সাথে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটদ্বয়ে যথাক্রমে শূন্য বিভব এবং উচ্চ বিভব বা উচ্চবিভব ও শূন্য বিভব প্রয়োগ করা হয়। উভয় ক্ষেত্রেই আউটপুটের LED জ্বলবে। অর্থাৎ লজিক অবস্থা হবে A = 0, B = 1 এবং Y = 1 অথবা A = 1, B = 0 এবং Y = 1।

৩. এবার ইনপুট A ও B যথাক্রমে b ও d-এর সাথে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটে উচ্চ বিভব প্রয়োগ করা হয়। এ অবস্থায়ও LED জ্বলবে।

এক্ষেত্রে লজিক অবস্থা হবে, A = 1, B = 1 এবং Y = 1

পর্যবেক্ষণ :

OR- গেট কার্যক্রম

A	B	Y = A + B
নিম্ন	নিম্ন	LED জ্বলে না
নিম্ন	উচ্চ	LED জ্বলে
উচ্চ	নিম্ন	LED জ্বলে
উচ্চ	উচ্চ	LED জ্বলে

ট্রুথ টেবিল

A	B	Y = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ফলাফল : OR গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই করা হলো।

সতর্কতা :

১. ট্রেনার বোর্ডে সকল সংযোগ সতর্কতার সাথে দৃঢ়ভাবে বসাতে হবে।

২. IC বসানোর সময় খেয়াল রাখতে হবে যেন IC'র পিন বেঁকে বা ভেঙ্গে না যায়।

৩. পাওয়ার সাপ্লাই থেকে প্রযুক্ত বিভব যাতে +5V এর বেশি না হয় সেদিকে খেয়াল রাখতে হবে।

পরীক্ষণের নাম :	সমন্বিত বর্তনী ব্যবহার করে AND গেট বর্তনীর কার্যক্রম
পিরিয়ড : ১	(ট্রুথ টেবিল) যাচাই।

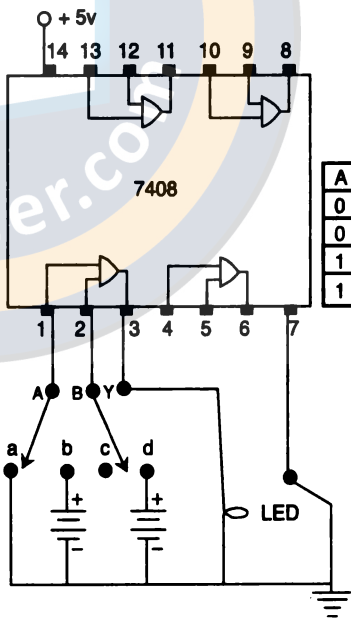
তত্ত্ব : যে বিশেষ ইলেকট্রনিক বর্তনী দ্বারা বুলিয়ান এ্যালজেবরা বাস্তবায়ন করা যায় তাকে লজিক গেট বলে। যে লজিক গেটে দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকে, কিন্তু আউটপুট পাওয়া যাবে শুধু একটি এবং এর দুই ইনপুটে যখন উচ্চ বিভব থাকে, তখন আউটপুটে উচ্চ বিভব থাকবে। তাছাড়া অন্য ক্ষেত্রে আউটপুট বিভব নিম্ন হবে তাকে AND গেট বলে। AND গেটের ইনপুট A ও B হলে এবং আউটপুট Y হলে Y= A.B.

যন্ত্রপাতি : ডিজিটাল ট্রেনার বোর্ড, IC (7408), সংযোগ তার, একটি LED এবং 5V পাওয়ার সাপ্লাই ইত্যাদি।

বর্তনী সংযোগ : AND-গেটের IC (7408) চিত্র এবং ট্রুথ টেবিল ১০.৪২ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। AND-গেটের IC (7408)-তে দুই ইনপুটবিশিষ্ট চারটি AND-গেট সংযুক্ত থাকে। (চিত্র ১০.৪২)। প্রতি পার্শ্বে 7টি করে এতে মোট 14টি পিন থাকে। 14নং পিনের সাথে +5V এবং 7নং পিন্ ভূমির সাথে সংযুক্ত করা হয়। প্রথম AND-গেটের ইনপুট 1 নং এবং 2নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 3 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। দ্বিতীয় AND গেটের ইনপুট 4 এবং 5 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 6 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। তৃতীয় AND গেটের ইনপুট 9 নং 10 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 8 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। এভাবে চতুর্থ AND গেটের ইনপুট 12 ও 13 নং পিনের সাথে এবং আউটপুট 11 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। আমরা এখানে কেবলমাত্র প্রথম AND গেটটি ব্যবহার করব।

কাজের ধারা :

১. ১০.৪২ নং চিত্রের ন্যায় IC-এর 7 নং পিন ভূমির সাথে এবং 14নং পিন + 5V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের সাথে সংযুক্ত করা হয়। চিত্রের a ও c বিন্দুদ্বয় ভূমি এবং b ও d বিন্দুদ্বয় +5V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের সাথে সংযুক্ত করা হয়। আউটপুট-এর সাথে একটি LED এর সংযোগ দেওয়া হয়। এখন ইনপুট A ও B যথাক্রমে a ও c এর সাথে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটদ্বয়ে শূন্য বিভব প্রয়োগ করা হয়। এই অবস্থায় আউটপুটে সংযুক্ত LED জ্বলো না। অর্থাৎ আউটপুটের বিভবও শূন্য। এক্ষেত্রে লজিক অবস্থা A = 0, B = 0 এবং Y = 0।



ট্রুথ টেবিল

A	B	Y= AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

চিত্র : ১০.৪২

২. এবার ইনপুট A ও B যথাক্রমে a ও d বা b ও c এর সাথে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটদ্বয়ে যথাক্রমে শূন্য বিভব এবং উচ্চবিভব বা উচ্চ বিভব ও শূন্য বিভব প্রয়োগ করা হয়। উভয় ক্ষেত্রেই আউটপুটের LED জ্বলবে না। অর্থাৎ লজিক অবস্থা হবে A = 0, B = 1 এবং Y = 0 অথবা, A = 1, B = 0 এবং Y = 0।

৩. এবার ইনপুট A ও B যথাক্রমে b ও d এর সাথে স্পর্শ করিয়ে উভয় ইনপুটে উচ্চবিভব প্রয়োগ করা হয়। এ অবস্থায় আউটপুটের LED জ্বলবে। এক্ষেত্রে লজিক অবস্থা হবে A = 1, B = 1, Y = 1।

Pdfcorner.com

পর্যবেক্ষণ :

AND কার্যক্রম

A	B	Y = A.B
নিম্ন	নিম্ন	LED জ্বলে না
নিম্ন	উচ্চ	LED জ্বলে না
উচ্চ	নিম্ন	LED জ্বলে না
উচ্চ	উচ্চ	LED জ্বলে

ট্রুথ টেবিল

A	B	Y = A.B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ফলাফল : AND গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই করা হলো।

সতর্কতা : OR গেটের পরীক্ষার অনুরূপ।

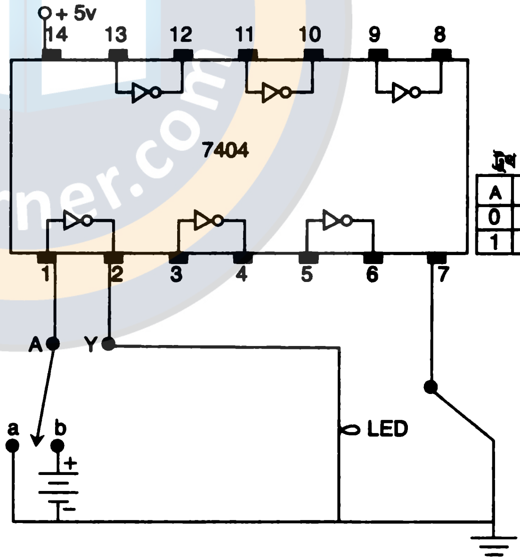
পরীক্ষণের নাম :	সমন্বিত বর্তনী ব্যবহার করে NOT গেট বর্তনীর কার্যক্রম (ট্রুথ টেবিল) যাচাই।
পিরিয়ড : ১	

তত্ত্ব : যে বিশেষ ইলেকট্রনিক বর্তনী দ্বারা বুলিয়ান এ্যালজেবরা বাস্তবায়ন করা যায় তাকে লজিক গেট বলে। যে লজিক গেটে একটি মাত্র ইনপুট ও একটি মাত্র আউটপুট থাকে এবং ইনপুটে উচ্চ বিভব প্রয়োগে আউটপুটে নিম্ন বিভব এবং ইনপুটে নিম্নবিভব প্রয়োগ করলে আউটপুটে উচ্চবিভব পাওয়া যায় তাকে NOT গেট বা ইনভার্টার বলে।

NOT গেটের ইনপুট A এবং আউটপুট Y হলে, $Y = \bar{A}$।

যন্ত্রপাতি : ডিজিটাল ট্রেনার বোর্ড, IC (7404), সংযোগ তার, একটি LED, 5V পাওয়ার সাপ্লাই ইত্যাদি।

বর্তনী সংযোগ : NOT গেটের IC (7404)-এবং ট্রুথ টেবিল ১০.৪৩ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। NOT গেটের IC (7404)-তে ছয়টি NOT গেট সংযুক্ত থাকে (চিত্র ১০.৪৩)। প্রতি পার্শ্বে 7টি করে এতে মোট 14টি পিন থাকে। 14নং পিনের সাথে +5V পাওয়ার সাপ্লাই এবং 7 নং পিন ভূমির সাথে সংযুক্ত করা হয়। এর ইনপুটসমূহ যথাক্রমে 1, 3, 5, 9, 11 এবং 13 নং পিনের সাথে এবং আউটপুটসমূহ 2, 4, 6, 8, 10 এবং 12 নং পিনের সাথে সংযুক্ত থাকে। এখানে আমরা শুধু ইনপুট পিন 1 এবং আউটপুট পিন 2 ব্যবহার করব। আউটপুট পিন 2 এর সাথে একটি LED সংযুক্ত থাকে।



ট্রুথ টেবিল

A	$Y = \bar{A}$
0	1
1	0

চিত্র : ১০.৪৩

কাজের ধারা :

১. ১০.৪৩ নং চিত্রের ন্যায় IC-এর 7 নং পিন ভূমির সাথে এবং 14নং পিন +5V পাওয়ার সাপ্লাইয়ের সাথে সংযুক্ত করা হয়। ১০.৪৩ চিত্রের a বিন্দু ভূমি এবং b +5V পাওয়ার সংযুক্ত করা হয়। ইনপুট A-কে a বিন্দুতে স্পর্শ করিয়ে শূন্য বিভব প্রয়োগ করা হয়। এ অবস্থায় আউটপুটের সাথে সংযুক্ত LED জ্বলে ওঠে।

এক্ষেত্রে লজিক অবস্থা হচ্ছে A = 0, Y = 1।

২. এবার ইনপুট A কে b বিন্দুতে স্পর্শ করিয়ে ইনপুটে +5V বিভব প্রয়োগ করা হয়। এ অবস্থায় LED জ্বলে না। অর্থাৎ A = 1, Y = 0।

পর্যবেক্ষণ :

NOT গেট কার্যক্রম

A	Y
নিম্ন	LED জ্বলে না।
উচ্চ	LED জ্বলে না।

ট্রুথ টেবিল

A	Y
0	1
1	0

ফলাফল : NOT গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই করা হলো।

সতর্কতা : OR গেটের পরীক্ষার সতর্কতার অনুরূপ।

সার-সংক্ষেপ

শক্তি ব্যান্ড : কোনো পদার্থে বিভিন্ন পরমাণুতে কিন্তু একই কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনগুলোর শক্তির সামান্য তারতম্য হয়। একই কক্ষপথে অবস্থিত এই সকল ইলেকট্রনের শক্তির সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ মানের মধ্যবর্তী পাল্লাকে শক্তি ব্যান্ড বলে।

যোজন ব্যান্ড : পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনকে যোজন ইলেকট্রন বলে। যোজন ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পাল্লা বা ব্যান্ডকে যোজন ব্যান্ড বলে।

পরিবহন ব্যান্ড : পরমাণুতে অবস্থিত মুক্ত যোজন ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে বলে এদের পরিবহন ইলেকট্রন বলে। পরিবহন ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পাল্লা বা ব্যান্ডকে পরিবহন ব্যান্ড বলে।

নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড : শক্তি স্তর রৈখিক চিত্রে পরিবহন ব্যান্ড এবং যোজন ব্যান্ড-এর মধ্যবর্তী শক্তির পাল্লাকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড বলে।

অপরিবাহী বা অন্তরক : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চলতে পারে না তাদেরকে অন্তরক বলে। যেমন : কাচ, কাঠ ইত্যাদি। এদের আপেক্ষিক রোধ $10^{12}\ \Omega$ m ক্রমের।

পরিবাহী : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে সহজে তড়িৎপ্রবাহ চলতে পারে তাদেরকে পরিবাহী বলে। যেমন : তামা, রূপা, এলুমিনিয়াম।

সেমিকন্ডাক্টর : যে সকল পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক অন্তরক ও পরিবাহীর মাঝামাঝি এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে যাদের রোধ কমে অর্থাৎ তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক বাড়ে এবং সুবিধাজনক অপদ্রব্য বা ভেজাল যোগ করলে যাদের তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্ক ধর্মের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটে তাদের সেমিকন্ডাক্টর বলে। যেমন- জার্মেনিয়াম, সিলিকন।

***p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর :** যেসব মৌলের বহির্খোলকে তিনটি যোজন ইলেকট্রন থাকে তাদের ভেজাল বা অপদ্রব্য হিসেবে ব্যবহার করলে ইনট্রিনসিক সেমিকন্ডাক্টর *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে রূপান্তরিত হয়। এসব পরমাণু সহযোজী অনুবন্ধ কোনো ইলেকট্রন প্রদান করে না, তাই এদের বলা হয় গ্রাহক পরমাণু। এদের বহির্খোলকে ইলেকট্রনের ঘাটতির জন্য একটি ফাঁকা জায়গা বা ধনাত্মক হোলের সৃষ্টি হয়। *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরে পরিবহন ঘটে প্রধানত ধনাত্মক আধান বা হোলের মাধ্যমে। এখানে হোল গরিষ্ঠ বাহক এবং ইলেকট্রন লঘিষ্ঠ বাহক। *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর ধনাত্মক আধান বা হোলসমৃদ্ধ বস্তু।

***n*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর :** যে সেমিকন্ডাক্টরে পরিবহন ঘটে প্রধানত ইলেকট্রনের মাধ্যমে তাকে *n*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বলে। এখানে গরিষ্ঠ বাহক হল ইলেকট্রন এবং লঘিষ্ঠ বাহক হল হোল। *n*-টাইপ ইলেকট্রনসমৃদ্ধ বস্তু।

সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড : একটি *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর ও একটি *n*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর পাশাপাশি জোড়া বা স্পর্শ লাগিয়ে *p*-*n* জংশন ডায়োড তৈরি করা হয়। এই জংশন তড়িৎপ্রবাহকে একদিকে প্রবাহিত করে তাই এর নাম

সেমিকন্ডাক্টর রেকটিফায়ার। সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডকে বর্তনীতে দুভাবে সংযুক্ত করা যায়-সম্মুখী ঝোঁক ও বিমুখী ঝোঁক সংযোগ।

কেলাস : যে পদার্থে পরমাণু বা অণুগুলো একটি সুনির্দিষ্ট প্যাটার্নে সজ্জিত থাকে তাকে কেলাস বলে।

