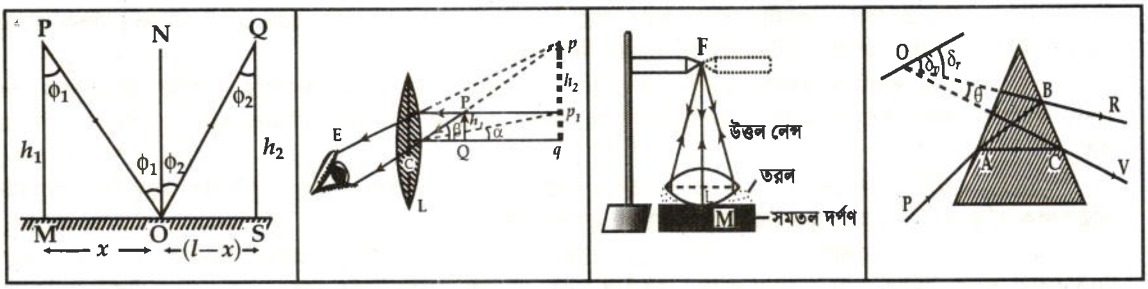
RMDAC

৬

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
GEOMETRICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : ফার্মাট-এর নীতি, গোলকীয় দর্পণ, লেন্সের ক্ষমতা, লেন্সের ক্ষমতার একক, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র, প্রিজম, প্রিজমের প্রতিসরণ তল, প্রিজমের শীর্ষ, প্রিজম কোণ, প্রিজমের ভূমি, বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি, ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, বিচ্ছুরণ, বর্ণালি।



সূচনা
Introduction

পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় আলো সংক্রান্ত বিষয়াদি নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে **আলোকবিজ্ঞান** বলে। আলোকবিজ্ঞানকে সাধারণত দুই ভাগে ভাগ করা হয়; যথা—জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান (Geometrical optics) ও ভৌত বা প্রাকৃতিক আলোকবিজ্ঞান (Physical optics)। জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান শাখায় ধরে নেওয়া হয় যে, পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রপাতির আকারের তুলনায় (যেমন কোনো ছিদ্র বা প্রতিবন্ধকের আকারের তুলনায়) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুবই ছোট। পক্ষান্তরে ভৌত বা প্রাকৃতিক আলোকবিজ্ঞানে ওই আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তুলনীয়।

আমরা জানি, কোনো একটি স্বচ্ছ ও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরল পথে গমন করে। কিন্তু আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশের সময় এর দিক পরিবর্তিত হয়। একে প্রতিসরণ বলে। প্রতিসরণ আলোকের একটি বিশেষ ধর্ম। এ অধ্যায়ে সমতল ও গোলকীয় তলে আলোকের প্রতিসরণ, বিচ্ছুরণ, প্রিজম, লেন্স ইত্যাদি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- ফার্মাটের নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- লেন্স তৈরির গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবে।

  ব্যবহারিক :

  ১. সমতল দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবে।

  ২. লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৬·১ ফার্মাট-এর নীতি
Fermat's principle

৬·১·১ ধারণা
Concept

আমরা জানি, আলোকরশ্মি কোনো একটি বিন্দু হতে চলে সমতল পৃষ্ঠ কর্তৃক প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর পর অন্য কোনো বিন্দুতে পৌঁছতে যদি কম দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে যে সময় লাগে তাও সর্বাপেক্ষা কম হয়। অতএব আলোক রশ্মির ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করার অর্থ ন্যূনতম সময় লাগা। এখন ক্ষুদ্রতম পথ বা ন্যূনতম সময় বিষয়ক যে নীতি তা কেবল সমতল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। গোলকীয় তলে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। কোনো গোলকীয় তলে যখন আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ ঘটে, তখন আলোক রশ্মি হয় দীর্ঘতম না হয় ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করবে। তবে

দীর্ঘতম বা ক্ষুদ্রতম পথ যাই অতিক্রম করুক না কেন পথ সর্বদা স্থির (stationary) থাকবে। 1650 খ্রিস্টাব্দে **পিয়ারে ফার্মাট** আলোক পথ সংক্রান্ত একটি নীতি আবিষ্কার করেন যা **ফার্মাটের নীতি** নামে পরিচিত। এই নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি, আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়। ফার্মাট-এর নীতি অনুসারে, **"যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়, তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।"**

উপরোক্ত আলোচনার প্রেক্ষিতে সমতল বা গোলকীয় তল উভয়ের ক্ষেত্রে ফার্মাট-এর নীতিকে সাধারণ অর্থে (in general form) নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যায় :

এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে যাওয়ার সময় আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ যত সংখ্যক বারই হোক না কেন অনুসৃত পথ চরম বা অবম বা স্থির দৈর্ঘ্যের হবে এবং এই পথ অতিক্রম করতে সর্বাপেক্ষা কম সময় লাগে।

সূত্রানুসারে, **বস্তু ও প্রতিবিম্বের মধ্যবর্তী আলোকপথ সকল রশ্মির ক্ষেত্রে সমান হবে।**

মনে করি আলোকরশ্মি বিভিন্ন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে কয়েক বার প্রতিফলন ও প্রতিসরণের পর এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে আসল। অতএব এর আলোক পথ হবে,

$$s_0 = \mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \mu_s s_n = \sum \mu s = \text{ধ্রুবক}$$

এখানে $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ldots\ldots\ldots\ldots \mu_n$ হলো মাধ্যমগুলির প্রতিসরাঙ্ক এবং $s_1, s_2, s_3 \ldots\ldots\ldots\ldots s_n$ যথাক্রমে ওই মাধ্যমসমূহে অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য।

আমরা জানি, ধ্রুবকের অন্তরকলন করলে শূন্য (0) হয়। $\therefore \delta[\sum \mu s] = 0$

$\delta[f(x)] = 0$ হলে, $f(x)$-এর চরম (maximum) মান এবং অবম (minimum) অবস্থান সূচিত করে। তাই মোট আলোক পথ (μ_s) হয় চরম না হয় অবম হবে।

আলোক পথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ওই নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতক্রিম করে তা।

আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য। $\therefore l_0 = \mu_0 \times l$

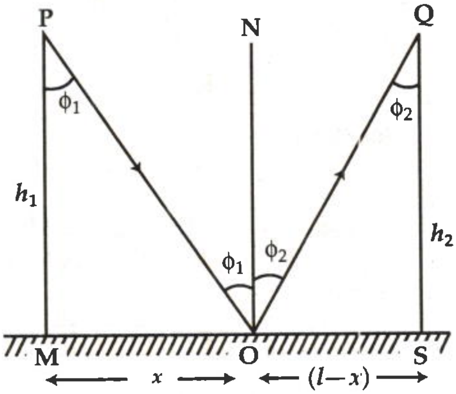
৬·১·২ ফার্মাট-এর নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি

Laws of reflection and refraction of light with the help of Fermat's principle

ক. প্রতিফলনের সূত্রাবলি

Laws of reflection

মনে করি, MS একটি সমতল প্রতিফলক। PO এবং OQ যথাক্রমে আপতিত এবং প্রতিফলিত রশ্মি [চিত্র ৬.১]। ফার্মাটের নীতি অনুসারে P ও Q এর মধ্যে POQ দূরত্ব ক্ষুদ্রতম। P এবং Q থেকে MS প্রতিফলকের ওপর যথাক্রমে $PM = h_1$ এবং $QS = h_2$ অভিলম্ব টানা হলো। ধরা যাক $OM = x$ এবং $MS = l$; তাহলে $OS = (l - x)$। এখানে প্রাথমিক ও অন্তিম বিন্দু P ও Q স্থির হলে $MS = l$ দূরত্ব স্থির। যেহেতু অনিয়মিত প্রতিফলিত রশ্মি P থেকে Q-তে MO প্রতিফলকের যে কোনো বিন্দুতে আপতিত হতে পারে, সেহেতু O বিন্দু থেকে M বিন্দুর দূরত্ব x একমাত্র চলরাশি (variable)।



চিত্র ৬·১

চিত্র ৬·১ থেকে, $POQ = s = PO + OQ$

$$= \sqrt{h_1^2 + x^2} + \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}$$

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী P থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিফলনের পর O থেকে Q-তে যে পথে যায় তার জন্য s গরিষ্ঠ অথবা লঘিষ্ঠ (maximum or minimum) হবে। অর্থাৎ

$$\frac{ds}{dx} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.1)$$

$$\therefore \frac{ds}{dx} = 0 = \frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}}\, 2x - \frac{1}{2}\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}} . 2(l-x)$$

বা, $$0 = x(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} - (l-x)\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}}$$

বা, $$0 = \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{l-x}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.2)$$

বা, $\frac{MO}{PO} - \frac{OS}{OQ} = 0$

বা, $\frac{MO}{PO} = \frac{OS}{OQ}$

বা, $\sin OPM = \sin OQS$

বা, $\sin \phi_1 = \sin \phi_2$ ... ... (6.3)

অর্থাৎ আপতন কোণ, $\angle PON$ = প্রতিফলন কোণ $\angle QON$

∴ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ

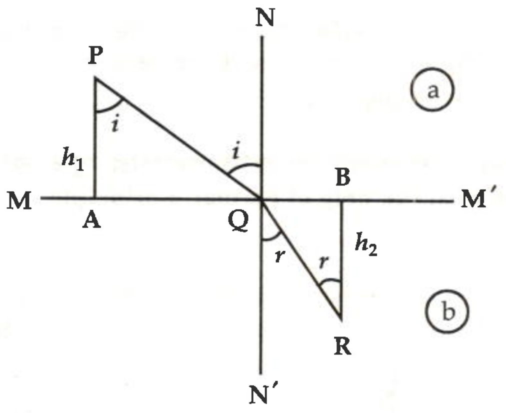
ইহাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

আবার PO এবং OQ প্রতিফলকের লম্ব তলে থাকবে। পুন ON সমতল প্রতিফলনের ওপর লম্ব বিধায়, PO এবং OQ যে সমতল গঠন করে ON ওই সমতলে অবস্থান করে। অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PO, প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং অভিলম্ব ON একই সমতলে অবস্থান করে।

ইহাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

খ. প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of refraction

ধরা যাক PQ আলোক রশ্মি স্থির বিন্দু P থেকে Q বিন্দু হয়ে অন্য একটি স্থির বিন্দু R-এ পৌঁছাল। PQ আলোক রশ্মি a ও b স্থির মাধ্যমের MM′ বিভেদ তলে Q বিন্দুতে i কোণে আপতিত হয়ে b মাধ্যমের r কোণে প্রতিসৃত হচ্ছে [চিত্র ৬·২]।



চিত্র ৬·২

বিভেদতল MM′-এর ওপর PA এবং RB লম্ব টানা হলো।

মনে করি, $PA = h_1$, $RB = h_2$, $AB = d$ এবং $AQ = x$ তাহলে $QB = d - x$। যদি a ও b মাধ্যমে আলোর বেগ যথাক্রমে c_a ও c_b হয় এবং PQ ও QR পথ অতিক্রম করতে আলোর t সময় লাগে, তবে

$$t = \frac{PQ}{c_a} + \frac{QR}{c_b} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{c_a} + \frac{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}{c_b}$$

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী t সময় ন্যূনতম হবে; কাজেই

$$\frac{dt}{dx} = 0 \quad ... \quad ... \quad (6.4)$$

অতএব, $\frac{dt}{dx} = \frac{2x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{2(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$

বা, $2\left\{\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}\right\} = 0$

বা, $\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{d-x}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$ ... ... (6.5)

বা, $\frac{\sin i}{c_a} = \frac{\sin r}{c_b}$

∴ $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b$ ... ... (6.6)

ইহাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

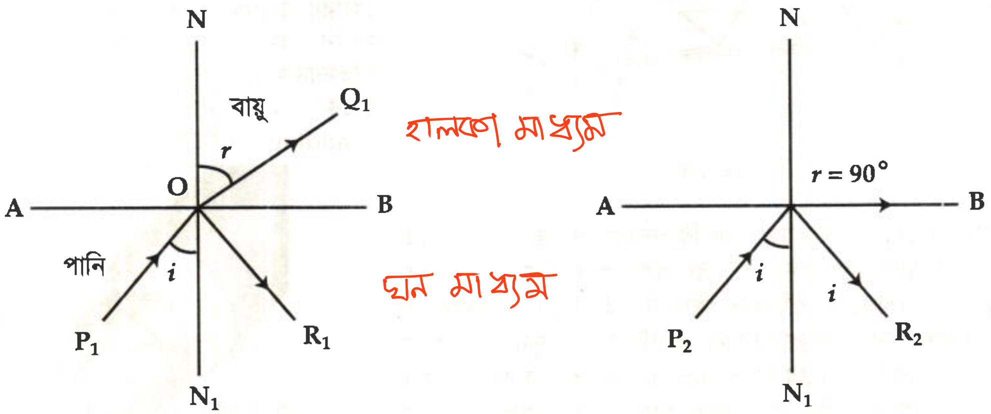
আবার PQ এবং QR রেখাদ্বয় পরস্পর Q বিন্দুতে মিলিত হয়ে একটি সমতল গঠন করে। যেহেতু PQR পথ ক্ষুদ্রতম সেহেতু এই সমতলে বিভেদতল NN′-এর ওপর লম্ব হবে। NN′ অভিলম্ব বিভেদতলের ওপর লম্ব হওয়ায় PQ

এবং QR যে সমতলে অবস্থিত সেই সমতলে NN′ও অবস্থিত। কাজেই আপতিত রশ্মি PQ, প্রতিসৃত রশ্মি QR এবং অভিলম্ব NN′ একই সমতলে অবস্থিত।

ইহাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

৬·১·৩ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন
Total internal reflection

আলো যখন এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে গমন করে। মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে আলোকরশি অভিলম্বের দিক অথবা অভিলম্ব হতে দুরে সরে যায়। যদি মাধ্যম ঘন হয়, তবে প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বেঁকে যায় এবং মাধ্যম হাল্কা হলে বিপরীত ঘটনা ঘটে অর্থাৎ অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়।



(ক) (খ)

চিত্র ৬·৩

ধরা যাক, P_1O আলোকরশ্মি পানির মধ্য দিয়ে গমন করে বায়ু মাধ্যমের বিভেদ তলে O বিন্দুতে আপতিত হলো [চিত্র ৬·৩ (ক)]। এর এক অংশ প্রতিফলিত হয়ে OR_1 পথে পানি মাধ্যমে ফিরে আসে এবং অপর অংশ প্রতিসৃত হয়ে বায়ু মাধ্যমে OQ_1 পথে চলে যায়। এখানে প্রতিসরণ কোণ $\angle QON$ আপতন কোণ $\angle P_1ON_1$ অপেক্ষা বড় হয়। আপতন কোণ যত বড় হয় প্রতিসরণ কোণও তত বড় হবে। আপতন কোণের একটি বিশেষ মানের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, যাতে প্রতিসরিত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষে যায় [চিত্র ৬·৩ (খ)]। ঘন মাধ্যমে আপতন কোণের এই সীমাস্থ মানকে **সংকট কোণ** (Critical angle) বলা হয়।

সংজ্ঞা : আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার সময় যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয় এবং প্রতিসৃত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষে যায়, তাকে সংকট কোণ বলে।

৬·১·৪ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্তাবলি
Conditions of total internal reflection

পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্তাবলি হলো :

(ক) আলোক রশ্মি অবশ্যই ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে গমন করবে।

(খ) আপতন কোণের মান অবশ্যই মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বড় হতে হবে।

সংকট কোণ এবং ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক

ধরা যাক, $\angle PON_1 = \theta_C =$ দুটি মাধ্যমের মধ্যে সংকট কোণ। (এক্ষেত্রে পানি এবং বায়ু) [চিত্র ৬·৩(খ)] এখানে প্রতিসরণ কোণ 90°, যদি পানির সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $_w\mu_a$, তবে

$$_w\mu_a = \frac{\sin\theta_C}{\sin 90^\circ} \text{ বা, } \sin\theta C = \frac{1}{_w\mu_a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

অতএব, সংকট কোণের মান এক মাধ্যমের সাপেক্ষে অন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। এখন যদি মাধ্যমে দুটি 'a' এবং 'b' দ্বারা সূচিত করি এবং $\mu_a > \mu_b$ হয়, তবে

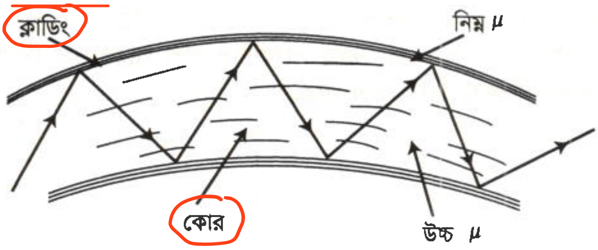
$$\sin\theta_C = \frac{1}{_w\mu_a} = \frac{\mu_b}{\mu_a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

৬·১·৫ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের প্রয়োগ

Application of the phenomenon of total internal reflection

আলোকবাহী তন্তুর মধ্য দিয়ে আলোর চলাচল [DAT : 23-24 ; MAT : 22-23]

একটি তন্তু যা আলোকরশ্মি এক স্থান হতে অন্য স্থানে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে পাঠাতে পারে তাকে **আলোকবাহী তন্তু** (Optical fibre) বলা হয়। ইহা কাচ, কোয়ার্টজ (quartz) অথবা আলোকীয় গ্রেডের প্লাস্টিক দ্বারা নির্মিত।



চিত্র ৬·৪

আলোকবাহী তন্তু লম্বা এবং খুবই সরু পাইপ যার ব্যাস প্রায় 10^{-5} m। পাইপের ভেতরের অংশকে বলা হয় কোর (core) [চিত্র ৬·৪]। এই কোরের মাধ্যমে আলো এক স্থান থেকে অন্য স্থানে গমন করে। কোরের ওপরে নিম্ন প্রতিসরাঙ্ক (μ) সম্পন্ন পদার্থের এর আস্তরণ থাকে। এই অন্তরককে বলা হয় ক্লাডিং (cladding)। কোরের অভ্যন্তরে আলোক রশ্মি প্রবেশের পর কোর এবং ক্লাডিং-এর বিভেদতলে পরপর পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের দ্বারা সঞ্চালিত হয় এবং অপর প্রান্ত দিয়ে নির্গত হয়। যেহেতু, পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন আলোকবাহী তন্তুর অভ্যন্তরে ঘটে ফলে আলোর তীব্রতা অক্ষুণ্ন থাকে। একটি বৃহৎ বস্তুর চিত্র পাঠাতে হলে তন্তুর বান্ডেল বা তন্তুর কেবল (cable) বা তার ব্যবহার করা হয় [চিত্র ৬·৫]। বস্তুর বিভিন্ন অংশ হতে আলোকরশ্মি বিভিন্ন আলোক-বাহী তন্তুর দ্বারা সঞ্চালিত হয়ে তারের অপর প্রান্তে বস্তুর ছবি উৎপন্ন করে।

চিত্র ৬·৫

আলোকবাহী তন্তুর ব্যবহার

যোগাযোগ ব্যবস্থা ও চিকিৎসা বিজ্ঞানে আলোকবাহী তন্তু বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ব্যবহার উল্লেখ করা হলো :

১। দেহের অভ্যন্তরে বিভিন্ন অংশের চিত্র তৈরির কাজে যা সাধারণ চোখে দেখা সম্ভব নয়, যথা—ফুসফুস, টিস্যু, অন্ত্র ইত্যাদি। Endoscopy

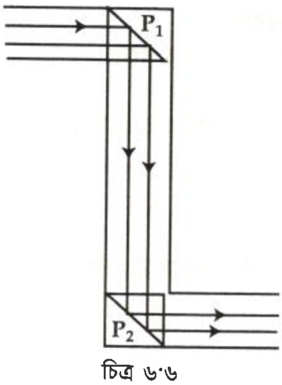
২। চিকিৎসার উদ্দেশ্য তীক্ষ্ণ লেজার রশ্মি সঞ্চালনের জন্য এই তন্তু ব্যবহার করা যায়। LASIK

৩। এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় ভিডিও সংকেত সঞ্চালন করা যায়, ডিজিটাল পদ্ধতিতে তথ্য সম্প্রচার করা যায়। কোনো বাধা ছাড়াই বিভিন্ন ডিজিটাল সংকেত এই তন্তু দ্বারা পাঠানো যায়। Internet connection

প্রিজম টেলিস্কোপ

Prism telescope

প্রিজম টেলিস্কোপ দুটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজম P_1 ও P_2 দ্বারা গঠিত। এগুলো এমনভাবে রাখা হয় যাতে তাদের অতিভুজ তল দুটি পরস্পরের সমান্তরালে থাকে। এখন P_1 প্রিজম ওপরে এমনভাবে বসানো থাকে যেন দূরবর্তী কোনো বস্তু থেকে আগত আলোকরশ্মি একটি জানালার মধ্য দিয়ে প্রিজমে আপতিত হয় এবং পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে অতিভুজ থেকে নিচের দিকে গমন করে। P_2 প্রিজম তলায় স্থির অবস্থায় থাকে। এই প্রিজম আগত আলোকরশ্মি গ্রহণ করে এবং সম্পূর্ণ প্রতিফলনের মাধ্যমে সমকোণে অনুভূমিক দিকে দর্শকের চোখে পৌছায়। এক্ষেত্রে প্রিজমে আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। ফলে দর্শক বহুদূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখতে পায়।



চিত্র ৬·৬

সাধারণ পেরিস্কোপের চেয়ে প্রিজম পেরিস্কোপ অনেক বেশি উজ্জ্বল প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে।

কাজ : কোনো পদার্থের পরম প্রতিসরাঙ্কের মান 1-এর থেকে কম হতে পারে কী ? —ব্যাখ্যা কর।

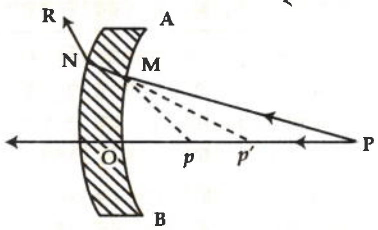
কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলতে শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ ও ওই মাধ্যমে আলোর বেগের অনুপাতকে বোঝায়। এখন যেহেতু শূন্য স্থানে আলোর বেগ অন্য যে কোনো মাধ্যমে আলোর বেগের চেয়ে বেশি, সেহেতু কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক 1-এর কম হতে পারে না।

৬·২ গোলীয় তলে প্রতিসরণ
Refraction in spherical surface

RMDAC

৬·২·১ লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বা লেন্স তৈরির সমীকরণ
Lens maker's formula or equation of lens formation

মনে করি AB একটি সরু লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·৭]। এর প্রধান অক্ষ OP-এর ওপর P একটি বিন্দু-বস্তু এবং O এর আলোক কেন্দ্র। ধরা যাক P হতে বায়ুর মধ্য দিয়ে আগত PM আলোক রশ্মিটি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে আলোক কেন্দ্র হতে সামান্য দূরে M বিন্দুতে আপতিত হওয়ায় রশ্মিটি প্রথম পৃষ্ঠে MN বরাবর এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে N বিন্দু হতে NR বরাবর প্রতিসৃত হলো। আবার P হতে লেন্সের ওপর আপতিত প্রধান অক্ষ বরাবর PO রশ্মিটি একই রেখায় লেন্স হতে বায়ুতে নির্গত হলো। কাজেই উপরোক্ত নির্গত রশ্মিদ্বয়ের ছেদ বিন্দু p-ই বস্তু P-এর অলীক বা অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে। কেননা লেন্সের অপর পার্শ্ব হতে দেখলে ওই রশ্মি দুটি উক্ত বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে।



চিত্র ৬·৭

ধরা যাক NM-কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করায় তা PO-কে p' বিন্দুতে ছেদ করল। তা হলে প্রথম গোলকীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p'-ই P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠের সাপেক্ষে p' অবাস্তব বস্তু হিসেবে ক্রিয়া করবে। সুতরাং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p-ই p'-এর প্রতিবিম্ব হবে।

ধরা যাক বস্তুর দূরত্ব $OP = u$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Op = v$ এবং $Op' = v'$, প্রথম ও দ্বিতীয় গোলকীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 ও r_2 এবং বায়ুর সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী :

প্রথম গোলকীয় তলে P-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p'-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.7)$$

দ্বিতীয় তলে p'-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\frac{1}{\mu}}{v} + \frac{1}{-v'} = \frac{\frac{1}{\mu} - 1}{r_2}$$ [লক্ষ্যবস্তু অবাস্তব হেতু v' ঋণ রাশি।]

উভয় পক্ষকে μ দ্বারা গুণনে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{v'} = -\frac{\mu - 1}{r_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.8)$$

সমীকরণ (6.7) ও (6.8) যোগে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.9)$$

সমীকরণ (6.9) লেন্সে বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যকার সম্পর্ক নির্দেশক সমীকরণ।

লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সমীকরণ :

লক্ষ্যবস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থান করলে তার প্রতিবিম্ব লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে গঠিত হবে। এক্ষেত্রে $u = \infty$ এবং $v = f$

$\therefore$ সমীকরণ (6.9) হতে পাই,

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} + 0 = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.10)$$

ইহাই লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ। লেন্স তৈরির কাজে এই সমীকরণ ব্যবহার করা হয় বলে একে লেন্স তৈরির সমীকরণ বা লেন্স প্রস্তুতকরণের সমীকরণও বলে।

বেষ্টনকারী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ_2 হলে সমীকরণ (6.10)-এ μ-এর স্থলে $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ বসিয়ে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.11)$$

একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত।

কাজ : লেন্সের চারপাশের মাধ্যম পরিবর্তন করলে তার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ?

লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক যদি তার চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে বেশি হয় তাহলে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হবে। কিন্তু যদি লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে কম হয় তাহলে উত্তল লেন্সে আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে প্রতিসরণের পর অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করবে। অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। এভাবে ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয়।

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে কোনো তলে, দর্পণে, লেন্সে বা আলোক যন্ত্রে আলোর প্রতিফলন বা প্রতিসরণে ফোকাস দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ধনাত্মক এবং সকল অবাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক। বাস্তব দূরত্ব বলতে আলোক রশ্মি প্রকৃত লক্ষ্যে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তা বোঝায়। অন্যদিকে অবাস্তব দূরত্ব হলো আলোক রশ্মি যে দূরত্ব অতিক্রম করে না।

৬·২·২ গোলীয় তলে আলোর প্রতিসরণের নিয়ম

Rules of refraction in spherical surface

I. গোলীয় উত্তল বা অবতল পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণের জন্য এবং বিম্ব বাস্তব, অবাস্তব, সোজা ও উল্টার ক্ষেত্রে :

$$\frac{\mu}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r}$$

II. আলো μ প্রতিসরাঙ্কের ঘন মাধ্যম থেকে বায়ুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

$$\frac{1}{v} + \frac{\mu}{u} = \frac{1 - u}{r}$$

III. μ_1 প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যম থেকে গোলীয় পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে μ_2 প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

$$\frac{\mu_2}{v} + \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{r}$$

৬·২·৩ ক্ষমতা এবং বক্রতার ব্যাসার্ধের সম্পর্ক

Relation of radius of curvature of a lens with its power

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

যদি উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হয়, তবে উভোত্তল ও উভাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\,\frac{2}{r}$$

অতএব, লেন্সের ক্ষমতা,

$$P = \pm(\mu - 1)\,\frac{2}{r}\,; \quad \text{অর্থাৎ} \quad P \propto \frac{1}{r}$$

সুতরাং, যদি উভোত্তল বা উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায় তবে লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায় এবং পরস্পর বিপরীতধর্মী।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১

১। বায়ু সাপেক্ষে পানি এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ এবং $\frac{3}{2}$। দেখাও যে, পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের চার গুণ। যদি লেন্সের ফোকাস 60 cm হয় তাহলে পানিতে ফোকাস দূরত্ব কত হবে ? [কু. বো. ২০০৪]

লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 ও r_2 হলে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

বাতাসের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_1} = \left(\frac{3}{2} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

পানির ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_2} = \left(\frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \frac{1}{8}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

এখানে,

লেন্সের কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_2 = \frac{3}{2}$ ধরি,

যখন $\mu_1 = 1$ (বাতাসে),

তখন ফোকাস দূরত্ব $= f_1 = 60$ cm

যখন $\mu_1 = \frac{4}{3}$ (পানিতে)

তখন ফোকাস দূরত্ব $= f_2$

[মনে রাখবে : $\mu_2 \rightarrow$ লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সূত্রের লবে (numerator) বসবে। আর $\mu_1 \rightarrow$ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক সূত্রের হরে (denominator) বসবে।]

(ii) নং সমীকরণকে (iii) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে পাই, $\frac{f_2}{f_1} = 4$

বা, $f_2 = 4f_1$ (প্রমাণিত)

∴ পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের 4 গুণ।

এখন $f_1 = 60$ cm ∴ $f_2 = 4f_1 = 4 \times 60$ cm $= 240$ cm

২। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 15 cm এবং 30 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০৯; KUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{2+1}{30}\right)$$

বা, $$(\mu - 1) = \frac{30}{3 \times 20} = 0{\cdot}5$$

∴ $\mu = 1 + 0{\cdot}5 = 1{\cdot}5$

এখানে,

উত্তল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = +15$ cm

উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm

উত্তল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f = +20$ cm

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = ?$

[মনে রাখবে : উভাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে $r_1 \rightarrow$ ঋণাত্মক, $r_2 \rightarrow$ ধনাত্মক এবং উভোত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে $r_1 \rightarrow$ ধনাত্মক, $r_2 \rightarrow$ ঋণাত্মক হয়।]

৩। 30 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি সমোত্তল লেন্স-এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে এর পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$$

বা, $$\frac{1}{30} = (1{\cdot}52 - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$$

∴ $r = 31{\cdot}2$ cm

এখানে,

প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ $= r$

উত্তল লেন্সের ১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = r_2$

২য় পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = -r$

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1{\cdot}52$

ফোকাস দূরত্ব, $f = 30$ cm

৪। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm এবং 20 cm। লেন্সের উপাদান প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত ?
[JU unit-H and A Admission Test, 2020-21]