রেকটিফায়ার : যে ডিভাইস বা কৌশলের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহকে একমুখী করা যায় অর্থাৎ এসিকে ডিসি করা যায় তাকে রেকটিফায়ার বলে।

ট্রানজিস্টর : একটি n-টাইপ কেলাসের দুই পাশে একটি করে p-টাইপ কেলাস বা একটি p-টাইপ কেলাসের দুই পাশে একটি করে n-টাইপ কেলাস স্যান্ডউইচ করে p-n-p বা n-p-n জংশন তৈরি করা হয়। এদেরকে যথাক্রমে p-n-p ও n-p-n ট্রানজিস্টর বলে। এভাবে সজ্জিত কেলাসের প্রথমটিকে নিঃসারক, মাঝেরটিকে পীঠ এবং অন্য পাশেরটিকে সংগ্রাহক বলা হয়।ট্রানজিস্টরে দুটি জংশন থাকে—নিঃসারক-পীঠ জংশন ও সংগ্রাহক-পীঠ জংশন।

অ্যাম্পলিফায়ার : যে যন্ত্র এর অন্তর্গামীতে প্রদত্ত সঙ্কেতকে বহির্গামীতে বিবর্ধিত করে তাকে অ্যাম্পলিফায়ার বলা হয়।

বাইনারি নম্বর পদ্ধতি : বাইনারি নম্বর পদ্ধতিতে কোনো সংখ্যাকে বোঝাতে মাত্র দুট ডিজিট বা অঙ্ক 0 এবং 1 ব্যবহৃত হয়।

অক্টাল নম্বর পদ্ধতি : যে নম্বর পদ্ধতি বেস 8(eight) তাকে অক্টাল পদ্ধতি বলে। এই পদ্ধতির আটটি ডিজিট হচ্ছে 0, 1, 2, ,3 ,4 5, 6, 7।

হেক্সাডেসিমেল পদ্ধতি : এই পদ্ধতির বেস হচ্ছে 16। এই পদ্ধতির ডিজিটগুলো হচ্ছে 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 8, 9, A , B C, D, E এবং F। এখানে 10–15 ডিজিটকে A, B, C, D, E, F দ্বারা বেঝানো হয়। পূর্ণ সংখ্যার জন্য প্রত্যেক ডিজিটের স্থানীয় মান হলো 16 এর উর্ধ্বমুখ সূচক এবং ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে প্রতি ডিজিটের স্থানীয় মান হলো 16 এর নিম্নমুখী সূচক।

লজিক গেট : যে বিশেষ ইলেকট্রনিক বর্তনী দ্বারা বুলিয়ান অ্যালজেবরা বাস্তবায়ন করা যায় তাকে লজিক গেট বলে।

OR- গেট : যে লজিক গেট এর দুই বা দুইয়ের অধিক ইনপুট থাকে কিন্তু একটিমাত্র আউটপুট থাকে এবং যে কোনো একটি ইনপুটে উচ্চ বিভব হলেই আউটপুটে উচ্চ বিভব হয়, তাছাড়া অন্য ক্ষেত্রে আউটপুট বিভব নিম্ন হয়, তাকে OR গেট বলে।

AND- গেট : যে লজিক গেট-এর দুই বা দুইয়ের অধিক ইনপুট কিন্তু একটি মাত্র আউটপুট থাকে এবং এই দুই ইনপুটে যখন উচ্চ বিভব থাকে, তখন আউটপুটে উচ্চ বিভব থাকবে তাছাড়া অন্য ক্ষেত্রে আউটপুট বিভব নিম্ন হবে।

NOT গেট: যে ইলেকট্রনিক বর্তনীতে একটি মাত্র ইনপুট ও একটিমাত্র আউটপুট থেকে এবং ইনপপুটে উচ্চ বিভব প্রয়োগ করলে আউটপুটে নিম্ন বিভব এবং ইনপুটে নিম্নবিভব প্রয়োগ করলে আউটপুটে উচ্চ বিভব পাওয়া যায় তাকে NOT- গেট বা ইনভার্টার বলে।

NAND-গেট : AND-গেটের আউটপুট NOT- গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NAND-গ্রেট পাওয়া যায়।

NOR- গেট : OR গেটের আউটপুটকে NOT গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NOR-গেট পাওয়া যায়।

XOR- গেট : OR-গেট, AND- গেট এবং NOT- গেট সংযুক্ত করে XOR গেট পাওয়া যায়।

X NOR- গেট : XOR গেটের সাথে NOT- গেট যোগ করে X NOR- গেট পাওয়া যায়।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

সঠিক উত্তরের বৃত্ত (●) ভরাট কর :

১। নিচের কোনটি শক্তি ব্যান্ড?
(ক) যোজন ব্যান্ড ○ (খ) পরিবহন ব্যান্ড ○
(গ) নিষিদ্ধ ব্যান্ড ○ (ঘ) সবকটি ○

২। অন্তরক পদার্থের আপেক্ষিক রোধের ক্রম কত?
(ক) 10^{-4} Ωm ○ (খ) 10^{12} Ωm ○
(গ) 10^{-8} Ωm ○ (ঘ) 10^{-12} Ωm ○

৩। নিচের কোনটি অর্ধপরিবাহীর বৈশিষ্ট্য নয়?
(ক) 0K তাপমাত্রায় এরা অন্তরক ○
(খ) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এদের তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় ○
(গ) উপযুক্ত অপদ্রব মিশালে এদের তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় ○
(ঘ) এদের আপেক্ষিক রোধ 10^4 Ωm ক্রমের ○

৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি কালে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতার কী ঘটে?
(ক) বৃদ্ধি পায় ○ (খ) একই থাকে ○
(গ) হ্রাস পায় ○ (ঘ) প্রথমে বৃদ্ধি পায় পরে হ্রাস পায় ○

৫। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে অর্ধপরিবাহী আপেক্ষিক রোধের কী ঘটে?
(ক) বৃদ্ধি পায় ○ (খ) একই থাকে ○
(গ) হ্রাস পায় ○ (ঘ) প্রথমে বৃদ্ধি পায় পরে হ্রাস পায় ○

৬। অর্ধপরিবাহীতে যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধানের ক্রম কত?
(ক) 1 eV ○ (খ) 5 eV ○
(গ) 1 K eV ○ (ঘ) 1 M eV ○

৭। যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধান 0.7eV হলে সেটি নিচের কোনটি?
(ক) ধাতু ○ (খ) অন্তরক ○
(গ) অর্ধপরিবাহী ○ (ঘ) সংকর ধাতু ○

৮। *p*- টাইপ অর্ধপরিবাহী তৈরির জন্য বিশুদ্ধ সিলিকনের সাথে অপদ্রব মিশাতে হয় সেটি নিচের কোনটি?
(ক) ফসফরাস ○ (খ) বোরন ○
(গ) এন্টিমনি ○ (ঘ) অক্সিজেন ○

৯। অন্তরকে যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধানের ক্রম কত?
(ক) 1 M eV ○ (খ) 0.1 M eV ○
(গ) 1 eV ○ (ঘ) 6.0 eV ○

১০। একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর—
(ক) 0°C তাপমাত্রায় অসীম রোধ ○
(খ) সসীম রোধ যা তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল নয় ○
(গ) সমীম রোধ যা তাপমাত্রার বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায় ○
(ঘ) সসীম রোধ যা' তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায় ○

১১। *n* -টাইপ অর্ধপরিবাহী তৈরির জন্য বিশুদ্ধ জার্মেনিয়ামের সাথে যে অপদ্রব মিশাতে হয় সেটি নিচের কোনটি?
(ক) ফসফরাস ○ (খ) অ্যালুমিনিয়াম ○
(গ) বোরন ○ (ঘ) স্বর্ণ ○

১২। অর্ধপরিবাহীতে গরিষ্ঠ আধান বাহক কোনটি?
(ক) n-টাইপে হোল এবং p - টাইপে ইলেকট্রন ○
(খ) n - টাইপ ও p-টাইপ উভয়েই ইলেকট্রন ○
(গ) n - টাইপে ইলেকট্রন এবং p - টাইপে হোল ○
(ঘ) n - টাইপ ও p - টাইপ উভয়েই হোল ○

১৩। p - টাইপ অর্ধপরিবাহীতে কী ডোপায়িত করা হয়?
(ক) দ্বিযোজী মৌল ○ (খ) ত্রিযোজী মৌল ○
(গ) চতুর্যোজী মৌল ○ (ঘ) পঞ্চযোজী মৌল ○

১৪। n - টাইপ অর্ধপরিবাহীতে কী মিশানো হয়?
(ক) দ্বিযোজী মৌল ○ (খ) ত্রিযোজী মৌল ○
(গ) চতুর্যোজী মৌল ○ (ঘ) পঞ্চযোজী মৌল ○

১৫। অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে কী বলা হয়?
(ক) রেকটিফায়ার ○ (খ) ট্রানজিস্টর ○
(গ) অ্যাম্পলিফায়ার ○ (ঘ) ফেট ○

১৬। p-n জাংশন অন্তরক হিসেবে কাজ করে যখন তা সংযুক্ত করা হয়—
(ক) এসি উৎসে ○ (খ) সম্মুখী ঝোঁকে ○
(গ) বিমুখী ঝোঁকে ○ (ঘ) এসি উৎসে অথবা বিমুখী ঝোঁকে ○

১৭। p -n জাংশন সম্মুখী ঝোঁকে থাকলে এর রোধ কেমন হয়?
(ক) শূন্য ○ (খ) নিম্ন ○
(গ) উচ্চ ○ (ঘ) অসীম ○

১৮। জাংশন ডায়োডে বিমুখী ঝোঁক কী করে?
(ক) বিভব বাধা হ্রাস করে ○
(খ) বিভব বাধা বৃদ্ধি করে ○
(গ) লঘিষ্ঠ আধান বাহক বৃদ্ধি করে ○
(ঘ) গরিষ্ঠ আধান বাহক বৃদ্ধি করে ○

১৯। $p-n$ জাংশনের সংযোগ স্থলে ডিপ্লেশন স্তরের সৃষ্টির কারণ— [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা ২০১১]
(ক) হোলের তাড়ন ○ (খ) আধান বাহকের ব্যাপন ○
(গ) ইলেকট্রনের তাড়ন ○ (ঘ) অপদ্রব আয়নের স্থানান্তর ○

২০। $p-n$ জাংশন কখন সম্মুখী ঝোঁকে থাকে?
(ক) যখন জাংশনে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হয় না ○
(খ) যখন p-টাইপ ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্তে এবং n-টাইপ ঋণাত্মক প্রান্তে সংযোগ দেওয়া হয় ○
(গ) যখন p - টাইপ ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্তে এবং n-টাইপ ধনাত্মক প্রান্তে সংযোগ দেওয়া হয় ○
(ঘ) যখন জাংশনে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় ○

২১। $p-n$ জাংশন কখন বিমুখী ঝোঁকে থাকে?
(ক) যখন জাংশনে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হয় না। ○
(খ) যখন p - টাইপ ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্তে এবং n-টাইপ ঋণাত্মক প্রান্তে সংযোগ দেওয়া হয় ○
(গ) যখন p - টাইপ ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্তে এবং n-টাইপ ধনাত্মক প্রান্তে সংযোগ দেওয়া হয় ○
(ঘ) যখন জাংশনে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় ○

২২। রেকটিফায়ার হিসাবে ডায়োড রূপান্তর করে—
(ক) এসি থেকে ডিসি ○
(খ) অস্থির ডিসি থেকে স্থির ডিসি ○
(গ) ডিসি থেকে এসি ○
(ঘ) উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভব ○

২৩। একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহকে যদি ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা যথাক্রমে n_e ও n_p হয় তাহলে—
(ক) $n_e = n_p$ ○ (খ) $n_e > n_p$ ○
(গ) $n_e < n_p$ ○ (ঘ) $n_e \neq n_p$ ○

২৪। একটি অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহকে যদি ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা যথাক্রমে n_e ও n_p হয় তাহলে—
(ক) $n_e = n_p$ ○ (খ) $n_e > n_p$ ○
(গ) $n_e < n_p$ ○ (ঘ) $n_e \neq n_p$ ○

২৫। বিমুখী ঝোঁক ক্রমশ বাড়তে থাকলে একটি বিশেষ ভোল্টেজে প্রবাহমাত্রা হঠাৎ খুব বেড়ে যায়, এই ভোল্টেজকে কী বলা হয়?
(ক) হল ভোল্টেজ ○ (খ) লরেঞ্জ ভোল্টেজ ○
(গ) জেনার ভোল্টেজ ○ (ঘ) কোনোটি নয় ○

২৬। ট্রানজিস্টরের মাঝের অর্ধপরিবাহককে কী বলে?
(ক) পীঠ ○ (খ) নিঃসারক ○
(গ) সংগ্রাহক ○ (ঘ) দাতা ○

২৭। একটি ট্রানজিস্টরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে এর—
(ক) রোধ বৃদ্ধি পায় ○ (খ) রোধ হ্রাস পায় ○
(গ) ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় ○ (ঘ) ধারকত্ব হ্রাস পায় ○

২৮। কোনো ট্রানজিস্টরে পীঠ হচ্ছে—
(ক) একটি অন্তরক ○ (খ) একটি নিম্নরোধের পরিবাহী ○
(গ) একটি উচ্চরোধের পরিবাহী ○ (ঘ) একটি বহির্জাত অর্ধপরিবাহী ○

২৯। একটি ট্রানজিস্টরের পীঠ খুব সংকীর্ণ করা হয় যাতে করে—
(ক) অধিকাংশ আধান বাহক সংগ্রাহকে চলে যেতে পারে ○
(খ) অল্পসংখ্যক আধান বাহক সংগ্রাহকে চলে যেতে পারে ○
(গ) ট্রানজিস্টর অতিরিক্ত প্রবাহে বিনষ্ট হওয়া থেকে রক্ষা পায় ○
(ঘ) কোনোটিই নয় ○

৩০। ট্রানজিস্টরে নিঃসারক প্রবাহ—
(ক) সংগ্রাহক প্রবাহের চেয়ে সামান্য বেশি ○
(খ) সংগ্রাহক প্রবাহের চেয়ে সামান্য কম ○
(গ) সংগ্রাহক প্রবাহের সমান ○
(ঘ) ভূমি প্রবাহের সমান ○

৩১। অ্যাম্পলিফায়ার হিসাবে ব্যবহারের জন্য ট্রানজিস্টরের—
(ক) নিঃসারক ভূমি জাংশনে সম্মুখী ঝোঁক এবং সংগ্রাহক ভূমি জাংশনে বিমুখী ঝোঁক দিতে হবে ○
(খ) নিঃসারক-ভূমি জাংশনে বিমুখী ঝোঁক এবং সংগ্রাহক ভূমি জাংশনে সম্মুখী ঝোঁক দিতে হবে ○
(গ) উভয় জাংশনে সম্মুখী ঝোঁক দিতে হবে ○
(ঘ) যে কোনো একটি জাংশনে সম্মুখী ঝোঁক দিতে হবে ○

৩২। কোন ট্রানজিস্টর সাধারণ পীঠ সংযোগ রয়েছে। এর সংগ্রাহক প্রবাহ 0.95 mA এবং পীঠ প্রবাহ 0.05 mA নিঃসারক প্রবাহ কত?