এখানে,
প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = 30$ cm
দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = 20$ cm
প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1·52$
ফোকাস দূরত্ব, $f = ?$

আমরা জানি,

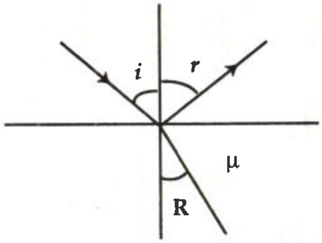
$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} = (1·52 - 1)\left(\frac{1}{30} - \frac{1}{-20}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} = 0·52 \times \left(\frac{5}{60}\right)$$

$\therefore \quad f = 23·1$ cm

৫। 1·62 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি কাচের প্লেটে আলোক রশ্মি আপতিত হয়। যদি প্রতিফলিত এবং প্রতিসরিত রশ্মি একে অপরের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে তবে আপতন কোণের মান নির্ণয় কর।
[RUET Admission Test, 2019-20]



এখানে,
$\mu = 1·62$

এখানে, $i = r$

চিত্র থেকে পাই, $R + 90° + r = 180°$

এখন, স্নেলের সূত্রানুযায়ী, $\mu = \frac{\sin i}{\sin R}$

বা, $$1·62 = \frac{\sin i}{\sin(90° - i)}$$

বা, $$1·62 = \frac{\sin i}{\cos i} = \tan i$$

$\therefore \quad i = \tan^{-1}(1·62) = 58·31°$

সুতরাং, আপতন কোণ $i = 58·31°$

৬। একটি লেন্সের বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব 18 cm। পানিতে নিয়ে গেলে এর ফোকাস দূরত্ব কত হবে? ($_a\mu_w = 4/3$, $_a\mu_g = 3/2$)
[BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = ({}_a\mu_b - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

১ম ক্ষেত্রে, $$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

২য় ক্ষেত্রে, $$\frac{1}{f_w} = ({}_w\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

$$\therefore \quad {}_w\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} = \frac{3/2}{4/3}$$

$$= \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

$$\text{(i)} \div \text{(ii)} \Rightarrow \frac{f_w}{f_a} = \frac{{}_a\mu_g - 1}{{}_w\mu_g - 1}$$

$$\therefore \quad f_w = f_a\left(\frac{\frac{3}{2} - 1}{\frac{9}{8} - 1}\right) = 72 \text{ cm}$$

৭। **একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·2 m এবং এটি গ্লাসের তৈরি যার প্রতিসরাঙ্ক 1·50। এটিকে 1·33 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট পানিতে ডুবালে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের পরিবর্তন নির্ণয় কর।**

[BUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_a} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{1}{0·2} = (1·5 - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে,

$f_a = 0·2\,\text{m}$

$\mu_g = 1·5$

$\mu_w = 1·33$

আবার,

$$\frac{1}{f_w} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1·50}{1·33} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) কে সমীকরণ (ii) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{f_w}{0·2} = \frac{0·5}{\frac{1·50}{1·33} - 1} = \frac{0·5 \times 1·33}{1·50 - 1·33}$$

$$= \frac{0·665}{0·17} = 3·91$$

$\therefore \quad f_w = 0·2 \times 3·91 = 0·782$

$\therefore$ ফোকাস দূরত্বের পরিবর্তন $= 0·782 - 0·2 = 0·582\,\text{m}$

৮। **বায়ু সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট কোণ 42° এবং বায়ু সাপেক্ষে পানির সঙ্কট কোণ 48° হলে পানির সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট কোণ কত ?** [BUET Admission Test, 2015-16; 2012-13]

আমরা জানি,

$${}_w\mu_g = \frac{1}{\sin {}_w\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

$${}_a\mu_g = \frac{1}{\sin {}_a\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এবং $${}_a\mu_w = \frac{1}{\sin {}_a\theta_w} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

$$\therefore \quad \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g}$$

বা, $${}_w\mu_g = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$$

(i) ও (iv) তুলনা করে পাই,

$$\frac{1}{\sin {}_w\theta_g} = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g}$$

বা, $$\sin {}_w\theta_g = \frac{\sin {}_a\theta_g}{\sin {}_a\theta_w}$$

$$= \frac{\sin 42°}{\sin 48°} = \frac{0·669}{0·743} = 0·9$$

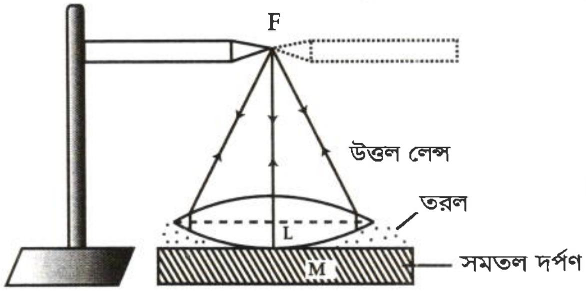
$\therefore \quad \sin {}_w\theta_g = 0·9$

${}_w\theta_g = \sin^{-1}(0·9) = 64·2°$

৬.৩ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (সমতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের সাহায্যে) Determination of the refractive index of a liquid using plane mirror and convex Lens

তত্ত্ব (Theory) : কোনো সমতল দর্পণের ওপর ২–৩ ফোঁটা তরল রেখে যদি এই তরল পদার্থের ওপর f_1 ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করা হয় [চিত্র ৬.৮], তবে লেন্স ও সমতল দর্পণের মধ্যস্থিত তরল পদার্থের আবরণ f_2 ফোকাস দূরত্বের একটি সমাবতল তরল লেন্স গঠন করে। এই অবস্থায় গঠিত লেন্সের (সমাবতল) বক্রতার ব্যাসার্ধ ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান। লেন্সদ্বয় মিলিতভাবে একক সংযোজিত লেন্স গঠন করে যা উত্তল লেন্সের ন্যায় ক্রিয়া করে। ধরা যাক, এই লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F।



চিত্র ৬.৮

সুতরাং আমরা লিখতে পারি

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

এখানে F এবং f_1 এর মান ঋণাত্মক।

$$\therefore \quad -\frac{1}{F}=-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

বা, $\frac{1}{f_2}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{F}=\frac{F-f_1}{Ff_1}$

বা, $\frac{1}{f_2}=\frac{F-f_1}{Ff_1}$

$$\therefore \quad f_2=\frac{f_1F}{F-f_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

পরীক্ষার সাহায্যে f_1 ও F এর মান নির্ণয় করে সমীকরণ (i)-এ বসিয়ে f_2 এর মান নির্ণয় করা যায়।

এখানে বায়ুর সাপেক্ষে তরল পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক μ, সমাবতল লেন্সের গোলকীয় তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 এবং সমতল দর্পণের ব্যাসার্ধ r_2 হলে সমাবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_2 কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

কিন্তু সমতলের বক্রতার ব্যাসার্ধ অসীম হলে, অর্থাৎ $r_2=\infty$ হলে, সমীকরণ (ii) কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\frac{1}{r_1}$$

বা, $f_2(\mu-1)=r_1$

বা, $\mu-1=\frac{r_1}{f_2}$

$$\boxed{\therefore \mu=1+\frac{r_1}{f_2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : উত্তল লেন্স, সমতল দর্পণ, পিন স্ট্যান্ড, মিটার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ফেরোমিটার, পরীক্ষণীয় তরল পদার্থ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure) :

১। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বেধ নির্ণয় করা হয়। তারপর এই বেধ t-কে 2 দ্বারা ভাগ করে লেন্সের উপরিতলের বেধ $\frac{t}{2}$ পাওয়া যায়।

২। টেবিলের ওপর একটি সমতল দর্পণ রেখে এর ওপর উত্তল লেন্সটি বসানো হয়।

৩। তারপর লক্ষ্যবস্তু পিন এমনভাবে স্ট্যান্ডের সাথে আটকানো হলো যেন পিনের ধারালো প্রান্ত লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল থাকে।

৪। এখন লক্ষ্যবস্তু পিনটাকে নিচ হতে ক্রমশ ওপরের দিকে উঠানো হয়। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত

উচ্চতা h_1 পরিমাপ করা হয়। এখন $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হয়।

৫। সমতল দর্পণ হতে লেন্সটিকে সরিয়ে দর্পণের ওপর ২–৩ ফোঁটা তরল পদার্থ ঢালা হয়। আবার সমতল দর্পণের ওপর উত্তল লেন্সটিকে স্থাপন করা হয়।

৬। পুনরায় লক্ষ্যবস্তু পিনটিকে নিচ হতে ক্রমশ ওপরের দিকে উঠানো হয়। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা h_2 পরিমাপ করা হয়। এখন $F = \left(h_2 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে সংযোজিত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হয়।

৭। স্ফেরোমিটারের তিন পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করা হয় এবং গড় মান D নেওয়া হয়। সমতল দর্পণের পৃষ্ঠ হতে লেন্সের পৃষ্ঠের উচ্চতা নির্ণয় করা হয়। অতঃপর $r_1 = \left(\frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2}\right)$ সূত্রের সাহায্যে উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 নির্ণয় করা হয়।

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ (Experimental data) :

ছক–১ (নমুনা)

[লেন্সের বেধ নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ M cm	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ V	ভার্নিয়ার পাঠের ধ্রুবক C cm	ভার্নিয়ার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F)	গড় পাঠ t cm	লেন্সের মধ্য বিন্দুর পাঠ t/2 cm
1	0·5	3	0·01	0·03	0·53	0·54	0·27
2	0·5	4		0·04	0·54		
3	0·5	5		0·05	0·55		

ছক–২

[উচ্চতা (h) নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কোন তল	রৈখিক স্কেল পাঠ M cm	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ V	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক C cm	বৃত্তাকার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F) cm	গড় পাঠ t cm	$h = (x_2 - x_1)$ cm
1	সমতল দর্পণের ওপর (x_1)	0	7	0·001	0·007	0·007	0·0075	0·1975
2		0	8	0·001	0·008	0·008		
1	লেন্সের ওপর (x_2)	0·2	4	0·001	0·004	0·204	0·205	
2		0·2	6	0·001	0·006	0·206		

ছক–৩

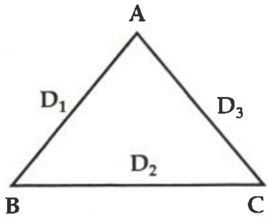
[(f_1) ও (F) এর মান নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	উচ্চতা h_1 cm	গড় উচ্চতা h_1 cm	ফোকাস দূরত্ব $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$ cm	উচ্চতা h_2 cm	গড় উচ্চতা h_2 cm	ফোকাস দূরত্ব $F = \left(h_2 + \frac{t}{2}\right)$ cm
1	14·1	14·2	14·2 + 0·27 = 14·47	22·2	22·3	22·3 + 0·27 = 22·57
2	14·3			22·4		
3	14·2			22·3		

স্ফেরোমিটারের পায়ার দূরত্ব D নির্ণয় :

$$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$$

$$D = \frac{3{\cdot}9 + 3{\cdot}9 + 3{\cdot}9}{3} = 3{\cdot}9 \text{ cm}$$



চিত্র ৬·৯

হিসাব (Calculation) :

$$r_1 = \frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2} = \frac{3{\cdot}9 \times 3{\cdot}9}{6 \times 0{\cdot}1975} + \frac{0{\cdot}1975}{2}$$

$$= \frac{15{\cdot}21}{1{\cdot}185} + 0{\cdot}09875 = 12{\cdot}84 + 0{\cdot}09875$$

$$= 12{\cdot}93 \text{ cm}$$

$$f_2 = \frac{F \times f_1}{F - f_1} = \frac{22{\cdot}57 \times 14{\cdot}47}{22{\cdot}57 - 14{\cdot}47} = \frac{326{\cdot}5879}{8{\cdot}10} = 40{\cdot}31 \text{ cm}$$

সুতরাং

$$\mu = 1 + \frac{r_1}{f_2} = 1 + \frac{12{\cdot}93}{40{\cdot}31} = 1 + 0{\cdot}32 = 1{\cdot}32$$

ফলাফল (Result) :

পানির পরীক্ষালব্ধ প্রতিসরাঙ্ক = 1·32

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and discussions) :

১। লম্বন ত্রুটি যথাযথ পরিহার করা হয়।
২। পিনের অগ্রভাগ লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হয়।
৩। দর্পণে কম পরিমাণ তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয়।
৪। লেন্সের বেধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা হয়।

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়** Determination of the focal length and power of a lens

$\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$ লেখচিত্রের সাহায্যে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় (To determine the focal length and power of a convex lens by plotting $\frac{1}{u}$ and $\frac{1}{v}$ graph.)

মূলতত্ত্ব (Theory) : ফোকাস দূরত্ব : কোনো একটি লেন্সের আলোক কেন্দ্র হতে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বলে এবং তাকে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং কোনো একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশির চিহ্ন পরিবর্তন করলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়। u এবং v যথাক্রমে বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব হলে, প্রকৃত প্রতিবিম্বের জন্য আমরা পাই—

$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$; এখন, $\frac{1}{u}$-কে X অক্ষের দিকে এবং $\frac{1}{v}$-কে Y-অক্ষের দিকে নির্দেশ করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে তা একটি সরলরেখা হবে। সরলরেখাটি মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষকে সমান দূরে ছেদ করবে। মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষের ছেদবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব $\frac{1}{f}$-এর সমান। কারণ চিত্র ৬·৭-এ X-অক্ষে $\frac{1}{v} = 0$; অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{1}{u} + 0 = \frac{1}{f}$; বা, $u = f$। অনুরূপভাবে Y-অক্ষে $\frac{1}{u} = 0$; অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণ হবে $0 + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$; বা, $v = f$। তবে কেন্দ্র হতে ছেদবিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব সমান না হলে গড় মান নিতে হবে।

ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করার পর নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় করা যায় :

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ওই লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এ জন্য কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়। সুতরাং কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব জানা থাকলে লেন্সের ক্ষমতা নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করা যায় :

লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{100}{f(\text{cm})}$ ডায়প্টার (D) বা $\frac{1}{f}$

বা, $P = \frac{1}{f(\text{m})}$ ডায়প্টার (D)।

লেন্সটি যেহেতু উত্তল লেন্স অতএব এর ক্ষমতা ধনাত্মক হবে।

যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি (Apparatus and other necessary materials) :

(১) আলোক বেঞ্চ,
(২) পরীক্ষণীয় উত্তল লেন্স,
(৩) বস্তু-আলপিন,
(৪) পর্দা আলপিন,
(৫) সূচক দণ্ড,
(৬) ছক কাগজ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure)