(ক) 1.0 mA ○ (খ) 0.90 mA ○
(গ) 1. 5 mA ○ (ঘ) 0.85 mA ○

৩৩। *p*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর হচ্ছে—

(i) অ্যালুমিনিয়াম ডোপায়িত সিলিকন
(ii) বোরন ডোপায়িত জার্মেনিয়াম
(iii) ফসফরাস ডোপায়িত জার্মেনিয়াম

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৩৪। *n*- টাইপ সেমিকন্ডাক্টর হচ্ছে—

(i) আর্সেনিক ডোপায়িত জার্মেনিয়াম (ii) ফসফরাস ডোপায়িত সিলিকন
(iii) গ্যালিয়াম ডোপায়িত জার্মেনিয়াম

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৩৫। নিচে তিনটি বিবৃতি দেওয়া হলো—

(i) LED বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে
(ii) ট্রানজিস্টর বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে
(iii) ফেট বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

৩৬। ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়—

(i) দুটি *p*-টাইপের মাঝে একটি *n* টাইপ স্যান্ডউইচ করে
(ii) দুটি *n*-টাইপের মাঝে একটি *p* টাইপ স্যান্ডউইচ করে
(iii) তিনটি *n* টাইপ পাশাপাশি রেখে

নিচের কোনটি সঠিক?

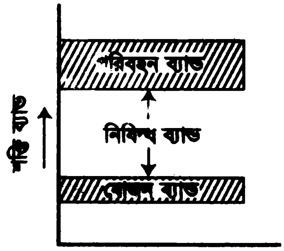
(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○
(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (ঘ) ২. (খ) ৩. (ঘ) ৪. (ক) ৫. (গ) ৬. (ক) ৭. (গ) ৮. (খ) ৯. (ঘ) ১০. (গ) ১১. (ক) ১২. (গ) ১৩. (খ) ১৪. (ঘ) ১৫. (ক) ১৬. (গ) ১৭. (খ) ১৮. (খ) ১৯. (খ) ২০. (খ) ২১. (গ) ২২. (ক) ২৩. (ক) ২৪. (ঘ) ২৫. (গ) ২৬. (ক) ২৭. (খ) ২৮. (ঘ) ২৯. (ক) ৩০. (ক) ৩১.(ক) ৩২. (ক) ৩৩. (ক) ৩৪. (ক) ৩৫. (খ) ৩৬. (ক)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। নিচের চিত্রটি লক্ষ কর। কঠিন পদার্থের পরমাণুর শক্তি ব্যান্ড। এবার নিচের প্রশ্নের উত্তর দাও:



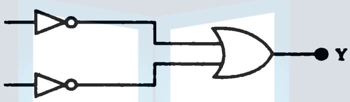
(ক) শক্তি ব্যান্ড কী?

(খ) প্রধান তিনটি শক্তি ব্যান্ড কী কী ব্যাখ্যা কর।

(গ) ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের গঠন কৌশল চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) ব্যান্ড তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর ও অপরিবাহী পদার্থের আচরণ চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

২। নিচের চিত্রটি লক্ষ কর। এটি একটি লজিক গেটের চিত্র।



(ক) লজিক গেট কী? এটি কোন লজিক গেটের সাংকেতিক চিত্র?

(খ) এই লজিক গেটের কার্য প্রণালি ট্রুথ টেবিলসহ ব্যাখ্যা কর।

(গ) এ গেট থেকে কীভাবে NOR তৈরি করা যায়? NOR গেটের লজিক সাংকেতিক চিত্রসহ ট্রুথ টেবিল তৈরি কর।

(ঘ) XOR গেট কীভাবে পাওয়া যায়? এদের লজিক সংকেত (সাংকেতিক চিহ্ন) আঁক এবং ট্রুথ টেবিল তৈরি কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। ব্যান্ড তত্ত্ব কী?

২। শক্তি স্তর ও শক্তি ব্যান্ড কাকে বলে?

৩। ব্যান্ড হিসেবে পদার্থকে কয় ভাগে ভাগ করা যায়?

৪। যোজন ব্যান্ড বলতে কী বোঝ?

৫। পরিবহন ব্যান্ড কাকে বলে?

৬। নিষিদ্ধ ব্যান্ড বলতে কী বোঝ?

৭। সেমিকন্ডাক্টর কাকে বলে?

৮। দুটি সেমিকন্ডাক্টরের নাম লেখ।

৯। তড়িৎ পরিবাহিতাঙ্কের দিক থেকে সেমিকন্ডাক্টরের সংজ্ঞা দাও।

১০। ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে সুপরিবাহী সেমিকন্ডাক্টর ও অন্তরকের সংজ্ঞা দাও।

১১। ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর ও অপরিবাহী পদার্থের আচরণ ব্যাখ্যা কর।

১২। ব্যান্ড তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহী, সেমিকন্ডাক্টর ও অপরিবাহী পদার্থের কেলাসে ইলেকট্রনের শক্তি স্তরগুলোর পার্থক্য চিত্রসহকারে ব্যাখ্যা কর।

১৩। ইনট্রিন্সিক ও এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর কাকে বলে?
১৪। ডোপিং বলতে কী বোঝ?
১৫। p-টাইপ ও n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা কর।
১৬। p-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের গঠন কৌশল ব্যাখ্যা কর।
১৭। n-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরের গঠন কৌশল ব্যাখ্যা কর।
১৮। p-n জাংশন কী?
১৯। p-n জাংশন কীভাবে তৈরি করা হয়?
২০। ডায়োড কী?
২১। চিত্রসহ ডায়োডের সম্মুখী ঝোঁক ও বিমুখী ঝোঁক ব্যাখ্যা কর।
২২। সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডের বা p-n জাংশনের বৈশিষ্ট্য লেখ বা I–V বৈশিষ্ট্যসূচক লেখচিত্র বর্ণনা কর।
২৩। p-n জাংশনের বৈশিষ্ট্য লেখচিত্র থেকে জেনার ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।
২৪। জেনার বিভব কী?
২৫। জেনার ক্রিয়া বলতে কী বুঝ?
২৬। সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড কীভাবে রেকটিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা যায়?
২৭। পূর্ণতরঙ্গ ব্রিজ একমুখীকারক হিসেবে কীভাবে ডায়োড ব্যবহার করা যায় তা প্রয়োজনীয় চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।
২৮। ট্রানজিস্টর কাকে বলে?
২৯। *pnp* ট্রানজিস্টর কী?
৩০। *npn* ট্রানজিস্টর কী?
৩১। উচ্চ কম্পাঙ্ক বর্তনী বা কম্পিউটার বর্তনীতে *npn* ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয় কেন?
৩২। একটি *pnp* ট্রানজিস্টরের গঠন ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
৩৩। একটি *npn* ট্রানজিস্টরের গঠন ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
৩৪। ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে নিঃসারক প্রবাহ, সংগ্রাহক প্রবাহ ও পীঠ প্রবাহের মধে সম্পর্ক স্থাপন কর।
৩৫। অ্যাম্পলিফায়ার কী? অ্যাম্পলিফায়ার হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার বর্ণনা কর।
৩৬। সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।
৩৭। ডেসিমেল নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
৩৮। বাইনারি নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
৩৯। ডেসিমেল থেকে বাইনারি নম্বরে কীভাবে রূপান্তরিত করা যায় উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।
৪০। বাইনারি থেকে ডেসিমেল নম্বরে কীভাবে রূপান্তরিত করা যায় উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।
৪১। অক্টাল নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
৪২। হেক্সাডেসিমেল নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
৪৩। লজিক গেট কাকে বলে?
৪৪। OR- গেট কাকে বলে?
৪৫। AND- গেট কাকে বলে?
৪৬। NOT- গেট কাকে বলে?
৪৭। NAND- গেট কাকে বলে?
৪৮। NOR- গেট কাকে বলে?
৪৯। XOR- গেট কাকে বলে?
৫০। XNOR- গেট কাকে বলে?

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। একটি $p-n$ জংশনের বিভব পার্থক্য 2.0 V থেকে বাড়িয়ে 2.2 V করা হলো। এতে এর তড়িৎপ্রবাহ 400 mA থেকে বেড়ে 800 mA হলো। গতীয় রোধ কত? [উ: $R = 0.50\ \Omega$]

২। কোনো $p-n$ জংশনের গতীয় রোধ 40 Ω। এর বিভব পার্থক্য 0.2 ভোল্ট পরিবর্তন করলে আনুষঙ্গিক তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন কত? [উ: $\Delta I = 5$ m A]

৩। একটি $p-n$ জংশনে 2 V বিভবা পার্থক্যের জন্য তড়িৎপ্রবাহ 600 mA এবং 2.3 V এর জন্য তড়িৎপ্রবাহ 900 mA। এর গতীয় রোধ কত? [উ: $R = 1.0\ \Omega$]

৪। কোনো ট্রানজিস্টরে সাধারণ পীঠ বা ভূমি সংযোগে নিঃসারক প্রবাহ ও সংগ্রাহক প্রবাহ যথাক্রমে পাওয়া গেল 1 mA এবং 0.95 mA। এর পীঠ বা ভূমি প্রবাহ কত? [উ: $I_B = 0.05$ mA]

৫। 20 mA নিঃসরক প্রবাহের ফলে একটি ট্রানজিস্টরে 18 mA সংগ্রাহক প্রবাহ পাওয়া গেল। ট্রানজিস্টরের ভূমি প্রবাহের মান কত? [উ: 2 mA]

৬। কোনো ট্রানজিস্টরের $I_C = 1.2$ mA এবং $I_E = 1.25$ mA। প্রবাহ বিবর্ধক গুণক কত? [উ: 0.96]

৭। কোনো ট্রানজিস্টরের $I_C = 0.95$ m A এবং $I_E = 1.0$ mA হলে এর প্রবাহ বিবর্ধন গুণক $\alpha = ?$ [উ: $\alpha = 0.95$]

৮। কোনো ট্রানজিস্টরের $\Delta I_B = 0.02$ mA এবং Δ` $I_C = 1$ mA। এর প্রবাহ লাভ β কত? [উ: $\beta = 50$]

৯। একটি ট্রানজিস্টরের $I_C = 5$A, $I_B = 100\ \mu$A হলে α, β এবং I_E এর মান বের কর। [উ: $\alpha = 0.99998$; $\beta = 5 \times 10^4$; $I_E = 5.0001$A]

১০। বাইনারি নম্বর $(1111)_2$-কে ডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(15)_{10}$]

১১। ডেসিমেল নম্বর 55-কে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর কর। [উ: $(110111)_2$]

১২। 84.30-কে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর কর। [উ: $(1010100.01001)_2$]

১৩। বাইনারি নম্বর $(10110.101)_2$-কে ডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(22.625)_{10}$]

১৪। অক্টাল নম্বর $(307)_8$-কে ডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(199)_{10}$]

১৫। ডেসিমেল নম্বর $(199)_8$-কে অক্টাল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(307)_8$]

১৬। হেক্সাডেসিমেল নম্বর $(20D)_{16}$-কে ডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(525)_{10}$]

১৭। ডেসিমেল নম্বরে $(525)_{10}$-কে হেক্সাডেসিমেল নম্বরে প্রকাশ কর। [উ: $(20D)_{16}$]

১৮। বাইনারি যোগ কর :

(i) $\begin{array}{r} 1011 \\ \underline{+1010} \end{array}$ (ii) $\begin{array}{r} 10111.01 \\ \underline{+10101.01} \end{array}$ [উ: (i) 10101 (ii) 101100.10]

১৯। বাইনারি বিয়োগ কর :

(i) $\begin{array}{r} 101001 \\ \underline{-1011} \end{array}$ (ii) $\begin{array}{r} 10000.11100 \\ \underline{-101.01001} \end{array}$ [উ: (i) 11110 (ii) 1011.10011]

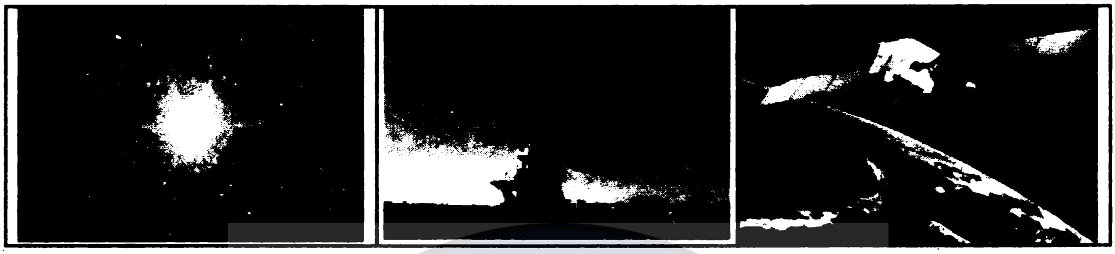
২০। বাইনারি গুণ কর : $\begin{array}{r} 1101 \\ \underline{\times 101} \end{array}$ [উ: 1000001]

২১। বাইনারি ভাগ কর : 100111.0111 ÷ 111 [উ: ভাগফল : 101.101001 এবং ভাগশেষ : 1]

একাদশ অধ্যায়

জ্যোতির্বিজ্ঞান

ASTRONOMY



প্রধান শব্দসমূহ :
মহাবিশ্ব, সৌরজগৎ, নক্ষত্র, গ্যালাক্সি, রেডিওগ্যালাক্সি, কোয়াসার, সুপারনোভা, নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার, কৃষ্ণ বিবর এবং রেডিও-টেলিস্কোপ।

রাতের আকাশের চমৎকারিত্ব ও রহস্য আদিকাল থেকেই মানুষকে বিস্মিত ও আকৃষ্ট করেছে। আকাশে দৃশ্যমান বিভিন্ন খ-বস্তু (celestial objects) সম্পর্কে জানার জন্য বিজ্ঞানীরা অবিরত প্রচেষ্টা চালিয়ে যাচ্ছেন। মহাবিশ্ব সম্পর্কে বিজ্ঞানীদের ধারণা তাই সব সময় পরিবর্তিত হচ্ছে। মহাবিশ্বের সৃষ্টি, মহাবিশ্বের বিভিন্ন বস্তু যেমন গ্রহ, নক্ষত্র, নীহারিকা, গ্যালাক্সি ইত্যাদি এবং বিভিন্ন ঘটনা মানুষের মনে এখনো বিস্ময় সৃষ্টি করে। যে শাস্ত্র আকাশ ও মহাকাশের সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ, নক্ষত্র, নীহারিকা ইত্যাদি বিষয়ে তথ্যাদির বিবরণসহ আলোচনা ও অনুসন্ধান করে তাকে জ্যোতির্বিজ্ঞান বলে। এই অধ্যায়ে আমরা মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য, বিভিন্ন মূলবস্তু ও ঘটনা মহাকাশ পর্যবেক্ষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন যন্ত্রপাতির মূলনীতি নিয়ে আলোচনা এবং পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে আলোচনা করব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখন ফল	অনুচ্ছেদ
১.	মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১১.১
২.	মহাবিশ্বের পরিণাম পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১১.২
৩.	মহাবিশ্বের মূলবস্তু ও ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১১.৩
৪.	মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত যন্ত্রের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১১.৪

১১.১। মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য (Mystery of Creation of the Universe)

আদিকাল থেকেই মানুষ মহাবিশ্ব ও মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য সম্পর্কে কৌতূহলী হয়ে নানা পর্যবেক্ষণ ও পরীক্ষণ চালিয়ে যাচ্ছে, এখনো তবু মহাবিশ্ব ও এর সৃষ্টি রহস্যের অনেক কিছুই মানুষের অজানা।

মহাবিশ্ব

সকল পদার্থ, শক্তি ও স্থান অর্থাৎ যা কিছুর অস্তিত্ব আছে তাদের সবকিছু নিয়েই মহাবিশ্ব। অন্য কথায়, অগণিত নক্ষত্ররাজ্য, ছায়াপথ বা গ্যালাক্সি অনন্ত মহাকাশে ছড়ানো পদার্থ, শক্তি এইসব মিলিয়ে যে বস্তুজগৎ তারই নাম মহাবিশ্ব। অনুমান করা হয় যে, মহাবিশ্বে 10^9 সংখ্যক ছায়াপথ আছে। মহাবিশ্বের প্রকৃতি , উৎস ও বিবর্তন নিয়ে যে পর্যালোচনা তাকে বলা হয় সৃষ্টিতত্ত্ব (cosmology)।

মহাবিশ্বের সৃষ্টি সম্পর্কে বিভিন্ন মতবাদ প্রচলিত তার মধ্যে নিচের কয়েকটি বেশ গুরুত্বপূর্ণ।

১। **মহাবিস্ফোরণ তত্ত্ব** (Big-bang theory)
২। **সম্প্রসারণ তত্ত্ব** (Expanding universe theory)

৩। **স্পন্দনশীল তত্ত্ব** (Pulsating theory)

৪। **অবিচল অবস্থা তত্ত্ব** (Steady state theory)

১। **মহাবিস্ফোরণ তত্ত্ব :** এই তত্ত্বের প্রবর্তক হলেন বিজ্ঞানী **জর্জ লেমিটার** (George Lemaitre)। তাঁর তত্ত্ব মতে 20 বিলিয়ন বছর পূর্বে অনুমান করা হয় মহাবিশ্বের ভর ছিল 10^{51}kg। এই ভর মূলত একটি অতি উত্তপ্ত ($\approx 10^{12}$ K) তাপমাত্রায় একটি অতি ঘন আগুনের গোলক হিসাবে ছিল। এই গোলকের ব্যাসার্ধ ছিল সূর্যের প্রায় দশগুণ। সুতরাং মহাবিশ্ব একটি অতি ঘন গোলক এবং এর ঘনত্ব ছিল 10^{21} kgm^{-3}। বিশ বিলিয়ন (20×10^9) বছর পূর্বে এক মহাবিস্ফোরণ ঘটে। ফলে অগ্নিগোলকটি অসংখ্য টুকরায় বিভক্ত হয়ে পড়ে এবং ছায়াপথ বা গ্যালাক্সি ও নক্ষত্ররূপে অতি উচ্চ বেগে সকল দিকে ছড়িয়ে পড়ে। জজ লেমিটার এই তত্ত্ব প্রদান করেন এবং এর Big-bang নামটি **জর্জ গ্যামোর** (George Gamow) দেওয়া।

২। **সম্প্রসারণ তত্ত্ব :** এই তত্ত্ব মতে সকল গ্যালাক্সি পৃথিবী থেকে দূরে সরে যেতে থাকবে এবং আমরা একটি শূন্য বা খালি মহাবিশ্ব পাব। এর কারণ হলো মহাবিশ্বের ধারাবাহিক বা অবিরত প্রসারণের ফলে অনেক অনেক গ্যালাক্সি মহাবিশ্বের সীমানার বাইরে চলে যাবে এবং হারিয়ে যাবে।

৩। **স্পন্দনশীল তত্ত্ব :** এই তত্ত্বের মতে মহাবিশ্ব অনির্দিষ্টভাবে প্রসারিত হতে পারে না। একটি নির্দিষ্ট অবস্থার পর মহাকর্ষীয় আকর্ষণের কারণে এই প্রসারণ থেমে যাবে এবং মহাবিশ্ব পুনরায় সঙ্কুচিত হয়ে আসবে। সঙ্কুচিত হয়ে মহাবিশ্ব একটি সংকট আকারে পৌঁছালে এটা পুনরায় বিস্ফোরিত হবে এবং নতুন করে প্রসারণ ও তারকার সঙ্কোচন ঘটবে। ফলে মহাবিশ্বের সীমা একবার বড় ও একবার ছোট হয়ে অর্থাৎ সীমানা স্পন্দিত হবে, এজন্য কখনো কখনো একে স্পন্দনশীল মহাবিশ্ব বলা হয়। এ তত্ত্বের ভিত্তিতে পাওয়া তথ্য থেকে জানা যায় যে, 8×10^9 বছর পরপর মহাবিশ্বের প্রসারণ ও সঙ্কোচন ঘটে।

৪। **অবিচল অবস্থা তত্ত্ব :** এই তত্ত্বের প্রবর্তক হলেন জ্যোতির্বিজ্ঞানী **গোল্ড, বন্ড ও ফ্রেড হোয়েল**। এই তত্ত্বের মতে মহাবিশ্ব একটি অবিচল বা স্থির অবস্থায় পৌঁছে গেছে এবং সকল স্থান থেকে সকলের নিকট একই রকম দেখায়। মহাবিশ্বের মোট গ্যালাক্সির সংখ্যাও একটি স্থির অবস্থায় পৌঁছেছে। মহাবিশ্বের পর্যবেক্ষণযোগ্য অংশ থেকে যদিও কিছু গ্যালাক্সি হারিয়ে যাচ্ছে, নতুন গ্যালাক্সি তৈরি হয়ে গ্যালাক্সির সংখ্যা সমান করছে। অবিচল অবস্থা তত্ত্ব, যাকে অবিরত তৈরি তত্ত্বও বলা হয়। এর ভিত্তি হলো পদার্থ ও শক্তির আন্তঃরূপান্তর।

১১.২। পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ
The Future of the Universe in the light of Physics

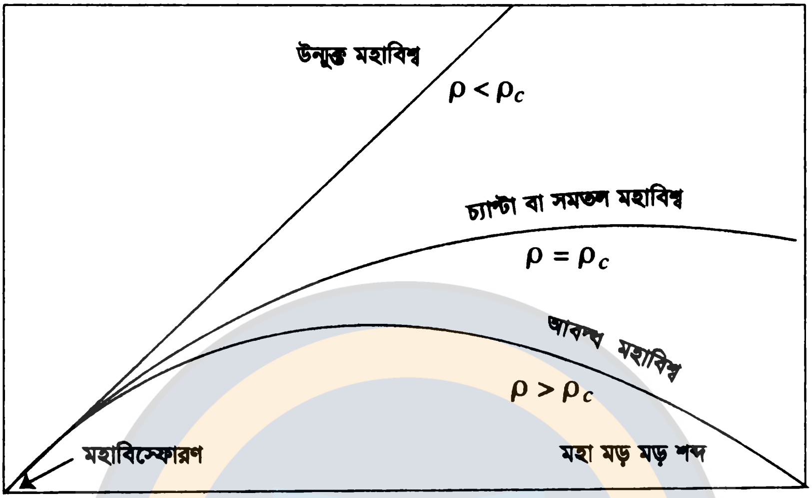
আমরা জানি যে, মহাবিশ্ব সম্প্রসারণশীল বা প্রসারণশীল। এই মহাবিশ্ব কি চিরকালই সম্প্রসারিত হতে থাকবে? এটা নির্ভর করবে মহাবিশ্বে কী পরিমাণ পদার্থ রয়েছে এবং কত দ্রুত তা প্রসারিত হচ্ছে। মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ পরিণতি সম্পর্কে তিন রকমের ধারণা করা হয়।

১। মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব ρ যদি এর নির্দিষ্ট সংকট ঘনত্ব ρ_c যা প্রসারণ হারের কার্যাপেক্ষক এর চেয়ে ছোট হয় তাহলে মহাবিশ্ব উন্মুক্ত এবং এর প্রসারণ কখনোই থামবে না। (চিত্র ১১.১)। এর ফলে নতুন কোনো গ্যালাক্সি বা নক্ষত্র সৃষ্টি হবে না এবং বর্তমানে থাকা গ্যালাক্সি ও নক্ষত্রগুলো কৃষ্ণবামন (black dwarf), নিউট্রন নক্ষত্র এবং কৃষ্ণ বিবর (black hole) হিসাবে শেষ হয়ে যাবে এবং শীতল মৃত্যু ঘটবে।

২। যদি ρ_c এর চেয়ে ρ বড় হয় তাহলে মহাবিশ্ব হবে আবদ্ধ এবং সাথে সাথে বা কিছুকাল পরে মহাকর্ষ প্রসারণ থামিয়ে দেবে। এর ফলে মহাবিশ্ব সঙ্কুচিত হতে শুরু করবে। ঘটনার পরম্পরায় হবে মহাবিস্ফোরণের পর যা যা ঘটেছিল তার বিপরীত ক্রমে কড়কড়, মড়মড় মহাশব্দে ভেঙ্গে এক চরম সন্ধিক্ষণ উপস্থিত হবে এবং মহাবিশ্বের অগ্নিগর্ভ মৃত্যু হবে। এরপর অন্য একটি মহাবিস্ফোরণ কী ঘটবে? যদি ঘটে তাহলে মহাবিশ্বের শুরু ও শেষ হবে চক্রাকার-যার কোনো শুরু বা শেষ নেই।

৩। যদি $\rho = \rho_c$ হয়, তাহলে প্রসারণ চির ক্রমহ্রাসমান হয়ে চলতে থাকবে কিন্তু মহাবিশ্ব সঙ্কুচিত হবে না। এক্ষেত্রে মহাবিশ্বের স্থানের জ্যামিতির কারণে মহাবিশ্বকে চ্যাপ্টা বা সমতল বলা যায়। (চিত্র ১১.১)

যদি $\rho < \rho_c$ হয় তাহলে মহাবিশ্বের স্থান হবে ঋণাত্মকভাবে বক্র যার দ্বিমাত্রিক সাদৃশ্য হলো জিন বা পর্যাণ (Saddle) যদি $\rho > \rho_c$ হয় তাহলে মহাবিশ্ব হবে ধনাত্মকভাবে বক্র এবং এর দ্বিমাত্রিক সদৃশ্য হবে কোনো গোলকের পৃষ্ঠ। সকল ক্ষেত্রেই স্থানকাল হলো বক্র।



চিত্র : ১১.১

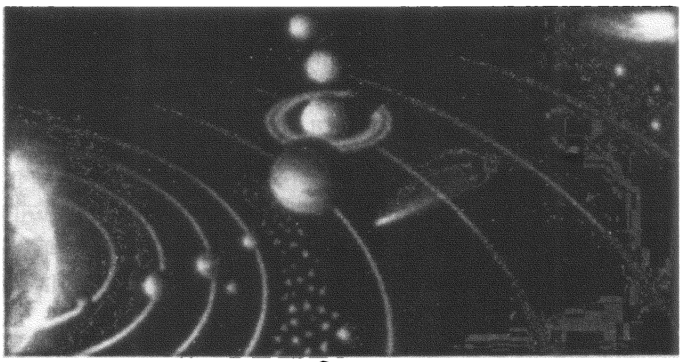
১১.৩। মহাবিশ্বের মূলবস্তু ও ঘটনা
Important Constituents and Phenomenon of the Universe

মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান তিনটি হলো।

(ক) সৌরজগৎ (Solar Stystem) **(খ) নক্ষত্রসমূহ** (Stars) **(গ) গ্যালাক্সিসমূহ** (Galaxies)

(ক) সৌরজগৎ (Solar System) : সূর্য ও এর গ্রহ ও উপগ্রহ, ধূমকেতু, উল্কা, গ্রহাণু, গ্যাস, ধূলিকণা ইত্যাদি নিয়ে সৌরজগৎ গঠিত। সূর্য সৌরজগতের কেন্দ্র। সূর্যকে কেন্দ্র করে এর আটটি গ্রহ ঘুরছে। এই আটটি গ্রহ হলো বুধ, শুক্র, পৃথিবী, মঙ্গল, বৃহস্পতি, শনি, ইউরেনাস ও নেপচুন। সকল গ্রহই সূর্যের চারদিকে উপবৃত্তাকার (elliptical) পথে ঘুরছে। কিছু গ্রহের রয়েছে উপগ্রহ। এগুলো গ্রহকে কেন্দ্র করে ঘুরছে। বুধ ও শুক্রের কোনো উপগ্রহ নেই।

পৃথিবীর রয়েছে একটি, মঙ্গল ও নেপচুনের প্রত্যেকের দুটি, ইউরেনাসের পাঁচটি, শনির দশটি এবং বৃহস্পতির রয়েছে ১২টি উপগ্রহ। এসব উপগ্রহকে গ্রহের চাঁদ বলা হয়। সৌরজগতে একমাত্র সূর্যেরই আলো আছে, অন্য কোনোটির নেই। সূর্যের আলো পড়ে সৌরজগতের গ্রহ ও উপগ্রহ আলোকিত হয়। এছাড়া সৌরজগতে রয়েছে অনিয়মিত আকারের হাজার হাজার বস্তু। এরা হলো উল্কা, ধূমকেতু, গ্রহাণু, গ্যাস, ধূলিকণা, ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কঠিন বস্তু ইত্যাদি।



চিত্র ১১.২

(i) সূর্য (The Sun) : সূর্য গ্যাসীয় পদার্থ দ্বারা তৈরি একটি অতিমাত্রায় গরম ও উজ্জ্বল বস্তু। এটি সৌরজগতের পীতবর্ণ সম্পন্ন নক্ষত্র এবং পৃথিবীর নিকটতম নক্ষত্র। তাই একে অন্য নক্ষত্রের তুলনায় বেশি উজ্জ্বল দেখায়। পৃথিবী থেকে সূর্য আট আলোক মিনিট দূরে। সূর্য হতে পৃথিবীতে আলো আসতে ৮ মিনিট সময় লাগে। এর পৃষ্ঠ তাপমাত্রা 6000 K। এর ভর 1.99×10^{30} kg। গড় ব্যাসার্ধ 6.95×10^{8} m। সূর্য পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে 1.496×10^{11} m দূরত্বে অবস্থিত। এর ঘনত্ব 1410 kgm^{-3} যা পানির তুলনায় প্রায় 1.4 গুণ। সূর্য তার নিজ অক্ষের উপর 25 দিনে একবার ঘুরে আসে। সূর্যের পৃষ্ঠে তার আকর্ষণের জন্য ত্বরণের মান 275 ms^{-2} হিসাব করা হয়েছে। এটি রেডিও বা বেতার অঞ্চলে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ নিঃসরণ করে।

(ii) গ্রহ (The Planets) : আমরা জানি যে সকল নিরেট খ-গোলীয় বস্তু সূর্যকে কেন্দ্র করে আবর্তন করে তাদেরকে গ্রহ বলা হয়। গ্রহগুলো সূর্যকে কেন্দ্র করে উপবৃত্তাকার পথে ভ্রমণ করে। তাদের নিজস্ব কোনো আলো নেই। কিছু গ্রহকে কেন্দ্র করে আবর্তনশীল উপগ্রহ আছে। পৃথিবীর একমাত্র উপগ্রহ হচ্ছে চন্দ্র। এটি পৃথিবীকে কেন্দ্র করে ঘুরে। বুধ ও শুক্র গ্রহের কোনো উপগ্রহ নেই। মঙ্গল এবং নেপচুন গ্রহের দুটি করে উপগ্রহ আছে। শনি গ্রহের দশটি এবং বৃহস্পতি গ্রহের বারোটি উপগ্রহ আছে। উপগ্রহগুলোকে গ্রহের চন্দ্র বলা হয়। গ্রহ সম্পর্কিত কিছু তথ্য নিচে দেওয়া হলো।