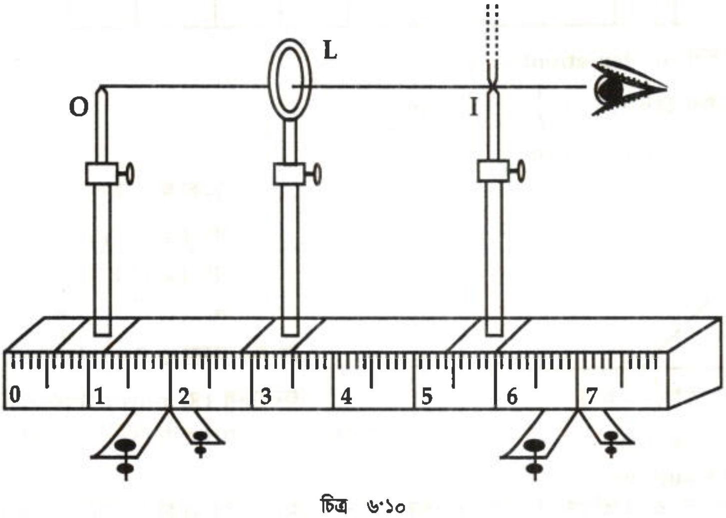
(১) একটি উত্তল লেন্স নেয়া হয় এবং আলোক বেঞ্চের একটি দণ্ডের ওপর তাকে স্থাপন করা হয়।

(২) লেন্সের সম্মুখে আলোক বেঞ্চের অপর একটি দণ্ডে একটি আলপিন স্থাপন করা হয়।

(৩) লেন্সের অপর পার্শ্বে আলোক বেঞ্চের ওপর একটি দণ্ডে অপর একটি আলপিনকে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন প্রথম আলপিনের প্রকৃত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি এড়িয়ে তার ওপর সমাপতিত হয়।

(৪) আলোক বেঞ্চের স্কেল হতে লেন্স, বস্তু-আলপিন এবং প্রতিবিম্ব আলপিনের অবস্থানের পাঠ নেয়া হয় এবং u ও v-এর আপাত মান বের করা হয়।

(৫) উত্তল লেন্সের বিভিন্ন অবস্থানের জন্য উপরোক্ত প্রক্রিয়াগুলো অনুসরণ করে u ও v-এর কয়েকটি আপাত মান বের করা হয়।



চিত্র ৬·১০

(৬) বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি বের করা হয় এবং u ও v-এর প্রকৃত মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) প্রতি ক্ষেত্রেই $\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$-এর মান বের করা হয়।

(৮) লেখচিত্রের X অক্ষের দিকে $\frac{1}{u}$-কে এবং Y অক্ষের দিকে $\frac{1}{v}$-কে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। লেখ হতে প্রাপ্ত সরলরেখা X এবং Y অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে লেখের মূলবিন্দু হতে এদের দূরত্ব বের করা হয় এবং গড় মান নির্ণয় করা হয় যার মান $\frac{1}{f}$-এর সমান। এর বিপরীত মানই পরীক্ষণীয় লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব।

সূচক ত্রুটি নির্ণয় :

সূচক দণ্ডের দৈর্ঘ্য = x সেমি

লেন্স ও বস্তুর মধ্যে আপাত দূরত্ব = y সেমি

লেন্স ও প্রতিবিম্বের মধ্যে আপাত দূরত্ব = z সেমি

∴ বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim y)$ = ... সেমি

প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim z)$ = ... সেমি

সংশোধিত দূরত্ব নির্ণয়ের সময় এই ত্রুটি যোগ বা বিয়োগ করতে হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

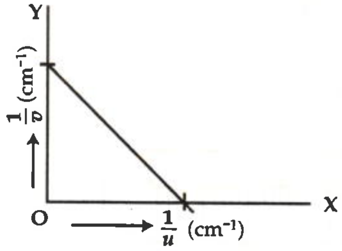
উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লেন্সের অবস্থান = L সেমি	বস্তুর অবস্থান = O সেমি	প্রতিবিম্বের অবস্থান = I সেমি	আপাত বস্তুর দূরত্ব = (L ~ O) সেমি	আপাত প্রতিবিম্ব দূরত্ব = (L ~ I) সেমি	বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি $(x \sim y)$ সেমি	প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি $(x \sim z)$ সেমি	সংশোধিত বস্তু দূরত্ব = u সেমি	সংশোধিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব = v সেমি	$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}$ সেমি$^{-1}$ (cm-1) = $\frac{1}{f}$ cm-1	$\frac{1}{v}$ সেমি$^{-1}$ (cm-1) = $\frac{1}{f}$ cm-1	f সেমি cm	গড় f সেমি cm	ক্ষমতা $P=\frac{1}{f(m)}D=-D$
1														
2														
3														

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) X-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ = ... cm^{-1}

বা, f = ...cm = ...m



চিত্র ৬·১১

(২) Y-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ = ... cm^{-1}

বা, f = ...cm = ...m

বা, f এর গড় মান [(১) ও (২) এর গড়]

= ... ... cm = ... m

লেন্সের ক্ষমতা, $P=\frac{1}{f}$ D = − ... ... D

ফলাফল (Result) : প্রদত্ত লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব, f = − cm= −m এবং এর ক্ষমতা P = − ...... D.

সতর্কতা (Precautions) :

(১) বস্তু-আলপিন ও প্রতিবিম্ব আলপিন লেন্সের প্রধান অক্ষের সাথে একই সরলরেখায় হওয়া উচিত।

(২) বস্তু ও প্রতিবিম্বের শীর্ষভাগের মধ্যে দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি থাকা উচিত নয়।

(৩) পাঠগুলো নির্ভুল হওয়া উচিত।

(৪) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা উচিত।

আলোচনা (Discussions) :

(১) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা না হলে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব সঠিক হবে না। ফলে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ত্রুটিপূর্ণ হবে।

(২) পরীক্ষালব্ধ পাঠগুলো নির্ভুল না হলে ফলাফল সঠিক হবে না।

৬.৪ কতিপয় প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some necessary definitions

আলোর প্রতিসরণ (Refraction) : আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে যাওয়ার সময় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতলে তির্যকভাবে আপতিত আলোক রশ্মির দিক পরিবর্তন করার ঘটনাকে আলোর প্রতিসরণ বলে।

বিম্ব (Image) : কোনো বিন্দু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়ে যদি দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হয় বা দ্বিতীয় কোনো বিন্দু হতে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়, তাহলে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বা প্রতিবিম্ব বলে।

বাস্তব বিম্ব (Real image) : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হলে এই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব বলে। এই বিম্ব চোখে দেখা যায়, পর্দায়ও ফেলা যায়। অবতল দর্পণে ও উত্তল লেন্সে এই বিম্ব গঠিত হয়। উল্টা (inverted)

অবাস্তব বিম্ব (Virtual image) : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব বলে। এই বিম্ব চোখে দেখা যায় কিন্তু পর্দায় ফেলা যায় না। সবরকম দর্পণ ও লেন্সে উৎপন্ন হয়। সোজা / সিধা (erect)

প্রতিসরাঙ্ক (Refractive index) : আলো যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট একজোড়া মাধ্যম ও নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইন এর অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। এই ধ্রুব সংখ্যাকে ওই বর্ণের জন্য প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে।

RMDAC

অর্থাৎ $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu =$ ধ্রুব সংখ্যা = প্রতিসরাঙ্ক।

একে প্রতিসরণের ২য় সূত্র বা স্নেলের সূত্র বলে।

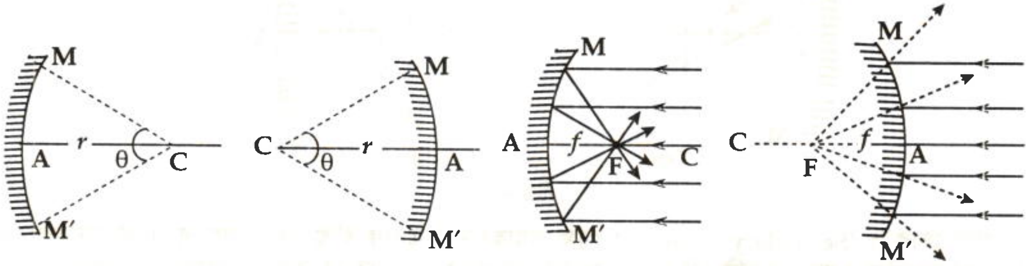
আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক (Specific refractive index) : আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

পরম প্রতিসরাঙ্ক (Absolute refractive index) : আলোক রশ্মি যখন শূন্য মাধ্যম হতে অন্য কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলে।

লেন্স (Lens) : দুটি গোলীয় বা একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অথবা একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

উত্তল লেন্স (Convex lens) : যে লেন্সের মধ্যভাগ মোটা ও প্রান্ত সরু তাকে উত্তল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রাশ্মিকে অভিসারী করে বলে ওকে অভিসারী লেন্সও বলে।

অবতল লেন্স (Concave lens) : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত এক গুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারিত করে বলে একে অপসারী লেন্স বলে।



(ক) (খ) (গ) (ঘ)

চিত্র ৬.১২

মেরুবিন্দু (Pole) : গোলকীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্য বিন্দুকে দর্পণের মেরুবিন্দু বলে। একে A দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬.১২ (ক) ও ৬.১২ (খ)]।

বক্রতার কেন্দ্র (Centre of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ তার কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র বলে। একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)]।

প্রধান অক্ষ (Principal axis) : গোলকীয় দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র এবং মেরুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। অথবা, কোনো গোলকীয় দর্পণের মধ্য দিয়ে তার পৃষ্ঠের লম্বভাবে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে উক্ত দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। এখানে AC রেখা দর্পণের প্রধান অক্ষ [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)]।

প্রধান ছেদ (Principal section) : কোনো গোলকীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী কোনো তল যে বৃত্তাকার রেখায় দর্পণকে ছেদ করে তাকে ওই দর্পণের প্রধান ছেদ বলে। ৬·১২নং চিত্রে MAM′ দর্পণের প্রধান ছেদ। দর্পণ সংক্রান্ত সব বর্ণনায় তার প্রধান ছেদই অঙ্কিত হয়।

প্রধান তল (Principal plane) : গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দুর মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের সাথে লম্বভাবে অঙ্কিত তলকে দর্পণের প্রধান তল বলে।

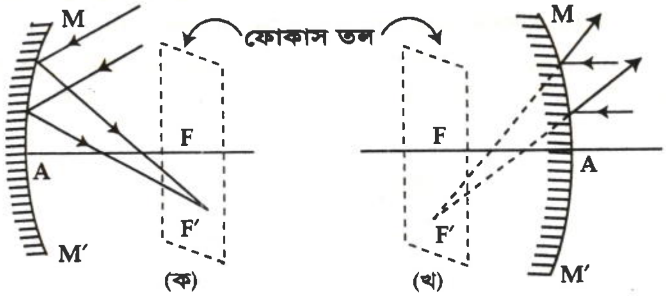
উন্মেষ (Aperture) : গোলকীয় দর্পণে প্রধান ছেদ বক্রতার কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে দর্পণের উন্মেষ বলে। এখানে প্রধান ছেদের প্রান্ত-বিন্দু দুটিকে বক্রতার কেন্দ্রের সাথে যুক্ত করলে দর্পণের উন্মেষ পাওয়া যায়। চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)-এ θ দর্পণের উন্মেষ এবং $\theta = \frac{\text{চাপ, MAM}'}{\text{বক্রতার ব্যাসার্ধ}, r}$। কোনো দর্পণের উন্মেষ $10°$ অপেক্ষা কম হলে ওই দর্পণকে ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত দর্পণ বলে। [DAT : 18-19]

বক্রতার ব্যাসার্ধ (Radius of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। এটাই বক্রতার ব্যাসার্ধের ভাষাগত সংজ্ঞা। এর গাণিতিক সংজ্ঞা আছে; যেমন কোনো একটি গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্বকে ওই গোলকীয় দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। একে r দ্বারা প্রকাশ করা হয়। [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)-এ $AC = r$]

প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস (Principal focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে কোনো একটি গোলকীয় দর্পণে আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের প্রধান বা মুখ্য ফোকাস বলে। একে 'F' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·১২ (গ) ও ৬·১২ (ঘ)]।

ফোকাস দূরত্ব (Focal length) : গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং প্রধান ফোকাসের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার ফোকাস দূরত্ব বলে। একে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·১২ (গ) ও ৬·১২ (ঘ)-এ $AF = f$]।

ফোকাস তল (Focal plane) : গোলকীয় দর্পণের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের লম্বভাবে কল্পিত বা অঙ্কিত তলকে তার ফোকাস তল বলে। চিত্র ৬·১৩-এ FF′ তল হলো ফোকাস তল।



চিত্র ৬·১৩

গৌণ ফোকাস (Secondary focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনতভাবে চলে দর্পণের ওপর আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের ফোকাস তলের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা ফোকাস তলের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের একটি গৌণ ফোকাস বলে। চিত্র ৬·১৩-এ F′ বিন্দু একটি গৌণ ফোকাস।

গৌণ অক্ষ (Secondary axis) : মেরু ব্যতীত দর্পণের কোনো একটি বিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রে সংযোজক রেখাকে গৌণ অক্ষ বলে ।

৬·৫ প্রতিসরাঙ্ক ও আলোর বেগ
Refractive index and velocity of light

বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগের বিভিন্নতার জন্যই আলোর প্রতিসরণ ঘটে বা আলোক রশ্মি দিক পরিবর্তন করে। শূন্যস্থানে সকল বর্ণের আলোর বেগ একই। কিন্তু অন্য কোনো মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোর বেগের মান বিভিন্ন হয়। কাজেই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সাথে আলোর বেগের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক আছে।

কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\text{শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_0)}{\text{ওই মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_m)}$$

বা, $$\boxed{\mu = \frac{c_0}{c_m}}$$

এখন আলোক রশ্মি যদি 'a' মাধ্যম থেকে 'b' মাধ্যমে প্রবেশ করে তাহলে 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$$_a\mu_b = \frac{\text{'}a\text{' মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_a)}{\text{'}b\text{' মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_b)}$$

বা, $$\boxed{_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b}}$$

a, b, c তিনটি ক্রমবর্ধমান প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যম হলে এবং a হতে c মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে,

$$_a\mu_b \times {_b\mu_c} \times {_c\mu_a} = 1 \text{ হয়}$$

বা, $$_b\mu_c = \frac{1}{_c\mu_a \times {_a\mu_b}} = \frac{_a\mu_c}{_a\mu_b}$$

বা, $$_c\mu_b = \frac{_a\mu_b}{_a\mu_c} = \frac{\mu_b}{\mu_c}$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.২

১। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। পানিতে আলোর বেগ $2{\cdot}25 \times 10^8\ ms^{-1}$ হলে কাচে আলোর বেগ কত ?