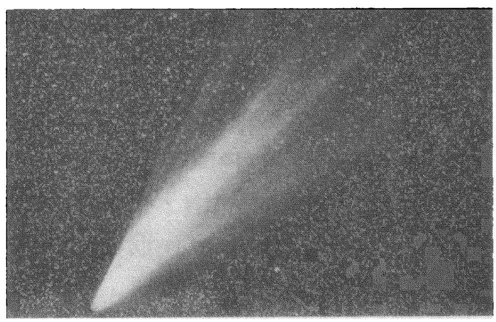
গ্রহ সম্পর্কিত তথ্য

Planets	Radius $\times 10^3$ km	Distance from the sun $\times 10^6$km	Time Taken for one rotation around its axis	Time Taken to go round the sun once	Number of satellite s	Surface temperature ^{0}C	Atmosphere
Mercury	2.4	57.6	59days	88 days	0	+340to –120	Nil
Venus	6.1	107.5	-243days*	225 days	0	+480 t0 –40	CO_2 (95%), N_2, CO H_2O
Earth	6.3	148.7	23hr 56 min	1 year	1	0	N_2(80%),O_2(20%)
Mars	3.4	226.6	24 hr 37 min	1.9 years	2	+30 t0 -130	CO_2(97%), N_2, H_2O
Jupitar	71.4	774.7	9 hr 50 mins	11.8 years	12	–140	H_2, H_e, CH_4, NH_3
Saturn	60.0	1417	10 hr 14 mins	29.5 years	10	–175	H_2,He. NH_3
Uranus	23.4	2866	-10 hr 48 min	+84 years	5	-220	H_2, H_e, CH_4,
Nepyune	22.3	4493	15 hr	165 years	2	-230	H_2, H_e, CH_4,

***Its motion is from east to west ie. Reverse of the motion of other planets**

(iii) গ্রহাণুপুঞ্জ (Asteroids) : মঙ্গল ও বৃহস্পতি গ্রহের কক্ষপথের মাঝ দিয়ে অতিক্ষুদ্র গ্রহের মতো কিছু বস্তু সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে; তাদের বলা হয় গ্রহাণু। গ্রহাণু আবিষ্কারের পর থেকে এ পর্যন্ত প্রায় 2000 গ্রহাণুপুঞ্জ আবিষ্কৃত হয়েছে। এদের সর্ববৃহৎটির নাম সেরেস। এর ব্যাসার্ধ 350 km এবং সূর্যকে প্রদক্ষিণ করতে সময় নেয় 4.6 বছর। ক্ষুদ্রতমটির ব্যাসার্ধ 50 m।

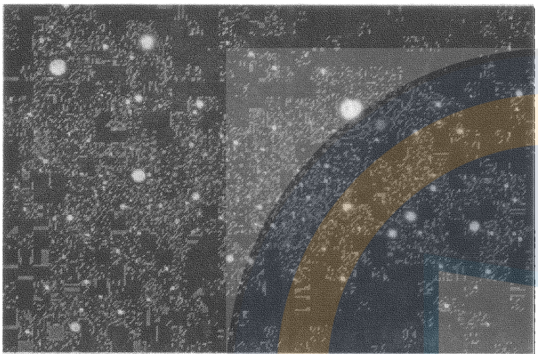
(iv) ধূমকেতু (Comet) : পানি, এমোনিয়া ও মিথেন গ্যাস কোনো নিরেট ক্ষুদ্র শিলাখণ্ডের উপর জমে তৈরি হয় ধূমকেতু। এর একটি মাথা ও লেজ আছে বলে মনে হয়। সূর্যকে কেন্দ্র করে উপবৃত্তাকার পথে ঘোরার সময় এর সামনের দিকের পানি বাষ্পে পরিণত হয় এবং বিকিরণ চাপে এর সামনের দিকে স্ফীত (একটি মাথা) ও পিছনের দিকে সরু লেজের মতো হয়ে যায়। দেখতে অনেকটা ঝাড়ুর মতো দেখায়। এদের মধ্যে হেলির ধূমকেতু বিখ্যাত। এটা ৭৬ বছর পরপর একবার দেখা যায়। ধূমকেতুর মাথাটা শিলার মতো ভারী বস্তু এবং পুচ্ছ বা লেজের দিকটি হালকা পদার্থ যেমন ধূলিকণা ও গ্যাস দিয়ে তৈরি।



চিত্র : ১১.৩

(v) উল্কা (Meteors) : অনেক সময় আকাশে ছোট আগুনের গোলা ছুটে যেতে দেখা যায়। মনে হয় যেন একটি তারা একস্থান থেকে ছুটে অন্যস্থানে যাচ্ছে। এরা আসলে নক্ষত্র বা তারা নয়। এদের বলা হয় উল্কা। অতিক্ষুদ্র গ্রহগত শিলা খণ্ড যখন পৃথিবীর কাছাকাছি এসে গেলে পৃথিবীর অভিকর্ষ বলের প্রভাবে প্রবল বেগে বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে বায়ুর সাথে ঘর্ষণের ফলে উত্তপ্ত হয়ে জ্বলে ওঠে এবং পৃথিবী পৃষ্ঠের পতনের পূর্বেই নিভে যায়। এদের উল্কা বলে।

চিত্র : ১১.৪



চিত্র : ১১.৫

(খ) নক্ষত্রসমূহ (Stars) : যেসব খ-পদার্থ সূর্যের ন্যায় নিজস্ব আলো আছে এবং তা আলো দেয় তাদের বলা হয় নক্ষত্র। পৃথিবীর নিকটতম নক্ষত্র হলো সূর্য। সৌরজগতের বাইরে অনেক দূরে দূরে হাজার হাজার লক্ষ লক্ষ নক্ষত্র রয়েছে। এদেরকে ক্ষুদ্র ও মিটমিট করে জ্বলতে দেখা যায় এর কারণ এরা পৃথিবীর অনেক অনেক দূরে। সূর্যের পর নিকটতম নক্ষত্র হলো **আলফা সেন্টুরি**। পৃথিবী থেকে এর দূরত্ব চার আলোক বর্ষ।

(গ) গ্যালাক্সি (Galaxies) : অনেকগুলো নক্ষত্রের সমাবেশকে বলা হয় গ্যালাক্সি। আমরা যে গ্যালাক্সিতে বা ছায়াপথে বাস করি তার নাম **আকাশ গঙ্গা** (Milky way)। সূর্য ও খালি চোখে দৃশ্যমান সকল নক্ষত্র এই আকাশ গঙ্গা বা ছায়াপথে রয়েছে। এ ছায়াপথে প্রায় 10^{11} সংখ্যক নক্ষত্র রয়েছে। এই ছায়াপথ ছাড়াও মহাবিশ্বে রয়েছে লক্ষ লক্ষ গ্যালাক্সি। এদের খালি চোখে দেখা যায় না। এসব গ্যালাক্সির আকার ও আয়তন বিভিন্ন। কোনোটা উপবৃত্তাকার, কোনোটা সর্পিল। সবচেয়ে উজ্জ্বল কিছু কিছু গ্যালাক্সি উপবৃত্তাকার। অ্যানড্রোমেডা একটি গ্যালাক্সি যাকে খালি চোখে দেখা যায় না। আমাদের গ্যালাক্সি (ছায়াপথ) থেকে এর দূরত্ব 2×10^6 আলোকবর্ষ। সবচেয়ে শক্তিশালী টেলিস্কোপ দিয়েও অনেক গ্যালাক্সি দৃষ্টিগোচর হয় না।

গ্যালাক্সি প্রধানত দু প্রকার।

(ক) স্বাভাবিক গ্যালাক্সি (খ) রেডিও গ্যালাক্সি

(ক) স্বাভাবিক গ্যালাক্সি (Normal Galaxies) : আমরা জানি যে, গ্যালাক্সি হলো মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান। আমাদের ছায়াপথ ছাড়াও মহাবিশ্বে লক্ষ লক্ষ গ্যালাক্সি রয়েছে। এদের বলা হয় স্বাভাবিক গ্যালাক্সি। স্বাভাবিক গ্যালাক্সি তিন প্রকার হয়—(i) উপবৃত্তাকার গ্যালাক্সি (ii) সর্পিল বা পেঁচানো গ্যালাক্সি (iii) বিষম গ্যালাক্সি।

(i) উপবৃত্তাকার গ্যালাক্সি : যে সব গ্যালাক্সি দেখতে উপবৃত্তাকার চাকতির মতো তাদের বলা হয় উপবৃত্তাকার গ্যালাক্সি। এগুলো সাধারণত লোহিত দানব ও শ্বেত বামন নক্ষত্র নিয়ে গঠিত। গ্যালাক্সির শতকরা ১৮ ভাগ উপবৃত্তাকার গ্যালাক্সি।

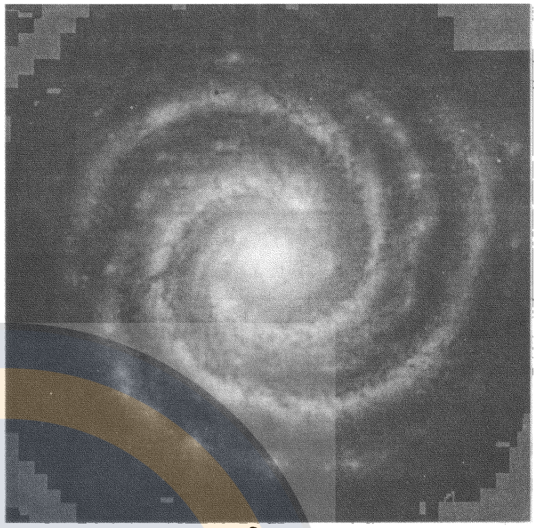
(ii) সর্পিল বা পেঁচানো গ্যালাক্সি : অধিকাংশ স্বাভাবিক গ্যালাক্সি (প্রায় ৮০%) হলো পেঁচানো গ্যালাক্সি। আমাদের ছায়াপথ (Milky way) ও অ্যানড্রোমেডা এই ধরনের গ্যালাক্সি।

(iii) বিষম গ্যালাক্সি : এ ধরনের গ্যালাক্সির কোনো নির্দিষ্ট আকার নেই। কনিষ্ঠ স্বাভাবিক গ্যালাক্সি হলো বিষম গ্যালাক্সি। এরা মধ্যবয়সী। স্বাভাবিক গ্যালাক্সি শতকরা ২ ভাগ বিষম গ্যালাক্সি।

(খ) রেডিও গ্যালাক্সি (Radio galaxies) : যেসব গ্যালাক্সি রেডিও কম্পাঙ্কের তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ করে তাদের রেডিও গ্যালাক্সি বলে। রেডিও গ্যালাক্সিকে দু ভাগে ভাগ করা যায়।

(i) **সাধারণ রেডিও গ্যালাক্সি** (ii) **কোয়াসার**।

(i) সাধারণ রেডিও গ্যালাক্সি : যে স্বাভাবিক আলোকীয় গ্যালাক্সির দুই পাশে দুটি প্রবল রেডিও উৎস রয়েছে, এদের সাধারণ রেডিও গ্যালাক্সি বলে। এটা দেখতে অনেকটা কোনো ব্যক্তির মুখমণ্ডলের দুই পাশে দুটি কানের মতো। রেডিও ক্ষমতা উৎপাদের (output) পাল্লা হলো 10^{30} থেকে 10^{38} ওয়াট।



চিত্র ১১.৬

(ii) কোয়াসার (Quasar) : কোয়াসার হলো আধা নাক্ষত্রিক (Quasi-stellar) রেডিও উৎস। এদের গঠন নক্ষত্রের ন্যায় এবং এরা ক্ষমতাশালী বেতার তরঙ্গ নিঃসরণ করে। এদের রেডিও উৎপাদ 10^{37} থেকে 10^{38} ওয়াট পাল্লার মধ্যে। কোয়াসার হলো দূরবর্তী জ্ঞাত বস্তু। এরা পৃথিবী থেকে লক্ষ লক্ষ আলোকবর্ষ দূরে। এরা যেন মহাবিশ্বের সীমানায় রয়েছে। এরা পৃথিবী থেকে 0.9C বেগে সরে যাচ্ছে। এদের আকার খুব ছোট। এরা অতি ঘন গ্যালাক্সি গঠন করে। এদের ঘনত্ব অত্যন্ত বেশি এবং এদের মহাকর্ষ বলও অনেক বেশি। এ পর্যন্ত প্রায় ১৫০টি কোয়াসার শনাক্ত করা গেছে।

মহাবিশ্বের ঘটনা

মহাবিশ্বে ঘটছে নানান ঘটনা। নক্ষত্রের হাইড্রোজেনের পরিমাণ কমে তৈরি হচ্ছে **সুপারনোভা** এবং তার বিস্ফোরণ ঘটে তৈরি হচ্ছে **পালসার**। বিভিন্ন নক্ষত্রে ঘটছে নানান রকম নিউক্লিয় প্রতিক্রিয়া। ঘটছে নক্ষত্রের জন্ম ও মৃত্যুর মতো ঘটনা, তৈরি হচ্ছে কৃষ্ণ গহ্বর।

এছাড়া সৌরজগতে ঘটছে সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ, উল্কাপাত ইত্যাদি। আমরা এখানে সূর্যের শক্তির উৎস, নক্ষত্রের জন্ম-মৃত্যু, পালসার সৃষ্টি ইত্যাদি ঘটনা নিয়ে আলোচনা করব।

সূর্যের শক্তির উৎস : এটা দেখা গেছে যে, সূর্য প্রতি সেকেন্ডে 4×10^{26} জুল শক্তি বিকিরণ করে। সূর্য এই বিপুল পরিমাণ শক্তি কোথা থেকে পায়? এই শক্তি সূর্য পায় নিউক্লিয়ার ফিউশান বিক্রিয়া থেকে। সূর্যের ভিতর অতি উচ্চ তাপমাত্রার কারণে চারটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস ফিউশানিত হয়ে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস তৈরি করে। এই যে বিক্রিয়া যাতে হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে ভারী নিউক্লিয়াস তৈরি করে তাকে বলা হয় ফিউশন। ফিউশন বিক্রিয়াকে নিম্নোক্তভাবে দেখানো যায় :

$$4\ {}^{1}_{1}\text{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + 2\ {}^{0}_{1}\text{n} + \text{শক্তি}$$

আইনস্টাইনের ভরশক্তি সমীকরণ $E = mc^2$ মোতাবেক এই শক্তির উদ্ভব হয়। এভাবে E হচ্ছে নির্গত শক্তি, m হচ্ছে ভরের হ্রাস এবং c হচ্ছে আলোর বেগ।

এটা জানা গেছে যে, প্রতিটি ফিউশন বিক্রিয়ায় বিন্দু পরিমাণ ভর হারিয়ে যায়। অর্থাৎ যেসব হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে যে ভারী নিউক্লিয়াস তৈরি করে তার ভর, হালকা নিউক্লিয়াসগুলোর ভরের যোগফলের চেয়ে কম। সুতরাং একত্রিত হওয়ার ফলে কিছু পরিমাণ ভর হারিয়ে যায়। এই হারানো ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এটা দেখানো যায় চারটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস তৈরির জন্য প্রচুর শক্তি নির্গত হয়। সূর্যে

রয়েছে বিপুল পরিমাণ হাইড্রোজেন। সুতরাং আমরা বলতে পারি যে, সূর্য আরও কোটি কোটি বছর আমাদের আলো ও তাপ দেবে।

সৌর ঔজ্জ্বল্য : সূর্য থেকে প্রতি সেকেন্ডে চতুর্দিকে নির্গত শক্তির পরিমাণকে সৌর ঔজ্জ্বল্য বলে। একে L_s দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$L_s = 4\pi R^2 \times S \quad \ldots \quad \ldots \quad (11.1)$$

এখানে, S = সৌর ধ্রুবক যার মান 1.38×10^3 ; R = সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ যার মান $1\text{AU} = 1.496 \times 10^{11}\text{m}$।

নিজে কর : সৌর ধ্রুবক 1.38×10^3 ; সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথে ব্যাসার্ধ 1AU হলে সৌর ঔজ্জ্বল্য নির্ণয় কর। উ : 3.9×10^{26}W

কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর (Black Holes) : কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর সম্পর্কিত ধারণাটি সাম্প্রতিক। ১৯৬৯ সালে একজন আমেরিকান বিজ্ঞানী **জন হুইলার** কৃষ্ণবিবর শব্দটি সৃষ্টি করলেও চিন্তাধারাটির বয়স বস্তুত দু'শ বছর।