এখানে,
কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_g = 1{\cdot}5$
পানির প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_w = \frac{4}{3}$
পানিতে আলোর বেগ, $v_w = 2{\cdot}25 \times 10^8\ ms^{-1}$
কাচে আলোর বেগ, $v_g = ?$

আমরা জানি,

$$_w\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w}$$

$$\therefore\ _w\mu_g = \frac{1{\cdot}5}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

আবার, $$_w\mu_g = \frac{\text{পানিতে আলোর বেগ}}{\text{কাচে আলোর বেগ}} = \frac{v_w}{v_g}$$

বা, $$v_g = \frac{v_w}{_w\mu_g}$$

$$\therefore\ v_g = \frac{2{\cdot}25 \times 10^8}{\frac{9}{8}} = \frac{2{\cdot}25 \times 10^8 \times 8}{9} = 2 \times 10^8\ ms^{-1}$$

২। একটা পানিপূর্ণ পাত্রে পানির গভীরতা 18 cm বলে মনে হয়। পাত্রে আরও পানি ঢেলে প্রকৃত গভীরতা 8 cm বাড়ালে পাত্রের পানির আপাত গভীরতা 24 cm বলে মনে হয়। পানির প্রতিসরাঙ্ক এবং পাত্রে পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, তরলের প্রতিসরাঙ্ক $= \dfrac{\text{তরলের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{তরলের আপাত গভীরতা}}$

ধরা যাক, পানির প্রতিসরাঙ্ক μ এবং পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা $= x$

$$\therefore\ \mu = \frac{x}{18} \text{ বা, } x = 18\mu \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

পাত্রে আরও পানি ঢালার পর পানির প্রকৃত গভীরতা হলো $(x + 8)$ cm

সুতরাং, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$\mu = \frac{x+8}{24}$$

বা, $24\,\mu = x + 8 = 18\,\mu + 8$

বা, $24\,\mu - 18\,\mu = 8$

বা, $6\,\mu = 8$

$\therefore\quad \mu = \frac{8}{6} = 1{\cdot}33$

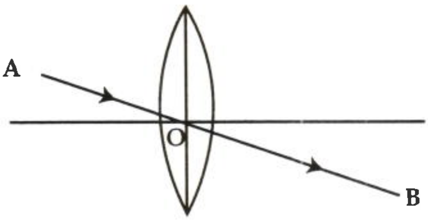
সমীকরণ (i)–এ μ এর মান বসিয়ে পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা পাই,

$$x = 18\,\mu = 18 \times 1{\cdot}33 \simeq 24 \text{ cm}$$

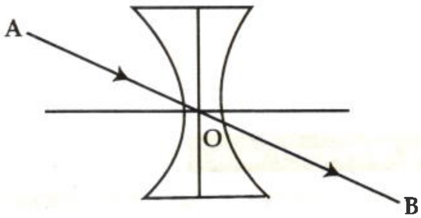
৬.৫.১ লেন্সের আলোক রশ্মি চিত্র
Ray diagram in lens

লেন্স দ্বারা কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হলে এর আকৃতি অনেক রকম হতে পারে। জ্যামিতিক পদ্ধতিতে কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব অঙ্কন করার সময় নিম্নলিখিত তিনটি শর্ত মনে রাখতে হবে।

১। যে আলোক রশ্মি লেন্স-এর আলোক কেন্দ্র দিয়ে যাবে, প্রতিসরণের পর এর দিক অপরিবর্তিত থাকবে। নিচের চিত্রে তা দেখানো হলো।

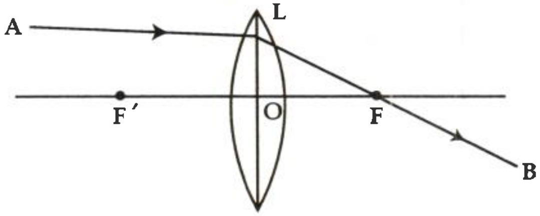


চিত্র ৬·১৪ (ক)

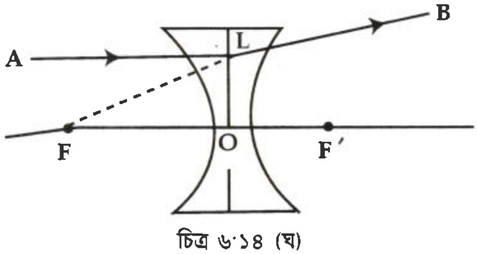


চিত্র ৬·১৪ (খ)

২। বস্তু হতে আগত আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে গমন করে লেন্সের ওপর আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মি দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস দিয়ে যাবে অথবা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয়।

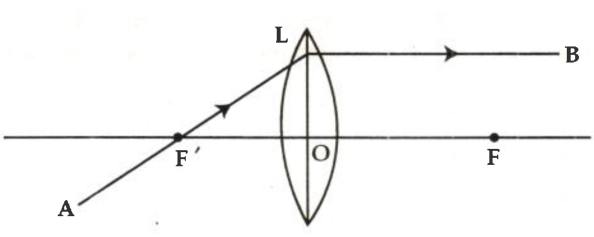


চিত্র ৬·১৪ (গ)

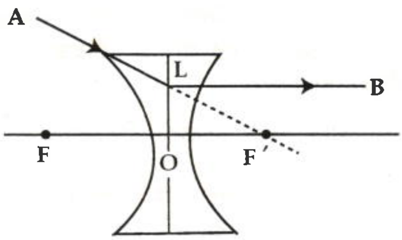


চিত্র ৬·১৪ (ঘ)

৩। কোনো রশ্মি উত্তল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস দিয়ে গমন করে বা অবতল লেন্স এর প্রথম প্রধান ফোকাসের দিকে অগ্রসর হয়ে লেন্সে আপতিত হলে তা প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হবে।



চিত্র ৬·১৪ (ঙ)



চিত্র ৬·১৪ (চ)

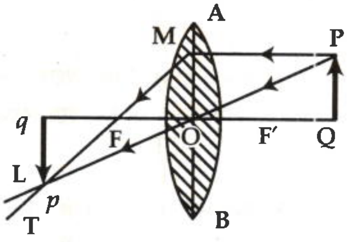
৬.৬ লেন্সের সাধারণ সমীকরণ
General equation of lenses

লেন্সের আলোক কেন্দ্র হতে **বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব** এবং **ফোকাস-দূরত্বকে** যথাক্রমে u, v এবং f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই রাশিগুলোর মধ্যে একটি সম্পর্ক আছে। এই সম্পর্ক প্রকাশের জন্য আমরা যে সমীকরণ ব্যবহার করে থাকি, তাকে **লেন্সের সাধারণ সমীকরণ** বলে।

আমরা জানি দুই প্রকারের লেন্স আছে; যথা—একটি উত্তল লেন্স, অপরটি অবতল লেন্স। নিম্নে এই দুই প্রকার লেন্সের জন্য একটি সাধারণ সমীকরণ প্রতিপাদন করতে গিয়ে প্রথমে উত্তল লেন্স এবং পরে অবতল লেন্স বিবেচনা করা হলো।

অবশ্য উত্তল লেন্সে লক্ষ্যবস্তুর বাস্তব ও অবাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে দুটি এবং অবতল লেন্সে বস্তুর সর্বদা অবাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের বিষয়টি সাধারণভাবে আলোচনা করা হবে। এখানে উল্লেখ করা যায় যে, অবতল লেন্সে লক্ষ্যবস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব হয় না।

(১) বাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে উত্তল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬.১৫]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং QOq প্রধান অক্ষ ; মনে করি একটি বস্তু PQ প্রথম প্রধান ফোকাসের বাইরে অর্থাৎ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা বেশি দূরে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত। বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সে M বিন্দুতে আপতিত হয়ে MFT পথে প্রতিসৃত হলো। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে সোজা POL রেখায় OL-এর দিকে প্রতিসৃত হলো। এই প্রতিসৃত রশ্মি দুটি p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq বস্তু PQ-এর **বাস্তব** এবং **উল্টা** প্রতিবিম্ব হবে।



চিত্র ৬.১৫

এখন POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OQ}{Oq} \quad \dots \quad \dots \quad (6.12)$$

আবার, MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6.13)$$

কিন্তু, যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব, কাজেই PQ = MO

সমীকরণ (6.13) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6.14)$$

এখন সমীকরণ (6.12) এবং (6.14) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq} = \frac{OF}{qF} = \frac{OF}{Oq - OF} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6.15)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $OQ = u$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Oq = v$ এবং $OF = f$ ধনাত্মক।

$\therefore$ সমীকরণ (6.15) হতে আমরা পাই, $\frac{u}{v} = \frac{f}{v - f}$ বা, $vf = uv - uf$

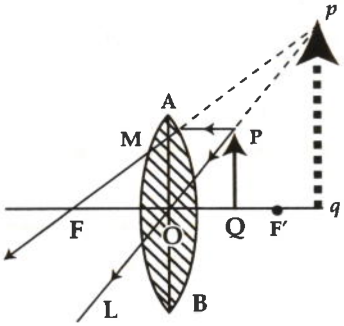
বা, $uf + vf = uv$

উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{uf}{uvf} + \frac{vf}{uvf} = \frac{uv}{uvf}$$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6.16)$$

(২) অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে উত্তল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬.১৬]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং QOF প্রধান অক্ষ।



চিত্র ৬.১৬

মনে করি একটি বস্তু PQ লেন্স ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মাঝে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত। বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সের ওপর M বিন্দুতে আপতিত হয়ে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F দিয়ে MF পথে প্রতিসৃত হলো। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে সোজা POL রেখায় প্রতিসৃত হলো। এই দুটি প্রতিসৃত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করায় এরা p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq লক্ষ্যবস্তু PQ-এর **অবাস্তব** এবং **সিধা** প্রতিবিম্ব।

এখন POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OQ}{Oq} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.17)$$

আবার MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.18)$$

কিন্তু যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব; কাজেই PQ = MO

∴ সমীকরণ (6.18) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.19)$$

এখন সমীকরণ (6.17) এবং (6.19) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq} = \frac{OF}{qF} = \frac{OF}{Oq + OF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.20)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক রীতি : বস্তু বাস্তব। অতএব u ধনাত্মক। প্রতিবিম্ব অলীক বা অবাস্তব। সুতরাং v ঋণাত্মক। প্রধান ফোকাস বাস্তব বিন্দু। অতএব f ধনাত্মক।

∴ সমীকরণ (6.20) হতে আমরা পাই, $\frac{u}{-v} = \frac{f}{-v+f}$

বা, $-uv + uf = -vf$ বা, $uf + vf = uv$

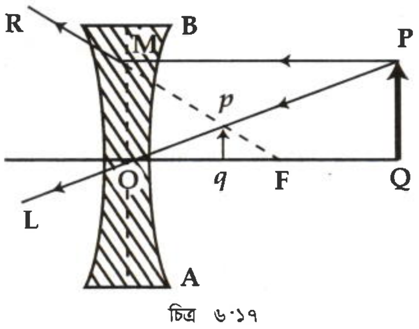
উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{uf}{uvf} + \frac{vf}{uvf} = \frac{uv}{uvf} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (6.21)$$

অবতল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু অবতল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬.১৭]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং OFQ প্রধান অক্ষ। মনে করি একটি বস্তু PQ লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত।

বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সের ওপর M বিন্দুতে আপতিত হয়ে MR পথে প্রতিসৃত হলো। একে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে প্রধান ফোকাস F দিয়ে যাবে। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে POL রেখায় সোজা OL-এর দিকে প্রতিসৃত হলো। এই প্রতিসৃত রশ্মি দুটিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে তারা p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের উপর pq লম্ব টানি। অতএব pq লক্ষ্যবস্তু PQ-এর **অবাস্তব** বা **অলীক** এবং **সিধা** প্রতিবিম্ব। এই প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে আকারে ছোট হয়।



চিত্র ৬.১৭

এখানে POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OQ}{Oq} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.22)$$

আবার, MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.23)$$

কিন্তু যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব; কাজেই PQ = MO

∴ সমীকরণ (6.23) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.24)$$

এখন সমীকরণ (6.22) এবং (6.24) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq} = \frac{OF}{qF} = \frac{OF}{OF - Oq} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.25)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক রীতি : এখানে বস্তু বাস্তব ও প্রতিবিম্ব অবাস্তব। সুতরাং u ধনাত্মক এবং v ঋণাত্মক। প্রধান ফোকাস অবাস্তব বিন্দু। অতএব f ঋণাত্মক।

সমীকরণ (6.25) হতে আমরা পাই,

$$\frac{u}{-v} = \frac{-f}{-f-(-v)}$$

বা, $vf = -uf + uv$

বা, $uf + vf = uv$

উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{uf}{uvf} + \frac{vf}{uvf} = \frac{uv}{uvf}$$

বা, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.26)$$

উল্লেখ্য : সমীকরণ (6.26)-ই উত্তল বা অবতল লেন্সে ফোকাস যুগলের অবস্থান নির্দেশক সমীকরণ।

কাজ : লেন্স স্পর্শ না করে কীভাবে শনাক্ত করবে কোনটি কোন লেন্স ?

উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে কোনো লক্ষ্যবস্তু থাকলে সেই বস্তুর অবাস্তব, সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। আবার অবতল লেন্সের সামনে লক্ষ্যবস্তু থাকলে তার অবাস্তব, সোজা ও খর্বিত বিম্ব গঠিত হয়। সুতরাং লেন্স শনাক্ত করার জন্য লেন্সের সামনে খুব কাছাকাছি একটু আঙুল রেখে অপর দিক থেকে দেখলে যদি আঙুলের সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয় তাহলে বুঝতে হবে লেন্সটি উত্তল আর যদি সোজা কিন্তু খর্বিত বিম্ব গঠিত হয় তাহলে বুঝতে হবে লেন্সটি অবতল।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৩

১। একটি উত্তল লেন্স থেকে 90 cm দূরে একটি বস্তুকে রাখা হলে 45 cm দূরের পর্দায় একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব তৈরি করে। এই লেন্সের গা ঘেঁষে একটি অবতল লেন্স লাগানো হলে আরও 75 cm দূরে একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [BUET Admission Test, 2016–17]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{90} + \frac{1}{45} = \frac{1}{30}$$

আবার, $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v'} = \frac{1}{90} + \frac{1}{(45+75)} = \frac{7}{360}$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

বা, $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_1} = \frac{7}{360} - \frac{1}{30} = \frac{-1}{72}$

$\therefore \quad f_2 = -72$ cm

২। 0·25 m ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণ হতে 0·4 m দূরে একটি বস্তু স্থাপন করা হলো। যদি বস্তুটি 0·2 m দীর্ঘ হয়, তবে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2008–09]

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{0·25}=\frac{1}{0·4}+\frac{1}{v}$$

$$\therefore \quad v = 0·667 \text{ m}$$

আবার, $l' = ml = \left(\frac{v}{u}\right) l = \left|\frac{0·667}{0·4}\right| \times 0·2 = 0·333 \text{ m}$ এবং বিম্বের প্রকৃতি বাস্তব।

৬·৭ বিবর্ধন
Magnification

বিবর্ধন শব্দের অভিধানগত অর্থ "বিশেষ বর্ধন" বা "বিশেষ বৃদ্ধি"। বিজ্ঞানের ভাষায় বিবর্ধন শব্দের অর্থ—"বস্তুর তুলনায় এর প্রতিবিম্ব কত গুণ বড় বা কত গুণ ছোট।" বস্তুত বিবর্ধন বলতে রৈখিক বিবর্ধন (Linear Magnification) বুঝায় যার সংজ্ঞা নিম্নে দেওয়া হলো।

সংজ্ঞা : রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে বুঝায়। একে 'm' দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি, বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= PQ = x$ এবং প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= pq = y$

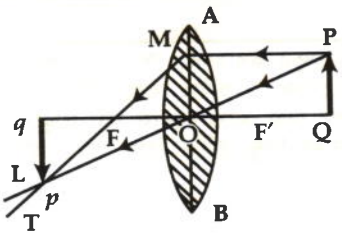
∴ আমরা পাই,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা}}$$

$$= \frac{-pq}{PQ} = \frac{-y}{x} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.27)$$