ঐ সময় আলো সম্পর্কে দুটি তত্ত্ব প্রচলিত ছিল— একটি হলো তরঙ্গতত্ত্ব, অপরটি কণিকাতত্ত্ব। তরঙ্গতত্ত্ব অনুসারে আলোক তরঙ্গ দিয়ে গঠিত, আর কণিকা তত্ত্ব অনুসারে আলোক কণিকা দিয়ে গঠিত। দুটি তত্ত্বই সঠিক, **আসলে আলো তরঙ্গ ও কণিকা দুইই।**

আলো যদি তরঙ্গ হয় তাহলে এর ওপর মহাকর্ষের কী প্রভাব হবে, তরঙ্গরূপী আলো মহাকর্ষ বল দ্বারা আকৃষ্ট হবে কিনা তা স্পষ্ট ছিল না। কিন্তু আলো যদি কণিকা দিয়ে গড়া হয় তাহলে এই কণিকারূপী আলোর ওপর মহাকর্ষের আকর্ষণ বল কাজ করবে না কেন? অবশ্যই আলো মহাকর্ষ দ্বারা প্রভাবিত হবে।

প্রথমে ধারণা করা হয়েছিল আলোর দ্রুতি অসীম বলে মহাকর্ষ এর দ্রুতিকে কমিয়ে আলোর গতি মন্থর করতে পারবে না। কিন্তু পরবর্তীতে আলোর দ্রুতি অসীম নয়, এর সীমা আছে এটি আবিষ্কৃত হলো। সুতরাং আলোর ওপর মহাকর্ষের গুরুত্বপূর্ণ প্রভাব থাকাটাই স্বাভাবিক।

কেমব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের একজন অধ্যাপক **জন মিচেল** তাঁর এক প্রবন্ধে বলেন যে, একটি তারকায় যদি যথেষ্ট ভর ও ঘনত্ব থাকে, তাহলে তার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র এত শক্তিশালী হবে যে, আলোক সেখান থেকে নির্গত হতে পারবে না। সেই তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত আলোক বেশি দূর যাওয়ার আগেই তারকাটির মহাকর্ষীয় আকর্ষণ তাকে পিছনে টেনে নিয়ে আসবে। এরকম বহুসংখ্যক তারকা রয়েছে বলে মিচেল ধারণা করেছিলেন। ঐ সব তারকা থেকে আলো আসতে পারে না বলে আমরা এদের দেখতে পাই না। তবে এদের মহাকর্ষ আকর্ষণ আমাদের বোধগম্য হবে, এই সমস্ত বস্তুপিণ্ডকে আমরা **কৃষ্ণবিবর** বা **কৃষ্ণগহ্বর** বলি।

কৃষ্ণবিবরের ধারণাটি আধুনিক মহাকর্ষ তত্ত্বের একটি অত্যন্ত আকর্ষণীয় ও চমকপ্রদ ফসল। একে মৌলিক নিউটনীয় নীতি থেকে ব্যাখ্যা করা যায়। আমরা আমাদের অতি পরিচিত সূর্যকে নিয়ে শুরু করতে পারি। সূর্যের ভর $M = 1.99 \times 10^{30}$ kg এবং এর ব্যাসার্ধ $= 6.96 \times 10^8$ m। সূর্য অন্যান্য নক্ষত্রের তুলনায় অনেক বড় কিন্তু অন্যান্য নক্ষত্রের মতো সূর্য অতটা ভরযুক্ত নয়। সূর্যের গড় ঘনত্ব হলো—

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{1.99 \times 10^{30}\text{ kg}}{\frac{4}{3} \times 3.14 \times (6.96 \times 10^8\text{ m})^3}$$

$$= 1410 \text{ kg m}^{-3}$$

আমরা জানি, পৃথিবীর জন্য কোনো বস্তুর মুক্তি বেগ 11.2 kms^{-1}। সূর্যের জন্য এই মুক্তি বেগ v হলো :

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2G}{R} \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \rho}$$

বা, $v = \sqrt{\frac{8G\pi\rho}{3}}\ .R$ (11.2)

বা, $v = 6.18 \times 10^5\ \text{ms}^{-1}$

বা, $v = 6.18 \times 10^2\ \text{kms}^{-1}$

এই মুক্তি বেগ ঘণ্টায় 2.2 মিলিয়ন কিলোমিটার বা 22 লক্ষ কিলোমিটারের সমান। এই বেগ আলোর বেগের প্রায় 500 ভাগের এক ভাগ বা $\frac{1}{500}$ ভাগ। সমীকরণ (11.2) থেকে দেখা যায় যে, মুক্তি বেগ $v \propto R$।

মুক্তি বেগ সূর্যের গড় ঘনত্ব ও ব্যাসার্ধের ওপর নির্ভর করে। কোনো বস্তুর ঘনত্ব যদি সূর্যের সমান এবং ব্যাসার্ধ যদি সূর্যের 500 গুণ হয়, তাহলে ঐ বস্তুর পৃষ্ঠ থেকে মুক্তি বেগ হবে আলোর দ্রুতি c এর চেয়েও বেশি। সুতরাং আলোকে সে নিজের দিকে টেনে রাখবে, ঐ বস্তু থেকে নির্গত আলো বস্তুতেই ফিরে যাবে, বস্তু থেকে বেরুতে পারবে না। এরকম বস্তুর ধারণা প্রথম দেন মিচেল। এ ধরনের বস্তুকে বর্তমানে বলা হয় **কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর**।

M ভরের কোনো বস্তু তখনই কৃষ্ণবিবর হিসেবে কাজ করবে যখন এর ব্যাসার্ধ, একটি নির্দিষ্ট সংকট ব্যাসার্ধের সমান বা কম হবে। মুক্তি বেগ v এর সমীকরণে v এর পরিবর্তে c বসালে আমরা এই সংকট ব্যাসার্ধ পেতে পারি। এই সংকট ব্যাসার্ধ বের করার জন্য **কার্ল সোয়ার্জস্কাইল্ড** আইনস্টাইনের সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব ব্যবহার করেন। ফলে সমীকরণটি দাঁড়ায়,

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{R_S}}$$

এখানে c আলোর দ্রুতি, R_S সংকট ব্যাসার্ধ

সংকট ব্যাসার্ধ R_s কে সোয়ার্জস্কাইল্ড ব্যাসার্ধও বলা হয়। R_S এর জন্য সমাধান করে আমরা পাই,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (11.3)$$

M ভরবিশিষ্ট অঘূর্ণনশীল বা ঘূর্ণনবিহীন কোনো গোলকীয় বস্তুর ব্যাসার্ধ যদি R_s হয় তাহলে কোনো কিছুই (আলোও) এই বস্তুপৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হতে পারবে না এবং বস্তুটি কৃষ্ণবিবর হিসেবে কাজ করবে। এ ক্ষেত্রে R_s ব্যাসার্ধের মধ্যে কোনো বস্তু থাকলে কৃষ্ণবিবরের মহাকর্ষ আকর্ষণ দ্বারা আটকা পড়বে এবং বস্তুটি থেকে মুক্ত হতে পারবে না। কৃষ্ণবিবরকে ঘিরে R_s ব্যাসার্ধের গোলকের পৃষ্ঠকে বলা হয় **'ঘটনা দিগন্ত'**। কারণ, যেহেতু আলো এই গোলকের ভিতর থেকে বেরিয়ে আসতে পারে না, সুতরাং এর ভেতরে সংঘটিত কোনো ঘটনা আমরা দেখতে পাই না। এই ঘটনা দিগন্তের বাইরের কোনো পর্যবেক্ষক শুধু জানতে পারেন এখানে একটি কৃষ্ণবিবর আছে, জানতে পারেন এর ভর (অন্য বস্তুর ওপর এর মহাকর্ষীয় প্রভাব থেকে), এর তড়িৎ আধান (অন্য আহিত বস্তুর ওপর কৃষ্ণবিবর প্রযুক্ত তড়িৎ বল দ্বারা) এবং এর কৌণিক ভরবেগ।

কৃষ্ণবিবর কী করে তৈরি হয় সেটা বুঝতে হলে আমাদের তারকার জীবনচক্র বুঝতে হবে। যখন বৃহৎ পরিমাণ বায়ু নিজস্ব মহাকর্ষীয় আকর্ষণের চাপে নিজের উপরেই চুপসে যেতে থাকে তখন একটি তারকা সৃষ্টি হয়। তারকাটি সংকুচিত হবার সাথে বায়ুর পরমাণুগুলো ক্রমশ বেশি ঘন ঘন ও বর্ধনশীল দ্রুতিতে পারস্পরিক সংঘর্ষ হতে থাকে, ফলে বায়ু উত্তপ্ত হয়। শেষ পর্যন্ত এতটা উত্তপ্ত হয় যে প্রবল তাপে হাইড্রোজেন পরমাণু ফিউশনিত হয়ে হিলিয়াম পরমাণুতে পরিণত হয়। এই প্রক্রিয়া একটি নিয়ন্ত্রিত হাইড্রোজেন বোমা বিস্ফোরণের মতো, এর ফলে যে তাপ নির্গত হয় তার জন্যই তারকাটি আলোক বিকিরণ করে।

নক্ষত্রের জন্ম ও জীবনচক্র : শুরুতে নক্ষত্র থাকে আন্তঃনাক্ষত্রিক ধূলিকণা ও গ্যাসের এক বিশাল মেঘ রূপে। মহাকর্ষ বলের প্রভাবে ধূলিকণা ও গ্যাসের এই বিশাল মেঘ সংকুচিত হয়। সংকোচনের সময় উচ্চ চাপ ও উচ্চ তাপমাত্রার সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে যখন কয়েক মিলিয়ন ডিগ্রি হয়, তখন তাপ-নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, পরিণামে বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। ফলে পদার্থের গোলকটি দীপ্তি ছড়ায়। এই অবস্থা বা ধাপকে বলা হয় নক্ষত্রের জন্ম। নক্ষত্রের বিবর্তনের এটি হলো আদি বা প্রারম্ভিক পর্ব। বামন নক্ষত্র এই ধাপে পাওয়া যায়। মোট নক্ষত্র সংখ্যার শতকরা ৯০ ভাগ হলো এই বামন নক্ষত্র। আমাদের সূর্য বর্তমানে এই ধাপে রয়েছে।

নক্ষত্রের কেন্দ্রীয় মূলবস্তুতে বা অন্তর্বস্তুতে যতক্ষণ পর্যন্ত হাইড্রোজেন জ্বালানি থাকে, ততক্ষণ নক্ষত্রে তাপ নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটতে থাকে। হাইড্রোজেন নিঃশেষ হয়ে গেলে নক্ষত্রের মূলবস্তু সংকুচিত হতে থাকে কিন্তু বহিস্থ অংশ তখনও প্রসারিত হতে থাকে। ফলে নক্ষত্রের ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং একই সাথে পৃষ্ঠ তাপমাত্রা হ্রাস পেতে থাকে। নক্ষত্রের বিবর্তনের এই ধাপকে বলা হয় **দানব নক্ষত্র** বা অতি দানব নক্ষত্র। এসব নক্ষত্রের ব্যাসার্ধ সূর্যের ব্যাসার্ধের 50 থেকে 220 গুণ পর্যন্ত হয়। এখন থেকে 5 বিলিয়ন (500 কোটি) বছর পরে আমাদের সূর্য এই ধাপে পৌছাবে।

নক্ষত্র বামন ধাপের চেয়ে অনেক কম সময় দানব ধাপে থাকে। প্রায় এক মিলিয়ন বছর পর দানব নক্ষত্র শীতল হতে থাকে ফলে নক্ষত্রটি সংকুচিত হতে থাকে। এর পরে এই নক্ষত্রের কী ঘটবে তা নির্ভর করে এর আদি বা মূল ভরের ওপর। যেসব সম্ভাব্য অবস্থা বা ধাপ ঘটতে পারে তা হলো :

(ক) নক্ষত্রের ভর যদি দুই সৌর ভরের চেয়ে কম হয় : এ রকম অবস্থায় নক্ষত্রটি যখন সংকুচিত হতে থাকে, তখন এর শক্তি মুক্ত হতে থাকে কিন্তু এটি এমন একটি ধাপে বা অবস্থায় পৌছায় যে এটি এর বহিস্থ আস্তরণকে উড়িয়ে বা ছুঁড়ে দেয়। ফলে হঠাৎ করেই প্রচুর পরিমাণ শক্তি নির্গত হয় যা নক্ষত্রের ঔজ্জ্বল্য বাড়িয়ে দেয়। এ ধাপে নক্ষত্রটি এত উজ্জ্বল হয় যে, খালি চোখেও দেখা যায়। এটি এখন **নোভা স্টার** বা নোভা **নক্ষত্র** অর্থাৎ একটি নতুন নক্ষত্র।

উপরোক্ত বিস্ফোরণে যা অবশিষ্ট থাকে তাকে বলা হয় **শ্বেত বামন নক্ষত্র**। নিউক্লিয়ার ফিউশন প্রক্রিয়ায় শক্তি উৎপাদনের জন্য কোন হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম এতে থাকে না। নক্ষত্রটি থাকে অত্যন্ত ঘন বা ভারী। সময়ের সাথে এর ঔজ্জ্বল্য কমতে থাকে, যতক্ষণ পর্যন্ত না এটি দীপ্তি ছড়ায়।

(খ) নক্ষত্রের ভর যখন দুই থেকে পাঁচ সৌর ভরের মধ্যে থাকে : এ রকম নক্ষত্রের বেলায়, সংকোচনের সময় এমন একটি ধাপে পৌছায় যে, এটি এর বহিস্থ আস্তরণ ছুঁড়ে দিয়ে অত্যন্ত উজ্জ্বল হয়ে যায়। একে বলা হয় **সুপার নোভা**। নক্ষত্রটি যখন সুপার নোভা হিসেবে বিস্ফোরিত হয়, তখন এর কোর বা মূলবস্তুর চাপ এত বেশি হয় যে, প্রোটন ও ইলেকট্রন একত্রিত হয়ে নিউট্রন গঠন করে। একে তাই বলা হয় **নিউট্রন স্টার বা নিউট্রন নক্ষত্র**। নিউট্রন নক্ষত্রের সাথে জড়িত থাকে অতি উচ্চ চৌম্বকক্ষেত্র। এটি তাই একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর রেডিও পাল্‌স নির্গমন করে, একে তাই **পালসার** বলা হয়। ১৯৬৭ সালে প্রথম নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসারকে উদ্‌ঘাটন করা সম্ভব হয়েছিল।

(গ) নক্ষত্রের ভর যখন পাঁচ সৌর ভরের চেয়ে বেশি হয় : সুপার নোভা বিস্ফোরণের পর নক্ষত্রের ভর যদি খুব বেশি হয় তখন এর অন্তর্বস্তু অনির্দিষ্টভাবে সংকুচিত হতে থাকে। এভাবে যে বস্তু তৈরি হয় তাকে কৃষ্ণবিবর বলে। কৃষ্ণবিবরের ঘনত্ব থাকে অত্যন্ত বেশি এবং এর পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g এর মান অত্যন্ত বেশি থাকে। প্রকৃতপক্ষে g এর মান এত বেশি হয় যে, এমনকি ফোটন কণাও এর পৃষ্ঠ থেকে মুক্ত হতে বা বেরিয়ে আসতে পারে না। কোনো কণিকা বা ফোটন এর কাছে যেতে থাকলে, তাৎক্ষণিকভাবে এর মধ্যেই হারিয়ে যায়। এ কারণেই এরকম বস্তুকে বলা হয় কৃষ্ণবিবর।

গাণিতিক উদাহরণ ১১.১। জ্যোতিপদার্থবিদ্যায় সাম্প্রতিক তত্ত্ব থেকে জানা যায় যে, ভস্মীভূত নক্ষত্র এর নিজের মহাকর্ষের প্রভাবেই ধ্বংস হয়ে কৃষ্ণবিবরের রূপ নিতে পারে। তবে এ জন্য এর ভর হতে হবে দুই সৌর ভরের সমান। (সূর্যের ভর = 2×10^{30} kg হল এক সৌর ভর)। এ রকম ক্ষেত্রে ঘটনা-দিগন্তের ব্যাসার্ধ কত?