প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা তাই ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হয়েছে।

কিন্তু সাধারণভাবে বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়। অতএব,



চিত্র ৬·১৮

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$$

$$= \frac{pq}{PQ} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.28)$$

কিন্তু প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাত প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং বস্তুর দূরত্বের অনুপাতের সমান। কেননা, $\frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{OQ}$ [চিত্র ৬·১৬, ৬·১৭ ও ৬·১৮]

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুসারে, বস্তুর দূরত্ব, $OQ = u$ এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Oq = -v$

$$\therefore \quad \text{বিবর্ধন, } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}{\text{বস্তুর দূরত্ব}} = -\frac{v}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.29)$$

একইভাবে অবতল লেন্সের ক্ষেত্রেও [চিত্র ৬·১৭] পাওয়া যায়, $m = -\frac{v}{u}$

সুতরাং, লেন্স উত্তল বা অবতল, বিম্ব সোজা বা উল্টা, বাস্তব বা অবাস্তব সকল ক্ষেত্রেই $m = -\frac{v}{u}$ হবে।

লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণের সাহায্যে বিবর্ধনের সমীকরণও নির্দেশ করা যায়। লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণ হলো $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

(ক) উভয় পার্শ্বকে 'v' দ্বারা গুণ করে আমরা পাই,

$$1+\frac{v}{u}=\frac{v}{f}$$

বা, $1-\left(-\frac{v}{u}\right)=\frac{v}{f}$

বা, $1-m=\frac{v}{f}$

বা, $m=1-\frac{v}{f}$

বা, $m=\frac{f-v}{f}$ ... ... (6.30)

(খ) আবার লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণকে 'u' দ্বারা গুণ করে আমরা পাই,

$$\frac{u}{v}+1=\frac{u}{f}$$

বা, $\frac{u}{v}=-1+\frac{u}{f}=\frac{u-f}{f}$

বা, $m=-\frac{v}{u}=\frac{f}{f-u}$ ... ... (6.31)

$\therefore\quad m=\frac{f}{f-u}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৪

১। একটি পর্দা থেকে 30 cm দূরে একটি মোমবাতি রাখা আছে। পর্দার ওপর মোমবাতির তিনগুণ বিবর্ধিত একটি বিম্ব পেতে কত ফোকাস দূরত্বের কী ধরনের দর্পণ ব্যবহার করতে হবে? [KUET Admission Test, 2006–07]

$$m=\frac{v}{u}$$

বা, $3u=v$

আবার, $v=u+30$

$\therefore\quad u=15$ এবং $v=45$

$$f=\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}\right)^{-1}=11.25\text{ cm}$$ (অবতল দর্পণ)

৬.৮ বিম্বের পূর্ণ বিবরণ
Complete description of an image

কোনো একটি বিম্বের পূর্ণ বিবরণ জানতে হলে তার অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকৃতি জানা দরকার।

(ক) অবস্থান : বিম্বের অবস্থান বলতে লেন্স হতে এর দূরত্ব বুঝায়। v-এর মান যত হবে লেন্স থেকে এর বিম্বের দূরত্বও তত হবে। v ঋণাত্মক হলে বিম্ব লেন্সের সামনে হবে, অর্থাৎ লক্ষ্যবস্তু লেন্সের যে পার্শ্বে থাকে বিম্ব সেই পার্শ্বে হবে। v ধনাত্মক হলে লেন্সের যে পার্শ্বে লক্ষ্যবস্তু রয়েছে, বিম্ব তার বিপরীত পার্শ্বে হবে।

(খ) প্রকৃতি : বিম্বের প্রকৃতি বলতে বিম্বটি বাস্তব না অবাস্তব এবং সোজা না উল্টা তা বুঝায়।

এখন v-এর চিহ্ন দেখে বিম্ব বাস্তব না অবাস্তব তা নির্ণয় করা হয় এবং m-এর চিহ্ন দেখে বিম্ব সোজা না উল্টা তা নির্ণয় করা হয়।

v ধনাত্মক হলে বিম্ব বাস্তব হয়, v ঋণাত্মক হলে বিম্ব অবাস্তব হয়।

m ধনাত্মক হলে বিম্ব সোজা হয়, m ঋণাত্মক হলে বিম্ব উল্টা হয়।

(গ) আকৃতি : বিম্বের আকৃতি বলতে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় বড় না ছোট, না লক্ষ্যবস্তুর সমান, তা বুঝায়। আকৃতি নির্ণয়ের জন্য m-এর শুধু মান নিতে হয়। m-এর পরম মান,

$$|m|=\left|\frac{v}{u}\right|$$ হয়।

m-এর মান 1-এর বড় হলে বিম্বটি বিবর্ধিত অথবা লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে বড়। 1-এর কম হলে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে ছোট। আবার $|m|=1$ হলে বুঝতে হবে যে বিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সমান।

বিম্বের দৈর্ঘ্য নির্ণয় : লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য 'l' জানা থাকলে বিম্বের দৈর্ঘ্য l' নিম্নোক্ত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়।

$$l'=|m|\,l$$ ... ... (6.32)

একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত ।

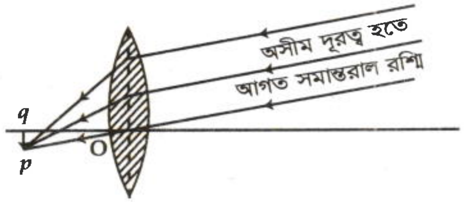
৬·৯ জ্যামিতিক উপায়ে লক্ষ্যবস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয়

Determination of location, nature and size of images by geometrical means of an object located at different positions

কোনো একটি লক্ষ্যবস্তুকে অসীম দূরত্ব হতে ক্রমাগত লেন্সের আলোক কেন্দ্রের দিকে আনতে থাকলে বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকৃতিও বিভিন্ন হবে। উল্লেখ্য **প্রতিবিম্বের পূর্ণ বিবরণের জন্য এর অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকার নির্দেশ করতে হয়।**

উত্তল লেন্স : মনে করি নিচের প্রত্যেকটি চিত্রে AOB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ, O এটির আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং F′ প্রথম প্রধান ফোকাস। ধরি OQ এর প্রধান অক্ষ ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি লক্ষ্যবস্তু এবং f লেন্সের ফোকাস দূরত্ব।

(ক) বস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = \infty$) : অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোনো বস্তু হতে আগত রশ্মিসমূহ পরস্পর সমান্তরালভাবে প্রধান অক্ষের সাথে একটি কোণ উৎপন্ন করে লেন্সে প্রবেশ করে এবং লেন্সে প্রতিসরিত হওয়ার পর কোনো একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। চিত্র ৬·১৯-এ প্রতিসরিত রশ্মিসমূহ p বিন্দুতে মিলিত হয়েছে। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq-ই বস্তুটির প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৯

অবস্থান : ফোকাস তলে অর্থাৎ $|v| = f$

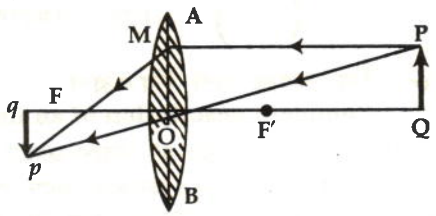
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে অত্যন্ত ছোট।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{f}{\infty} \approx 0$

উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) তৈরি করা হয়।

(খ) বস্তু উত্তল লেন্স থেকে $2f$ এর বেশি দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u > 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২০]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২০

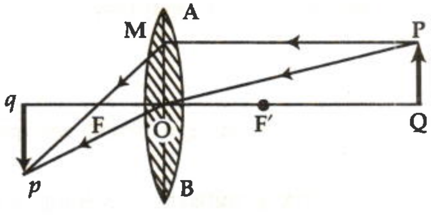
অবস্থান : f এবং $2f$-এর মধ্যে অর্থাৎ $2f > |v| > f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর তুলনায় ছোট। কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} < 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ক্যামেরা তৈরি করা হয়।

(গ) বস্তু লেন্স থেকে $2f$ দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২১]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২১

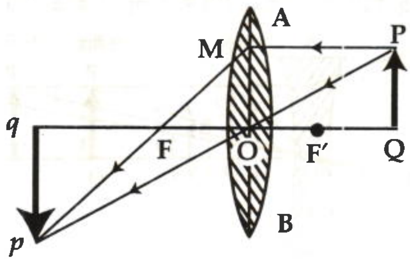
অবস্থান : $2f$ দূরে অর্থাৎ $|v| = 2f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : লক্ষ্যবস্তুর সমান। কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{2f}{2f} = 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ভূ–দূরবীক্ষণ যন্ত্রে উল্টা প্রতিবিম্বকে একই আকারের সমশীর্ষ প্রতিবিম্বে পরিণত করা হয়।

(ঘ) বস্তু f এবং $2f$-এর মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $2f > u > f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২২]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর f এবং $2f$ দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২২

অবস্থান : $2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে অর্থাৎ $|v| > 2f$

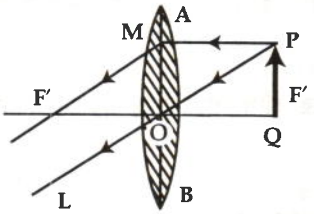
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে বিবর্ধিত অর্থাৎ আকারে বড়।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} > 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য (objective) তৈরি করা হয়।

(ঙ) বস্তু প্রধান ফোকাসে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = f$) : মনে করি, PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২৩]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে f দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পরের সমান্তরালে গমন করবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করবে।



চিত্র ৬·২৩

অবস্থান : অসীমে অর্থাৎ $v = \infty$।

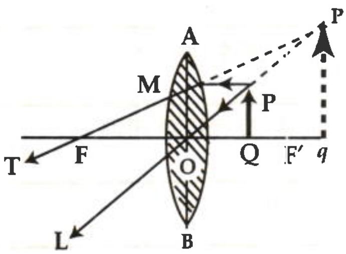
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা অথবা অবাস্তব ও সিধা।

আকার : বস্তুর তুলনায় খুবই বিবর্ধিত।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{\infty}{f} \approx \infty$

বর্ণালি বীক্ষণ যন্ত্রে উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে সমান্তরাল রশ্মি গুচ্ছ তৈরি করা হয়।

(চ) বস্তু আলোক কেন্দ্র ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $u < f$): মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২৪]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্সের আলোক কেন্দ্র O এবং প্রথম প্রধান ফোকাস F′-এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পর অপসারী হবে। এই দুটি রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা p বিন্দু হতে অপসৃত হয়েছে বলে মনে হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব। এখানে, $v > u$।



চিত্র ৬·২৪

অবস্থান : লেন্সের যে পার্শ্বে বস্তু অবস্থিত প্রতিবিম্বও সেই পার্শ্বে অবস্থিত।

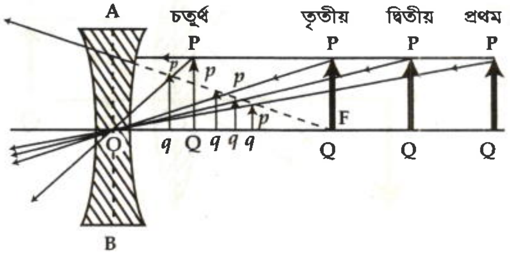
প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।

আকার : বিবর্ধিত। কেননা, $|m| = \frac{v}{u} > 1$

উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে বিবর্ধন কাচ, অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye piece) তৈরি করা হয়।

৬·১০ অবতল লেন্স
Concave lens

৬·২৫নং চিত্রে AOB একটি সরু অবতল লেন্সের প্রধান ছেদ। লেন্সটির আলোক কেন্দ্র O, দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F এবং প্রধান অক্ষ OQ-এর ওপর দণ্ডায়মান PQ একটি বস্তু। বস্তুটির বিভিন্ন অবস্থানে তার প্রতিবিম্ব লেন্সে কীভাবে উৎপন্ন হবে তা বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে দুটি রশ্মির গতিপথ দেখিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে।



চিত্র ৬·২৫

বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সে আপতিত আলোক রশ্মিটি লেন্স হতে এমনভাবে নির্গত হবে যে তাকে F বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে। আবার P হতে লেন্সের আলোক কেন্দ্র O অভিমুখী লেন্সে আপতিত PO রশ্মিটি লেন্স হতে না বেঁকে সোজা PO বরাবর নির্গত হবে। নির্গত পরস্পর অপসারী এই রশ্মি দুটির ছেদবিন্দু p-ই P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব এবং p হতে প্রধান অক্ষের ওপর অঙ্কিত লম্ব pq-ই সমগ্র বস্তু PQ-এর প্রতিবিম্ব হবে।

অবস্থান : বস্তু ও প্রতিবিম্ব লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থিত।

প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।

আকার : বস্তুর তুলনায় ছোট। কেননা, $|m| = \frac{v}{u} < 1$

চিত্রে PQ বস্তুটির ১ম, ২য়, ৩য় ও ৪র্থ অবস্থানে থাকলে তার প্রতিবিম্ব ক্রমশ লেন্সের দিকে অনুরূপভাবে সরে কীভাবে উৎপন্ন হবে দেখানো হয়েছে। চিত্রগুলো লক্ষ্য করে অনায়াসে বলা যায় যে—

(১) লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব সর্বদা সিধা, অবাস্তব ও আকারে বস্তুর চেয়ে ছোট হবে এবং বস্তুর একই পার্শ্বে উৎপন্ন হবে।

(২) আলোক কেন্দ্র হতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব অপেক্ষা কম হবে।

(৩) বস্তু যতই আলোক কেন্দ্রের দিকে অগ্রসর হবে প্রতিবিম্ব ততই আকারে বৃদ্ধি পাবে কিন্তু কোনো সময় আকারে বস্তুর সমান হবে না।

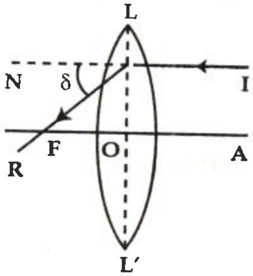
৬·১১ লেন্সে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয়
Determination of position and nature of images formed by lenses

লেন্স	লেন্সের সাপেক্ষে বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ও বস্তুর সাপেক্ষে আকার
উত্তল লেন্স	অসীম দূরত্ব $(u = \infty)$	দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস তলে $(v = f)$।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর চেয়ে অত্যন্ত ছোট $(\|m\| \approx 0)$।
	$2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে $(u > 2f)$।	লেন্সের পশ্চাতে f ও $2f$ দূরত্বের মাঝে $(2f > v > f)$।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর চেয়ে ছোট $(\|m\| < 1)$।
	$2f$ দূরত্বে $(u = 2f)$	লেন্সের পশ্চাতে $2f$ দূরত্বে $(v = 2f)$।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর সমান $(\|m\| = 1)$।
	f ও $2f$ দূরত্বের মাঝে $(2f > u > f)$	লেন্সের পশ্চাতে $2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে $(v > 2f)$।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বড় $(\|m\| > 1)$।
	f দূরত্বে $(u = f)$	অসীম দূরত্বে $(v = \infty)$	বাস্তব, উল্টা ও আকারে অত্যন্ত বড় $(\|m\| \approx \infty)$।
	আলোক কেন্দ্র ও f দূরত্বের মাঝে $(f > u > 0)$	বস্তুর একই পার্শ্বে এবং সামনে $(v > u)$।	অবাস্তব, সিধা ও আকারে বড় $(\|m\| > 1)$।
অবতল লেন্স	আলোক কেন্দ্র ও অসীম দূরত্বের মাঝে $(\infty > u > 0)$	বস্তুর একই পার্শ্বে আলোক কেন্দ্র ও দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসের মাঝে $(f > v > 0)$।	অবাস্তব, সিধা ও ছোট $(m < 1)$।
	অসীম দূরত্বে $(u = \infty)$	দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস তলে বস্তুর একই পার্শ্বে $(v = f)$।	অবাস্তব, সিধা ও ছোট $(m < 1)$।