আমরা জানি যে,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$\therefore R_s = \frac{2 \times (6.67 \times 10^{-11} \text{ N m kg}^{-2}) \times (4 \times 10^{30} \text{ kg})}{(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2}$$

$$= 5.93 \times 10^3 \text{ m}$$

$$= 5.93 \text{ km}$$

উ: 5.93 km.

এখানে,

সর্বজনীন মহাকর্ষ ধ্রুবক,

$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

নক্ষত্রের ভর, $M = 2 \times$ সূর্যের ভর

$= 2 \times 2 \times 10^{30}$ kg

$= 4 \times 10^{30}$ kg

ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ, $R_s = ?$

১১.৪। মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত যন্ত্রের মূলনীতি
Basic Principles of Instruments Used for Observation of the Universe

মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য নানা রকম যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাদের মধ্যে কয়েকটি উল্লেখযোগ্য। এরা হলো—

(ক) রেডিও টেলিস্কোপ

(খ) অপটিক্যাল টেলিস্কোপ

(গ) কৃত্রিম উপগ্রহ

(ঘ) গামা-রে ও এক্স-রে

(ক) রেডিও টেলিস্কোপ (Radio Telescope) : যে যন্ত্রের সাহায্যে খ-বস্তু থেকে নির্গত তাড়িত চৌম্বক তরঙ্গ (রেডিও তরঙ্গ) উদ্‌ঘাটন ও পরিমাপ করে ঐসব বস্তু সম্পর্কে অনুসন্ধান চালানো হয় তাকে রেডিও টেলিস্কোপ বলে। রেডিও টেলিস্কোপ যে মূল নীতিতে কাজ করে তাহলো মহাকাশের বিভিন্ন জ্যোতিষ্ক থেকে তাপীয় নিঃসরণ হিসাবে উৎপন্ন রেডিও তরঙ্গ গ্রহণ ও বিবর্ধন করে তা পর্যালোচনা করা। এখানে পর্যবেক্ষিত রেডিও তরঙ্গকে বিচ্ছিন্ন ফোটন হিসাবে বিবেচনা না করে তরঙ্গ হিসাবে বিবেচনা করা হয়। এই যন্ত্রে পরাবৃত্তের আকারের তারের জালি দিয়ে তৈরি এক ধরনের অ্যানটেনা থাকে। এই অ্যানটেনার ওপর রেডিও তরঙ্গ আপতিত হলে তা প্রতিফলিত হয়ে পরাবৃত্তের ফোকাসে কেন্দ্রীভূত হয়। এই রেডিও সঙ্কেতকে প্রায় 1000 গুণ-বিবর্ধিত করা হয়। এই তরঙ্গ উপযুক্ত গ্রাহকযন্ত্রে পাঠানো হয়। অ্যানটেনা ও তার আনুষঙ্গিক যন্ত্রকে ঘুরিয়ে যে কোনো দিকে স্থাপন করা যায়। এভাবে গোটা আকাশে রেডিও তরঙ্গ বিকিরণ করছে এমন জ্যোতিষ্কের সন্ধান পাওয়া যায়। রেডিও তরঙ্গ দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গের চেয়ে দীর্ঘ। সুতরাং রেডিও টেলিস্কোপের রন্ধ্র (aperture) অপটিক্যাল টেলিস্কোপের চেয়ে বড় হতে হয়। এই যন্ত্রের সুবিধা হলো এই যন্ত্র মেঘাচ্ছন্ন আবহাওয়ায়ও কাজ করতে পারে। এই যন্ত্র দিয়ে দিনের বেলায়ও কাজ করা যেতে পারে। কারণ এই যন্ত্রের জন্য খ-বস্তুর দৃশ্যমান হওয়ার দরকার নেই। এর রন্ধ্র অত্যন্ত বড় হওয়ার খুব দুর্বল রেডিও সঙ্কেতও এটা সংগ্রহ করতে পারে। এর জন্য খরচ কম পড়ে। অসুবিধা হলো এর দ্বারা উচ্চ বিশ্লেষী ক্ষমতা পাওয়া যায় না। রেডিও সম্প্রচারের কারণে এর কাজ বিঘ্নিত হয়।

(খ) অপটিক্যাল টেলিস্কোপ বা দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Optical Telescope)

যে যন্ত্রের সাহায্যে বহু দূরের বস্তু পরিষ্কারভাবে দেখা যায় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। অপটিক্যাল টেলিস্কোপের মূলনীতি হলো প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ও এদের বিবর্ধনের মাধ্যমে মহাকাশের কোনো জ্যোতিষ্ক পর্যবেক্ষণ ও তাদের সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ। দূরবীক্ষণ যন্ত্র সাধারণত দু'ধরনের হয়। যথা—

ক. প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র ও

খ. প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

যে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে বড় উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্বের লেন্স ব্যবহার করা হয় তাকে প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। প্রতিসারক দূরবীক্ষণকে প্রধানত তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—

১. নভো বা জ্যোতির্বিদ্যা দূরবীক্ষণ যন্ত্র,

২. ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র ও

৩. গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

যে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে অবতল দর্পণ ব্যবহার করা হয় তাকে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবার তিন ধরনের হয়। যথা—

১. নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র,

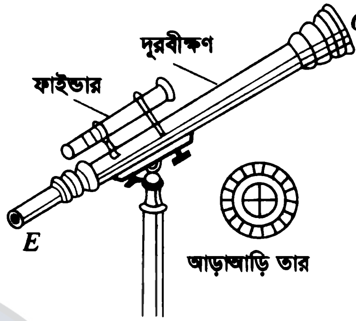
২. হার্সেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র ও

৩. গ্রেগরীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

জ্যোতির্বিদ্যা সংক্রান্ত দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical Telescope)

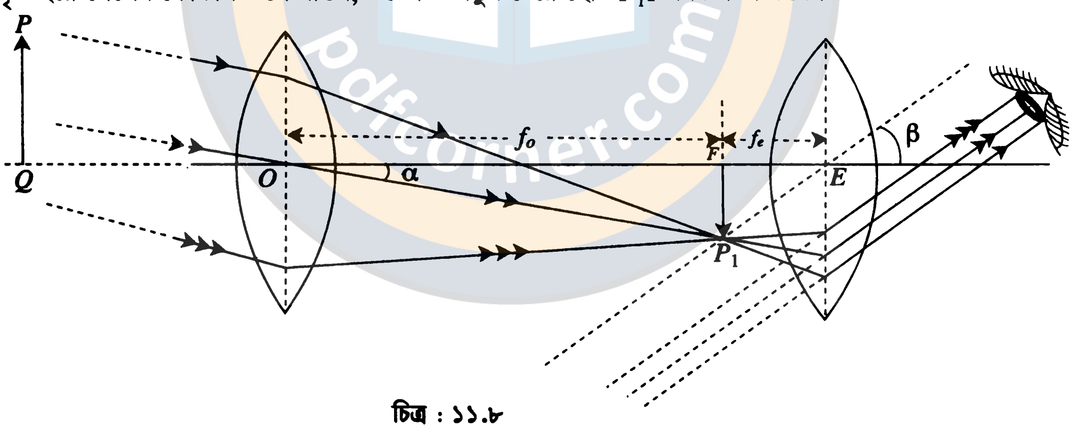
আকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য এই ধরনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ কেপলার (1571 – 1630) সর্বপ্রথম এই যন্ত্র তৈরি করেন।

প্রধানত দুটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে এই যন্ত্র তৈরি করা হয়। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের সাহায্যে একটি ধাতব চোঙের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় [চিত্র : ১১·৭]। যে লেন্সটি সর্বদা বস্তুর দিকে থাকে তাকে অভিলক্ষ্য (O) বলে। এটি ক্রাউন কাচের তৈরি এবং এর ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত বড়। যে লেন্সের পিছনে চোখ রেখে দেখতে হয় সেটি অভিনেত্র (E)। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি এবং এর ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত ছোট। প্রয়োজনে স্ক্রুর সাহায্যে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। এই যন্ত্রের বিবর্ধন খুব বেশি কিন্তু দৃষ্টিক্ষেত্র ছোট বলে এর গায়ে ভিউ ফাইন্ডার নামে অল্প ফোকাস দূরত্ব ও প্রশস্ত দৃষ্টিক্ষেত্রের একটি যন্ত্র লাগানো থাকে।



চিত্র : ১১.৭

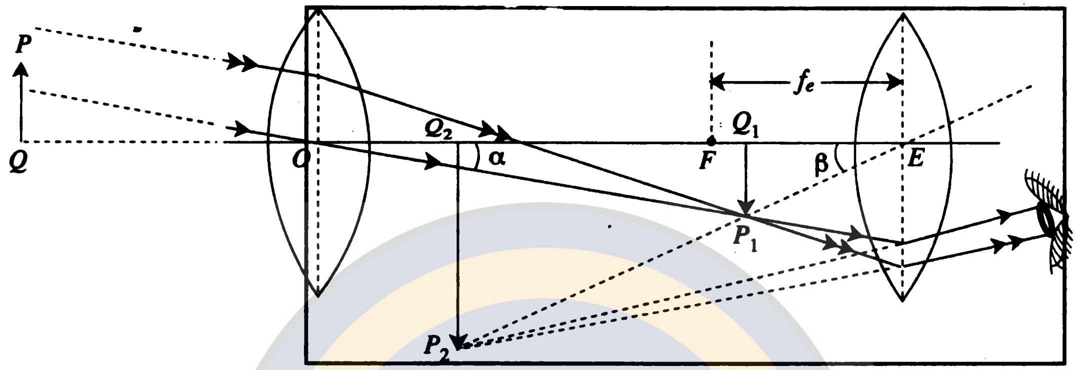
কার্যপ্রণালি : ধরা যাক, O ও E যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র। OE এদের প্রধান অক্ষ। বহু দূরে কোনো বস্তু PQ থেকে যে আলোক রশ্মি অভিলক্ষ্যে এসে পড়ে তাদেরকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলে ধরা যায়। ধরা যাক, সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ সামান্য আনতভাবে অভিলক্ষ্যের ওপর আপতিত হয় [চিত্র : ১১·৮]। রশ্মিগুলো অভিলক্ষ্য দ্বারা প্রতিসৃত হয়ে লেন্সের ফোকাস তলে বাস্তব, উল্টো ও বস্তুর চেয়ে ছোট P_1F বিম্ব গঠন করে।



চিত্র : ১১.৮

এখন P_1F বিম্ব অভিনেত্রের সামনে লক্ষ্যবস্তুর কাজ করে। অভিনেত্রটিকে এমন দূরত্বে রাখা হয় যেন P_1F বিম্ব অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দুতে (F) থাকে। ফলে P_1F থেকে নিঃসৃত রশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্র লেন্সে প্রতিসৃত হয়ে সমান্তরালভাবে চলে যায়। ফলে অসীম দূরত্বে লক্ষ্যবস্তুর একটি উল্টো, বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। স্ক্রুর সাহায্যে অভিনেত্রকে নির্দিষ্ট স্থানে বসানোকে ফোকাসিং বলে। দূরবীক্ষণে এই ফোকাসিংকে অসীম দূরত্ব বা স্বাভাবিক দর্শন ফোকাসিং বলে। এই ফোকাসিং-এর ফলে গঠিত বিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয় বলে চোখের জন্য পরিষ্কার দেখা যায় না।

বিম্ব বিনাক্লেশে স্পষ্টভাবে দেখতে হলে তা চোখের নিকট বিন্দুতে গঠিত হওয়া প্রয়োজন। এরূপ বিম্ব গঠনের জন্য অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে খানিকটা এগিয়ে দেওয়া হয় যাতে করে অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্ব P_1Q_1 অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে পড়ে [চিত্র : ১১·৯]। এখন P_1Q_1 থেকে নির্গত আলোক রশ্মি অভিনেত্রের মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হয়ে P_2Q_2 সোজা, অবাস্তব ও বিবর্ধিত বিম্ব গঠন করে। অভিনেত্রকে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন P_2Q_2 বিম্ব চোখের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়। অভিনেত্রেব এই ধরনের ফোকাসিংকে **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং** বা **নিকট ফোকাসিং** বলে।



চিত্র : ১১.৯

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যনীতি দ্বিতীয় অধ্যায়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।

(গ) কৃত্রিম উপগ্রহ (Artificial Satellite) : কৃত্রিম উপগ্রহ হলো এক ধরনের মহাশূন্যযান যা পৃথিবী, চন্দ্র, সূর্য অথবা কোনো গ্রহের চারদিকে আবর্তন করে। এই উপগ্রহ বিভিন্ন কাজে ব্যবহার করা হয়। যেমন টেলিফোন, রেডিও, টিভি সঙ্কেতকে সারা বিশ্বে ছড়িয়ে দিতে এই উপগ্রহ ব্যবহৃত হয়। গোয়েন্দাগিরি, গাবেষণা, আবহাওয়ার পূর্বাভাস, মহাকাশ গবেষণা ইত্যাদি বিভিন্ন কাজে এর ব্যবহার রয়েছে। আমরা এখানে মহাকাশ গবেষণা তথা জ্যোতির্বিদীয় অনুসন্ধানে কৃত্রিম উপগ্রহের ব্যবহার নিয়ে আলোচনা করব।

আমরা জানি যে, মহাকাশের খ-বস্তু দ্বারা নিঃসৃত তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ তাড়িত চৌম্বক বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সকল পাল্লা জুড়ে থাকে। এই বিকিরণ প্রধান অংশ হয় বায়ুমণ্ডল দ্বারা শোষিত বা প্রতিফলিত হয়। ফলে পৃথিবী শুধু দৃশ্যমান বিকিরণ ও রেডিও তরঙ্গের সামান্য পরিমাণ গ্রহণ করে। এই মহাশূন্য প্রোব (space probe) বা মহাশূন্য অনুসন্ধানী অপটিক্যাল ও রেডিও টেলিস্কোপ ছাড়াও মহাবিশ্ব অনুসন্ধানের জন্য ব্যবহৃত সকল রকম কৌশল অবলম্বন করে। মহাশূন্য অনুসন্ধানের অন্যতম পদ্ধতি হলো কৃত্রিম উপগ্রহের ব্যবহার। কৃত্রিম উপগ্রহের সাহায্যে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের উপরে গিয়ে খ-বস্তু পর্যবেক্ষণ ও অনুসন্ধান করা যায়। কৃত্রিম উপগ্রহ আসার ফলে বিশেষভাবে ডিজাইন করা টেলিস্কোপ কক্ষপথে স্থাপন করে তাড়িত চৌম্বক বর্ণালির এক্সরে ও অতিবেগুনি অঞ্চলের পর্যবেক্ষণ চালানো যায়। সুতরাং মহাশূন্য প্রোবের সাহায্যে খ-বস্তু সম্পর্কে অনেক অনেক বেশি তথ্য-সংগ্রহ ও বিশ্লেষণ করা যায়।

(ঘ) গামা-রে ও এক্স-রে জ্যোতির্বিজ্ঞান (Gamma -ray and X-ray Astronomy)

গামা-রে : গামা-রে ফোটন ব্যবহার করে জ্যোতির্বিদীয় অনুসন্ধান হলো গামা-রে জ্যোতির্বিদ্যা। গামা-রে জ্যোতির্বিদ্যার মূলনীতি হলো জ্যোতিষ্ক থেকে নিঃসৃত অতিমাত্রায় শক্তিসম্পন্ন তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ গামা-রে বিশ্লেষণ এবং ঐসব জ্যোতিষ্ক সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ। বায়ুমণ্ডলে সংঘটিত ইলেকট্রন-ফোটন সমগ্র প্রপাতের দ্বারা অতি উচ্চ শক্তির মহাজাগতিক বিকিরণ উদঘাটন করা যায়। নিম্নশক্তি বিশিষ্ট গামা-রে কেবলমাত্র বায়ুমণ্ডলের উপরে উদঘাটন করা যায়। অনেক উচ্চশক্তি প্রক্রিয়া বায়ুমণ্ডলে গামা-রে উৎপাদনের জন্য দায়ী, উদাহরণ হিসাবে নিরপেক্ষ পায়নের (pion) ক্ষয়ের কথা বলা যেতে পারে। একটি গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা হলো গামা-রে বিস্ফোরণ। ঘটনাটি কয়েক সেকেন্ডের বেশি স্থায়ী হয় না, কিন্তু এটি আকাশে গামা-রে-এর সবচেয়ে প্রবল শক্তিশালী উৎস।

বিশ্বজগতের গামা-রে বিকিরণ ধরা সম্ভব হলে অনেক নতুন তথ্যের সন্ধান পাওয়া যাবে। গামা-রের ভেদনক্ষমতা বেশি বলেই এক্সরশ্মি, বেতারতরঙ্গ আরো যেসব ঘটনা বা অবস্থানের খবর দিতে পারে না, গামা-রে সেসব খবর নিয়ে আসতে পারে। গামা-রের মহাকর্ষজনিত লাল অপসারণ পদ্ধতি থেকে নিউট্রন নক্ষত্র ও কৃষ্ণ গহ্বরের পৃষ্ঠদেশের সঠিক বৃত্তান্ত পাওয়া যাবে। নোভা, সুপারনোভা, নিউট্রন নক্ষত্র, কৃষ্ণ গহ্বর, নক্ষত্রজগতের ধূলিকণা ও বায়ু এদের বৈচিত্র্যের রহস্য উদঘাটনে গামা-রে অন্যসব বিকিরণের চেয়ে বেশি শক্তিশালী হবে সন্দেহ নেই।

এক্স-রে : আমাদের গ্যালাক্সির ভিতর ও বাইরের জ্যোতির্বিদীয় উৎস থেকে নির্গত এক্স-রে নিয়ে যা আলোচনা করে তাই এক্স-রে জ্যোতির্বিদ্যা। এক্স-রে জ্যোতির্বিদ্যার মূলনীতি হলো বিভিন্ন জ্যোতিষ্ক থেকে এক্স-রে তরঙ্গদৈর্ঘ্যে নির্গত বিকিরণের উপর ভিত্তি করে এটা কাজ করে। এসব বস্তু এদের হালকা ও ভারী গ্যাস থেকে তাপীয় নিঃসরণের মাধ্যমে এক্স-রে বিকিরণ করে। এক্স-রে যেহেতু পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল দ্বারা শোষিত হয় 150 km এর বেশি উচ্চতায় কৃত্রিম উপগ্রহ, রকেট বা বেলুনে যন্ত্রপাতি স্থাপন করে পর্যবেক্ষণ চালাতে হয়। এক্সরে অতি উচ্চতাপমাত্রার (প্রায় 10^4 থেকে 10^6 K) গ্যাস থেকে উৎপন্ন তাপীয় বিকিরণ অথবা চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে বা নিম্নশক্তি ফোটনের সাথে উচ্চশক্তি ইলেকট্রনের মিথস্ক্রিয়ার ফলে সৃষ্টি হতে পারে। বিভিন্ন যন্ত্রপাতি যেমন প্রোপরশনাল কাউন্টার, চার্জড-কাপল্‌ড ডিভাইস বা গ্রেজিং ইনসিডেন্ট টেলিস্কোপ দিয়ে এক্সরে উদঘাটন করা যেতে পারে।

গ্যালাক্সিতে সবচেয়ে সাধারণ ও উজ্জ্বল এক্স-রে উৎস হলো এক্সরে বাইনারি যাতে স্বাভাবিক নক্ষত্র থেকে কোনো নিকটবর্তী সঙ্গী যেমন কোনো শ্বেতবামন, নিউট্রন নক্ষত্র বা এমনকি কোনো কৃষ্ণ বিবরে গ্যাস প্রবাহিত হয়। সুপারনোভার ধ্বংসাবশেষ যেমন কাকড়া নেবুলা (Crab nebula) হলো অন্য একটি উৎস। ক্ষীণতর কিন্তু স্বকীয়ভাবে অত্যন্ত ক্ষমতাশালী এক্স-রে নিঃসরণ ঘটে গ্যালাক্সির বাইরের বস্তু বিশেষ করে সক্রিয় গ্যালাক্সি যেমন সেফার্ট গ্যালাক্সি, কোয়াসার ও ক্ষমতাশালী রেডিও গ্যালাক্সি থেকে।

সার-সংক্ষেপ

জ্যোতির্বিজ্ঞান : যে শাস্ত্র আকাশ ও মহাকাশের সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ, নক্ষত্র, নীহারিকা ইত্যাদি বিষয়ে তথ্যাদির বিবরণসহ আলোচনা ও অনুসন্ধান করে তাকে জ্যোতির্বিজ্ঞান বলে।

সৃষ্টিতত্ত্ব বা কসমোলজি : মহাবিশ্বের প্রকৃতি, উৎস ও বিবর্তন নিয়ে যে পর্যালোচনা তাকে বলা হয় সৃষ্টিতত্ত্ব।

সৌরজগৎ : সূর্য ও এর গ্রহ ও উপগ্রহ, ধূমকেতু, উল্কা, গ্রহাণু, গ্যাস, ধূলিকণা ইত্যাদি নিয়ে সৌর জগৎ গঠিত।

নক্ষত্র : যে সকল নভোমণ্ডলীয় পদার্থের সূর্যের ন্যায় নিজস্ব আলো আছে এবং তা আলো দেয় তাকে বলা হয় নক্ষত্র।

গ্যালাক্সি : অনেকগুলো নক্ষত্রের সমাবেশকে বলা হয় গ্যালাক্সি। আমরা যে গ্যালাক্সিতে বাস করি তার নাম আকাশগঙ্গা (Milkyway)। এই গ্যালাক্সিতে নক্ষত্রের সংখ্যা প্রায় 10^{11}।

রেডিও গ্যালাক্সি : যেসব গ্যালাক্সি রেডিও কম্পাঙ্কের তাড়িত চৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ করে তাদের রেডিও গ্যালাক্সি বলা হয়।

কোয়াসার : কোয়াসার হলো আধানাক্ষত্রিক রেডিও উৎস। এদের গঠন নক্ষত্রের ন্যায় এবং এরা ক্ষমতাশালী বেতার তরঙ্গ নিঃসরণ করে। এ পর্যন্ত প্রায় 150টি কোয়াসার শনাক্ত করা গেছে।

সুপারনোভা : যে সকল নক্ষত্রের ভর দুই থেকে পাঁচ সৌরভরের মধ্যে তারা সংকোচনের সময় এমন একটি ধাপে পৌছায় যে, এটি এর বহিস্থ আস্তরণ ছুড়ে দিয়ে অত্যন্ত উজ্জ্বল হয়ে যায়। এদেরকে বলা হয় সুপারনোভা।

নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার : কোনো নক্ষত্র যখন সুপারনোভা হিসেবে বিস্ফোরিত হয়, তখন এর কোর বা মূলবস্তুর চাপ এত বেশি হয় যে, প্রোটন ও ইলেকট্রন একত্রিত হয়ে নিউট্রন গঠন করে। তাই একে নিউট্রন নক্ষত্র বলা হয়। নিউট্রন নক্ষত্রের সাথে জড়িত থাকে অতি উচ্চ চৌম্বক ক্ষেত্র। এটি তাই নির্দিষ্ট সময় অন্তর রেডিওপাল্‌স বা বেতার স্পন্দন নির্গমন করে, তাই একে পালসার বলা হয়।

কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর : একটি তারকায় যদি যথেষ্ট ভর ও ঘনত্ব থাকে তাহলে তার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র এত শক্তিশালী হবে যে, আলো সেখান থেকে নির্গত হতে পারবে না। সেই তারকার পৃষ্ঠ হতে নির্গত আলো বেশি দূরে

যাওয়ার আগেই তারকাটির মহাকর্ষীয় আকর্ষণ তাকে পেছনে টেনে নিয়ে আসবে। ঐ সব তারকা থেকে আলো আসতে পারে না বলে আমরা এদের দেখতে পাই না। তবে এদের মহাকর্ষ আকর্ষণ আমাদের বোধগম্য হবে, এই সমস্ত বস্তুপিণ্ডকে কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর বলে।

রেডিও টেলিস্কোপ : যে যন্ত্রের সাহায্যে খ-বস্তু থেকে নির্গত তাড়িত চৌম্বক তরঙ্গ বা রেডিও তরঙ্গ উদঘাটন ও পরিমাপ করে এসব বস্তু সম্পর্কে অনুসন্ধান চালানো হয় তাকে রেডিও টেলিস্কোপ বলে।

অনুশীলনী

ক–বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

১। আকাশ গঙ্গা (Milkyway) কোনটি?

(ক) সৌরজগতের একটি গ্রহ ○ (খ) সৌরজগতের কেন্দ্র সূর্য ○

(গ) অন্যতম সৌরজগৎ ○ (ঘ) মহাবিশ্বের একটি গ্যালাক্সি ○

২। কৃষ্ণবিবরের নাম কৃষ্ণবিবর হওয়ার কারণ কোনটি?

(ক) এটি মহাশূন্যের সে অংশ যাতে কোনো পদার্থ নেই ○

(খ) এটা সম্পূর্ণই কার্বন দিয়ে তৈরি ○

(গ) এর মহাকর্ষ এত বেশি যে এটা থেকে মহাশূন্যে আলো বিকিরিত হতে পারে না ○

(ঘ) এটি এমন একটি নক্ষত্র যা কোনো দৃশ্যমান আলো বিকিরণ করে না ○

৩। সূর্য নিরবচ্ছিন্নভাবে শক্তি বিকিরণ করে এবং এর ঔজ্জ্বল্য বজায় রাখে তার কারণ কী?

(ক) এতে হিলিয়ামের ফিশান ঘটে হাইড্রোজেন তৈরি হয় ○

(খ) এর মজ্জায় কার্বনের দহন ঘটে ○

(গ) এর মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয় ○

(ঘ) এতে হাইড্রোজেন ফিউশনিত হয়ে হিলিয়াম তৈরি হয় ○

৪। আমরা যে গ্যালাক্সিতে বাস করি তা কোনটি?

(ক) একটি সর্পিল গ্যালাক্সি ○ (খ) রেডিও গ্যালাক্সি ○

(গ) অনিয়মিত গ্যালাক্সি ○ (ঘ) উপরের কোনোটাই নয় ○

৫। নিচের বাক্যগুলো পড় :

(i) সম্প্রসারণশীল বিশ্ব সম্পর্কিত ধারণা মহাবিস্ফোরণ তত্ত্ব বিরোধী।

(ii) সূর্যের চেয়ে ১.৪ গুণ বেশি ভর বিশিষ্ট নক্ষত্র ভেঙ্গে গিয়ে শেষ পর্যন্ত কৃষ্ণবিবরে পরিণত হয়।

(iii) এক্স-রে জ্যোতির্বিদ্যায় মহাশূন্য অনুসন্ধানের জন্য কৃত্রিম উপগ্রহে যন্ত্রপাতি স্থাপন করতে হয়।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii ○ (খ) ii ও iii ○

(গ) i ও iii ○ (ঘ) i, ii ও iii ○

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা :

১. (ঘ) ২. (গ) ৩. (ঘ) ৪. (ক) ৫. (গ)

খ–বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। বাংলাদেশে মহাকাশ গবেষণা সংস্থা মহাকাশ পর্যবেক্ষণ ও অনুসন্ধানের জন্য একটি মহাশূন্য প্রোবে যন্ত্রপাতি স্থাপন করল।

(ক) মহাশূন্য প্রোব কী?
(খ) এক্স-রে জ্যোতির্বিদ্যা ও গামা-রে জ্যোতির্বিদ্যার ব্যাখ্যা কর।
(গ) মহাকাশ প্রোব দিয়ে যে অনুসন্ধান চালানো হয় তা বর্ণনা কর।
(ঘ) রেডিও টেলিস্কোপ ও অপটিক্যাল টেলিস্কোপের কার্য প্রণালি তুলনা কর।

২। আমরা যে গ্যালাক্সিতে বাস করি তার নাম আকাশ গঙ্গা। সৌরজগৎ এই গ্যালাক্সির একটি অংশ।

(ক) সৌরজগৎ কাকে বলে?
(খ) কৃষ্ণবিবর কী ব্যাখ্যা কর।
(গ) গ্যালাক্সি কত প্রকার ও কী কী?
(ঘ) যা কিছু আছে তাদের সবকিছু নিয়ে মহাকাশ—বিশ্লেষণ কর।

গ-বিভাগ : সাধারণ প্রশ্ন

১। মহাবিশ্ব কী?
২। মহাবিশ্বের মূল বস্তুগুলোর একটি তালিকা তৈরি কর।
৩। মহাকাশ অনুসন্ধান অপটিক্যাল টেলিস্কোপ ও রেডিও টেলিস্কোপের সুবিধা তুলনা কর।
৪। নক্ষত্রের জন্ম ও মৃত্যুর বিভিন্ন ধারা আলোচনা কর।
৫। লোহিত দানব ও শ্বেতবামনের মধ্যে পার্থক্য কী? এরা কীভাবে সৃষ্টি হয়?
৬। এক্স-রে ও গামা-রে জ্যোতির্বিদ্যা কী? এদের দিয়ে কীভাবে মহাকাশে অনুসন্ধান চালানো হয়?
৭। কৃষ্ণবিবর কী? কৃষ্ণবিবর কীভাবে সৃষ্টি হয়?

ঘ-বিভাগ : গাণিতিক সমস্যা

১। একটি নক্ষত্রের ভর সূর্যের পাঁচগুণ। নক্ষত্রটি যদি কৃষ্ণবিবরে রূপান্তরিত হয় তবে এর সোয়ার্জস্কাইড বা ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। সূর্যের ভর 2×10^{30}kg। [উ: 14.82 km]

২। একটি কৃষ্ণবিবরের সোয়ার্জস্কাইড ব্যাসার্ধ 17.7 km। এর ভর নির্ণয় কর। [উ: 11.94×10^{30} kg]

৩। একটি কৃষ্ণবিবরের ঘটনা-দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5.9 km। এর ভর ও গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উ: 40×10^{30} kg ; 4.66×10^{18} kg m^{-3}]

৪। দুটি কৃষ্ণবিবরের ঘটনা-দিগন্তের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 21 km এবং 6 km। তাদের ভরের তুলনা কর। [উ: 3.5 : 1]

৫। দুটি কৃষ্ণবিবরের ঘটনা-দিগন্তের ব্যাসার্ধের অনুপাত 2.25 : 1। প্রথমটির ভর সূর্যের ভরের 5 গুণ হলে দ্বিতীয়টির ভর নির্ণয় কর। [উঃ 4.44×10^{30} kg]

pdfcorner.com

হাসান বুক হাউস ঢাকা

জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক অনুমোদিত