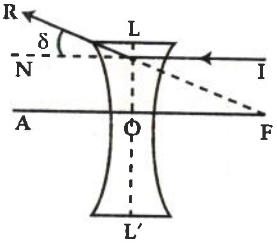
জানার বিষয় : যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হয় তাহলে উত্তল লেন্স অবতল লেন্সের ন্যায় এবং অবতল লেন্স উত্তল লেন্সের ন্যায় আচরণ করে।

৬.১২ লেন্সের ক্ষমতা
Power of a lens

কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) [চিত্র ৬.২৬ ও ৬.২৭] **উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে।** যদি কোনো লেন্স একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে বেশি পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে, তবে তার ক্ষমতা বেশি আর যদি কম পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে তবে তার ক্ষমতা কম। কাজেই লেন্সে আপতিত প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক রশ্মির প্রতিসরণজনিত কৌণিক বিচ্যুতি δ দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা নির্ধারিত হবে। যে লেন্সের ক্ষেত্রে δ যত বেশি হবে ওই লেন্সের ক্ষমতাও



চিত্র ৬.২৬



চিত্র ৬.২৭

তত বেশি। আবার যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ওই লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এজন্য **কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।**

মনে করি কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $= f$; অতএব এর ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f}$ ।

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের ক্ষমতা একটি পরিমেয় রাশি। অতএব এর একক আছে। লেন্সের ক্ষমতার একক ডায়প্টার সংক্ষেপে 'D' দ্বারা সূচিত করা হয়। **1 মিটার ফোকাস দূরত্বের কোনো লেন্সের ক্ষমতাকে 1 ডায়প্টার (D) বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।**

ধরি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f(m)। অতএব এর ক্ষমতা,

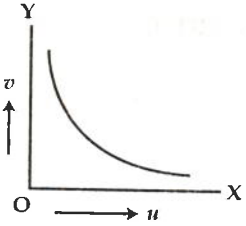
$$P = \frac{1}{f\ (\text{m})} \text{ ডায়প্টার} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (6.33)$$

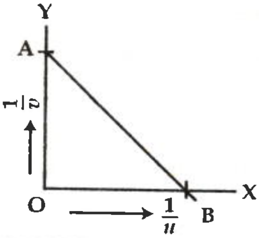
$$P = \frac{1}{f\,(\text{m})}\ \text{D}$$

উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধনাত্মক রাশি এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতা ঋণাত্মক রাশি।

কাজ : লেন্সে u বনাম v লেখচিত্র কীরূপ হবে ?

লেন্সের ক্ষেত্রে $u - v$ লেখচিত্র নিম্নরূপ হবে :





কাজ : ঘন মাধ্যমে কাচ লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায় কেন ?

লেন্স প্রস্তুতকারক সূত্র এবং সাধারণ সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, বায়ু থেকে ঘনতর কোনো মাধ্যমে যেমন পানি, কেরোসিন, গ্লিসারিন ইত্যাদিতে একটি কাচের লেন্স রাখলে এর ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি পায়। আর যেহেতু লেন্সের ক্ষমতা তার ফোকাস দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক, তাই বায়ুর চেয়ে ঘনতর কোনো মাধ্যমে কাচ লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায়।

RMDAC

'একটি চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার'—এর অর্থ কী ?

এখানে, P = + 4 ডায়প্টার।

$\therefore \quad f = +\frac{1}{4}\text{ m} = +0.25\text{ m}$

তা হলে 'চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার' কথাটির অর্থ হলো— **ব্যবহৃত লেন্সটি উত্তল এবং এর ফোকাস দূরত্ব 0.25 m।**

আবার কোনো লেন্সের ক্ষমতা – 2D বলতে বুঝায় লেন্সটি অবতল

এবং এর ফোকাস দূরত্ব, $f = -\frac{1}{2}\text{ m} = -0.5\text{ m}$

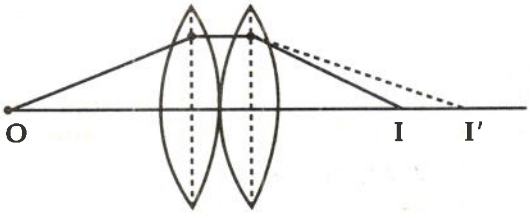
দুটি লেন্সের ক্ষমতা P_1 এবং P_2 হলে লেন্স দুটিকে সংস্পর্শে রেখে সমবায় গঠন করলে ওই সমবায় ক্ষমতা,

$P = P_1 + P_2$ হবে।

লেন্সের সমবায় ও তুল্য লেন্স

Combination of lenses and equivalent lens

f_1 ও f_2 ফোকাস দূরত্বের দুটি লেন্স L_1 ও L_2 পরস্পরের সংস্পর্শে সমাক্ষীয়ভাবে রয়েছে [চিত্র ৬·২৮]। সমবায়ের অক্ষের ওপর O একটি বিন্দু বস্তু।



চিত্র ৬·২৮

প্রথমে L_1 লেন্সটি I′ বিন্দুতে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে।

$$\therefore \quad \frac{1}{f_1} = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখানে u = বস্তু দূরত্ব এবং v_1 = L_1 লেন্সের প্রতিবিম্ব দূরত্ব। P′ বিন্দু L_2 লেন্সের অসদ বস্তু হিসেবে আচরণ করে এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব I বিন্দুতে গঠিত হয়।

$$\therefore \quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখন, সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

লেন্স সমবায়টির পরিবর্তে F ফোকাস দূরত্বের একটি লেন্স নেওয়া হলো যা বস্তু O-এর প্রতিবিম্ব I বিন্দুতে গঠন করে। তাহলে 'F' ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সটি তুল্য লেন্স।

$$\therefore \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iv)$$

সমীকরণ (iii) ও (iv) তুলনা করলে আমরা পাই,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

তুল্য লেন্সের ক্ষমতা $P = \frac{1}{F}$, L_1 লেন্সের ক্ষমতা $P_1 = \frac{1}{f_1}$ এবং L_2 লেন্সের ক্ষমতা $P_2 = \frac{1}{f_2}$

$$\therefore \quad P = P_1 + P_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.34)$$

$\therefore$ মোট বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2$, এখানে m_1 এবং m_2 যথাক্রমে L_1 এবং L_2 লেন্স কর্তৃক উৎপন্ন বিবর্ধন।

কোনো লেন্স সমবায়ের N সংখ্যক লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যদি যথাক্রমে $f_1, f_2, \ldots\ldots, f_n$ এবং তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F হয় তা হলে,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{f_n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 6.34(a)$$

সুতরাং, তুল্য লেন্সের ক্ষমতা,

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots P_n \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 6.34(b)$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৫

১। 6 cm লম্বা একটি বস্তুকে 16 cm ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্স থেকে 12 cm দূরে স্থাপন করা হলো। বিম্বের আকার বের কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{12} + \frac{1}{v} = \frac{1}{16}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{16} - \frac{1}{12}$

$= \frac{3-4}{48} = -\frac{1}{48}$

$\therefore \quad v = -48$ cm

আবার, $\frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার } (l)}{\text{বস্তুর আকার } (l')} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব } (v)}{\text{বস্তুর দূরত্ব } (u)}$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের আকার, $l = \frac{v}{u} \times l' = \frac{48}{12} \times 6 = 24$ cm

এখানে,

$f = 16$ cm
$u = 12$ cm
বস্তুর আকার $= 6$ cm

২। কোনো লেন্সের ক্ষমতা +4 D। লেন্সটি থেকে কত দূরে বস্তু রাখলে বস্তুর অর্ধেক আকারের প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হবে ?
[KUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$P = \frac{1}{f(\text{m})}$$

বা, $f = \frac{1}{P} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

আবার, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (ii)

এখানে,

$P = 4$ D

$m = \frac{v}{u} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}} = \frac{1}{2}$

$v = \frac{u}{2}$

সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{\frac{u}{2}} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{2}{u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{3}{u} = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.25} \quad \left[\because f = \frac{1}{P} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ m}\right]$

$\therefore \quad u = 3 \times 0.25 = 0.75$ cm

৩। সূর্যের আলোতে একটি উত্তল লেন্স রেখে লেন্স থেকে 30 cm দূরে একটি পর্দায় সবচেয়ে স্পষ্ট ও উজ্জ্বল আলোর স্পট পাওয়া গেল। লেন্সটির প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 30 cm হলে পানিতে তার ক্ষমতা নির্ণয় কর। পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। [BUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=(\mu_g-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{30}+\frac{1}{\infty}=(\mu_g-1)\left(\frac{1}{30}-\frac{1}{-30}\right)$$

বা, $$\frac{1}{30}=(\mu_g-1)\left(\frac{2}{30}\right)$$

বা, $$\mu_g-1=\frac{1}{2} \qquad \therefore \mu_g=1.5$$

আবার,

$$P=\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_g}{\mu_w}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=\left(\frac{1.5}{4/3}-1\right)\left(\frac{1}{0.30}-\frac{1}{-0.30}\right)$$

$$=\left(\frac{4.5}{4}-1\right)\left(\frac{2}{0.30}\right)$$

$= 0.83$ D (এখানে r_1 ও r_2 মিটারে প্রকাশিত)

৪। 13 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট উত্তল লেন্স থেকে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে বাস্তব বিম্বের আকার বস্তুর আকারের তিন গুণ হবে ?

এখানে,
$f = +15$ cm
বিবর্ধন, $m = 3$
$u = ?$

আমরা জানি,

$$m=\frac{v}{u}=3$$

বা, $v = 3u$

বাস্তব বিম্বের জন্য v ধনাত্মক

$\therefore v = +3u$

এখন $$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

বা, $$\frac{1}{u}+\frac{1}{3u}=\frac{1}{f}=\frac{1}{15}$$

বা, $$\frac{3+1}{3u}=\frac{1}{15}$$

বা, $$\frac{4}{3u}=\frac{1}{15}$$

বা, $3u = 60$

$\therefore u = 20$ cm সামনে।

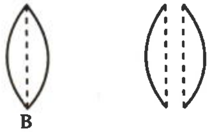
৫। একটি উভোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f [চিত্র ১]। যদি লেন্সটি AB বরাবর দুটি অংশে কাটা হয় তবে প্রতিটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত হবে ?

ধরা যাক, উভোত্তল লেন্সের প্রতিটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ r এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ। লেন্স তৈরির ফর্মূলা থেকে পাই,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r}\right)$$

$$=\frac{2}{r}(\mu-1) \qquad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$



চিত্র-১

প্রতিটি অর্ধাংশের বক্রতার তলের ক্ষেত্রে, $r_1 = r$ এবং সমতল পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = \infty$

ধরা যাক, কাটা প্রতিটি অংশের ফোকাস দূরত্ব $= x$

$\therefore \quad \frac{1}{x} = (\mu - 1) \times \frac{1}{r} = \frac{1}{2f}$ (সমীকরণ (i) হতে)

$\therefore \quad x = 2f$

৬। একটি উভোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব এর বক্রতার ব্যাসার্ধের সাথে সম্পর্ক হলো $f = r$। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

উভোত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, $r_1 = r,\ r_2 = -r$

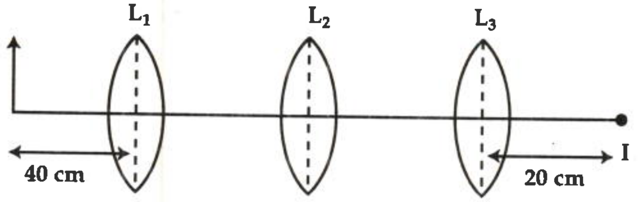
$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{1+1}{r}\right) = (\mu - 1)\frac{2}{r}$$

বা, $\frac{1}{r} = (\mu - 1)\frac{2}{r} \quad [\because f = r]$

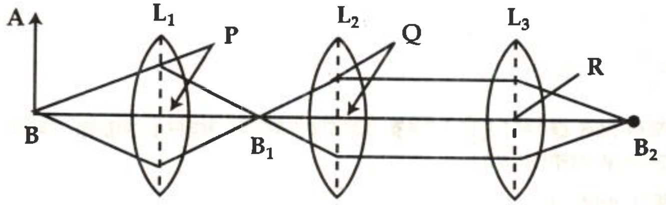
বা, $(\mu - 1) = \frac{1}{2}$ বা, $\mu = \frac{3}{2} = 1·5$

৭। তোমাকে L_1, L_2 ও L_3 তিনটি লেন্স দেওয়া হলো যাদের প্রত্যেকটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm। L_1 এর 40 cm সামনে একটি বস্তু রাখা হলো [চিত্র -১ এর অনুরূপ]। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব L_3 লেন্সের ফোকাস বিন্দু I-তে উৎপন্ন হয়। L_1, L_2 ও L_3 এর মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর।



চিত্র ১

চিত্র ২–এ শুধু দুরত্বের মান বিবেচনা করা হয়েছে।



চিত্র ২

L_1 লেন্সের জন্য, $u = PB = 40\text{ cm} = 2 \times 20\text{ cm} = 2f$

অতএব, $u = 2f = 2 \times 20\text{ cm} = 40\text{ cm} = PB$

চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব B_2 ফোকাস বিন্দু L_3-তে দেখানো হয়েছে।

সুতরাং, $AB_2 = 20\text{ cm}$

অতএব, L_2 এবং L_3 এর রশ্মিসমূহ অবশ্যই পরস্পর সমান্তরাল হবে। এতে দেখা যায় যে B_1 হচ্ছে L_2 এর ফোকাস বিন্দু। সুতরাং $B_1Q = 20\text{ cm}$।

অতএব, L_1 এবং L_2 মধ্যে দূরত্ব $= PQ = PB_1 + B_1Q = 40 + 20 = 60\text{ cm}$

পুনরায়, L_2 ও L_3 লেন্সের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মি নির্দেশ করে। এই দুটি লেন্স এদের মধ্যবর্তী যেকোনো অবস্থানে রাখা যেতে পারে।

৮। একটি 2.5D ক্ষমতার অবতল লেন্স এবং একটি 2.0D ক্ষমতার উত্তল লেন্সদ্বয়ের সমন্বয়ে একটি যৌগিক লেন্স তৈরি করা হলো। উক্ত যৌগিক লেন্সের সামনে 300 cm দূরে একটি বস্তু রাখলে বস্তুটির প্রতিবিম্ব কোথায় পাওয়া যাবে? [BUET Admission Test, 2020-21]

এখানে,
অবতল লেন্সের ক্ষমতা, $P_2 = -2.5D$
উত্তল লেন্সের ক্ষমতা, $P_1 = 2.0D$
বস্তুর দূরত্ব, $u = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$

আমরা জানি, তুল্য ক্ষমতা,

$$P = P_1 + P_2 = 2 - 2.5 = -0.5D$$

আবার, $f = \frac{1}{P} = -\frac{1}{0.5} = -2 \text{m}$

এখন, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

$$= -\frac{-3-2}{6} = -\frac{5}{6}$$

$\therefore \quad v = \frac{-6}{5} = -1.2 \text{m}$

প্রতিবিম্বটি অবাস্তব এবং সোজা হবে।

৯। যদি একটি বস্তু উত্তল লেন্স থেকে 4 cm দূরে রাখা হয়, তবে লেন্স থেকে 20 cm দূরে একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। যদি লেন্সটি বিবর্ধক কাচ হিসাবে ব্যবহার করা হয় তবে এ থেকে সর্বোচ্চ কত বিবর্ধন পাওয়া যাবে? স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm।

এখানে,
$u = -4 \text{cm}$
$v = 20 \text{cm}$
$D = 25 \text{cm}$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{20} - \frac{1}{-4} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{1+4}{20} = \frac{1}{f}$

বা, $f = 5 \text{cm}$

এখন, বিবর্ধক কাচের সর্বোচ্চ বিবর্ধন,

$$m = 1 + \frac{D}{f}$$

$\therefore \quad m = 1 + \frac{25}{5} = 1 + 5 = 6$

১০। একটি অবতলোত্তল লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় কর। এই ধরনের লেন্স কোথায় ব্যবহার হয়।

ধরি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, f

লেন্সের তৈরির ফর্মূলা থেকে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r}\right) \qquad [\because r_1 = r_2]$$

$\therefore \quad \frac{1}{f} = 0$ বা, $f = \infty$

পুনরায়, লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} = 0$

সানগ্লাসে এই ধরনের লেন্স ব্যবহার করা হয়।

১১। একটি সমতল দর্পণের ওপর 25 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করা হলো। যদি একটি বস্তু [চিত্র ১] লেন্সের অক্ষ বরাবর কেন্দ্রে লেন্স থেকে 25 cm ওপরে স্থাপন করা হয় তবে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হবে?

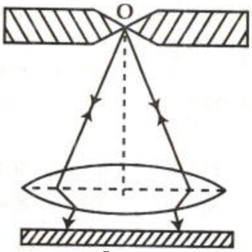
আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{25}=\frac{1}{25}$

বা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{25}-\frac{1}{25}=\frac{1-1}{25}=\frac{0}{25}$

$\therefore \quad v=\infty$



চিত্র ১

এখানে,

$u = 25$ cm

$f = 25$ cm

$v = ?$

অতএব, প্রতিসরিত রশ্মি লেন্সের অক্ষের সমান্তরালে অগ্রসর হয়ে সমতল দর্পণের অভিলম্ব বরাবর আপতিত হবে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি একই পথ অনুসরণ করবে এবং প্রতিবিম্ব গঠন না করে বস্তু O এর সাথে মিলে যাবে [চিত্র ১]।

অনুসন্ধান কর : সান গ্লাস (গগলস্)–এর দুটি বক্র তল রয়েছে, অথচ এদের ক্ষমতা শূন্য, কেন ?

সান গ্লাসের লেন্সে ব্যবহৃত দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান এবং একই চিহ্নের (একই দিকে বাঁকা) [চিত্র ১]।

$$\therefore \quad \text{ক্ষমতা, } P=\frac{1}{f}=({}_a\mu_g-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=0 \quad [\because r_1=r_2]$$

চিত্র ১

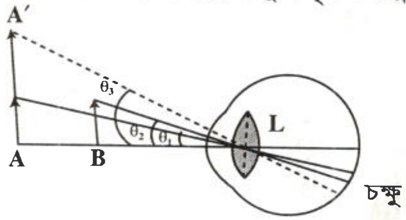
৬·১৩ বীক্ষণ যন্ত্রাবলি
Visual instruments

একটি বস্তু আকারে খুব ছোট হলে অথবা দূরে অবস্থান করলে তাকে খালি চোখে স্পষ্ট দেখা যায় না। এ কারণে উপযোগী যন্ত্রের সাহায্যে কাছের অতি ক্ষুদ্র বস্তুর বড় প্রতিবিম্ব গঠন করে অথবা দূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব নিকটে উৎপন্ন করে দর্শন উপযোগী করা হয়। এসব যন্ত্রগুলোকে **দৃষ্টি সহায়ক বীক্ষণ যন্ত্র বলে**। যেমন অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, বাইনোকুলার, পেরিস্কোপ ইত্যাদি। এসব যন্ত্রে এমন ধরনের লেন্স ব্যবহার করা হয়, যা চোখে বেশি মানের বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ উৎপন্ন করে। এখন আমরা বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ কী এবং কৌণিক বিবর্ধন আলোচনা করব।

৬·১৩·১ বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ ও কৌণিক বিবর্ধন
Visual angle and angular magnification

বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ

একটি বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে দৃষ্টি কোণ বা বীক্ষণ কোণ বলে। চোখে একটি বস্তু বড় না ছোট দেখবে তা নির্ভর করে বস্তু কর্তৃক উৎপন্ন দৃষ্টি কোণের ওপর।



চিত্র ৬·২৯

ব্যাখ্যা : চিত্র ৬·২৯-এ A ও B একই বস্তু দুটি ভিন্ন অবস্থানে রয়েছে। B অবস্থানে বস্তুটি থাকায় একে A অবস্থানের চেয়ে বড় দেখায়।

যদিও বস্তু দুটি একই দৈর্ঘ্যের; কিন্তু বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ $\theta_2 > \theta_1$ হওয়ায় কাছের বস্তু বড় মনে হচ্ছে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে বিম্বের উচ্চতা বা দৈর্ঘ্য দৃষ্টি কোণের সমানুপাতিক। একই অবস্থানে A ও A′ থাকলেও $\theta_3 > \theta_1$ হওয়ায় A′ > A। দৃষ্টি কোণ যত বড় বস্তু তত বড় দেখায়।

দর্পণ এবং লেন্স আলোচনায় বিম্বের আকার বস্তুর আকারের চেয়ে কত বড় বা ছোট তা রৈখিক বিবর্ধন সূচক (index) দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। কিন্তু অনেক দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্রে যে বিম্ব সৃষ্টি হয় তা লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় খুবই ছোট। সেক্ষেত্রে বিম্বের আকৃতি নির্ণয়ের জন্য রৈখিক বিবর্ধন সুবিধাজনক সূচক নয়। তাই ওই সকল যন্ত্রের ক্ষেত্রে রৈখিক বিবর্ধনের পরিবর্তে কৌণিক বিবর্ধনকেই উপযোগী সূচক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

কৌণিক বিবর্ধন বা বিবর্ধন

বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাতকে কৌণিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে। একে m দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। m-কে অনেক সময় **বিবর্ধন ক্ষমতা**ও বলা হয়।

ব্যাখ্যা : দৃষ্টি সহায়ক বীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত কোনো লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব চক্ষু লেন্সের সাপেক্ষে বস্তু হিসেবে ক্রিয়া করে। কিন্তু চোখে এই প্রতিবিম্ব ও প্রকৃত বস্তু সমান কোণ উৎপন্ন করে না। এই কারণে অক্ষিপটে বস্তুর আকার হতে ভিন্ন আকারের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। চোখে বস্তুর আপাত আকার নির্ভর করে প্রকৃত বস্তু ও তার প্রতিবিম্বের দৃষ্টি-কোণের ওপর। এই কারণে বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাত দ্বারা বিবর্ধন নির্দিষ্ট হয়।

$$\therefore \text{ বিবর্ধন, } m = \frac{\text{(চোখে) প্রতিবিম্ব কর্তৃক সৃষ্ট দৃষ্টিকোণ}}{\text{(চোখে) বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট দৃষ্টিকোণ}}$$

যদি বস্তু ও প্রতিবিম্ব চোখে যথাক্রমে α ও β দৃষ্টিকোণ উৎপন্ন করে, তবে $m = \frac{\beta}{\alpha}$ ... ... (6.35)

৬.১৩.২ মাইক্রোস্কোপ (অণুবীক্ষণ যন্ত্র)
Microscope

আমাদের সামনে এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে আমরা খালি চোখে দেখি না। আবার এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে খালি চোখে দেখলেও খুব ছোট দেখা যায়। এই সকল বস্তুকে বিবর্ধিত করে স্পষ্টভাবে দেখার ব্যবস্থা হলো অণুবীক্ষণ যন্ত্র।

যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা —

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও

(খ) জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound Microscope)।

জানার বিষয় : অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষমতা বৃদ্ধিতে ব্যবহার করা হয় অতিবেগুনি রশ্মি।

৬.১৩.৩ সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ
Simple microscope or magnifying glass

খুব বেশি বিবর্ধন প্রয়োজন না হলে এটি ব্যবহৃত হয়। এতে একটি হাতলযুক্ত ফ্রেমে অল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বসানো থাকে [চিত্র ৬.৩০]। সাধারণত এটি সূক্ষ্ম কারুকার্য, অতি ক্ষুদ্র লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে ব্যবহার করা হয়।

চিত্র ৬.৩০

[DAT : 22-23]

মূলনীতি : আমরা জানি, উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি বস্তু রাখলে লেন্সে তার একটি সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব বস্তুর একই পার্শ্বে গঠিত হয় এবং বস্তু লেন্সের যত নিকটে অবস্থান করে বিবর্ধন তত বেশি হয় বা লেন্স হতে তত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সের অপর পার্শ্বে চোখ রাখলে বস্তুর পরিবর্তে এই বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখতে পাওয়া যায়। অবশ্য প্রতিবিম্বটি চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হলে তাকে বিনা ক্লেশে সবচেয়ে বেশি স্পষ্ট দেখা সম্ভব হয়। এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্রিয়া প্রণালির মূলনীতি।

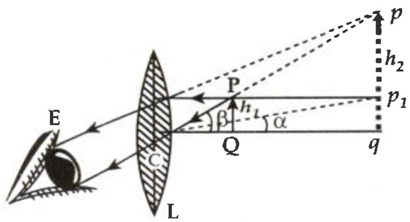
বিবর্ধন : ধরা যাক একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উত্তল লেন্স L-এর ফোকাস দূরত্ব f অপেক্ষা কম দূরত্বে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে একটি বস্তু PQ স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ৬.৩১]। এতে লেন্সের পিছনে স্থাপিত চোখ E-এর স্পষ্ট দৃষ্টির নিকট বিন্দুতে তার সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব pq গঠিত হলো।

এখন লেন্সের সাধারণ সমীকরণ হতে অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$-\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ [$\because$ লেন্সটি উত্তল তাই f ধনাত্মক এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে, v ঋণাত্মক]

অথবা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} + \frac{1}{f}$

বা, $\frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$ [উভয় পক্ষকে v দ্বারা গুণ করে]



চিত্র ৬.৩১

$\therefore$ বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$ ... ... (6.36)

কিন্তু $v = D$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব

$$\therefore \quad \boxed{m = 1 + \frac{D}{f}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.37)$$

চক্ষু যদি লেন্স হতে a দূরত্বে অবস্থান করে, তবে $D = v + a$

∴ সমীকরণ (6.35) অনুসারে পাওয়া যায়,

$$\boxed{m = 1 + \frac{D - a}{f}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.38)$$

ইহাই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

উপরোক্ত সমীকরণ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে,

(১) **লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f যত কম হবে তার বিবর্ধন ক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।**

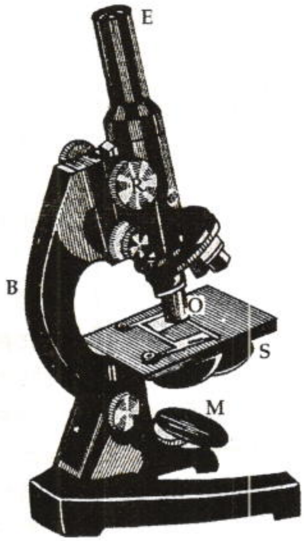
(২) **স্বাভাবিক চোখ অপেক্ষা ক্ষীণ দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব ছোট এবং দূর দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব বড় দেখাবে।**

(৩) **পর্যবেক্ষকের চোখ হতে লেন্সের দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন তত বেশি হবে।**

এ কারণে চোখ যথাসম্ভব লেন্সের নিকটে রাখলে প্রতিবিম্ব সবচেয়ে স্পষ্ট ও বিবর্ধিত দেখাবে।

৬·১৩·৪ জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র
Compound microscope

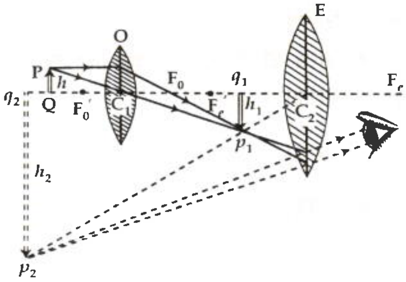
সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা তার লেন্সের ফোকাস দূরত্বের ওপর নির্ভর করে। ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন ক্ষমতা তত বেশি হবে। ফোকাস দূরত্ব যত ইচ্ছা কমানো সম্ভব নয়। অতএব অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে প্রয়োজনমতো বিবর্ধিত করা যায় না। সেজন্য জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 1610 খ্রিস্টাব্দে দেখা যায়। এটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা অধিক মাত্রার বিবর্ধন ক্ষমতার অধিকারী। কোনো বস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি আমাদের চোখে যে কোণ করে তাকে বীক্ষণ কোণ বলে। বীক্ষণ কোণ বড় হলে বস্তু বড় দেখায় আর ছোট হলে বস্তু ছোট দেখায়।



চিত্র ৬·৩২

মূলনীতি ও বর্ণনা : যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুটি উত্তল লেন্স আছে। একটি **অভিলক্ষ্য** (Objective), O এবং অপরটি **অভিনেত্র** (Eye-piece), E [চিত্র ৬·৩২]। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ ছোট। একে সর্বদা বস্তুর দিকে রাখা হয়। আলোক রশ্মি অভিলক্ষ দ্বারা প্রতিসৃত হওয়ার পর বাস্তব উল্টা বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড়। অভিনেত্রকে পর্যবেক্ষকের চোখের দিকে থাকে।লেন্স দুটিকে টানা নলের (Draw Tube) মধ্যে রেখে একটি মূল নলের (Main Tube) দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় যাতে তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটিকে একটি দণ্ড B-এর সাথে স্থাপন করা হয় এবং স্ক্রু R-এর সাহায্যে উঠানামা করা হয়। লক্ষ্যবস্তু রাখার জন্য একটি পাটাতন আছে। মনে করি এটি S। M একটি অবতল দর্পণ। এর সাহায্যে পাটাতনের ওপর আলোক ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। অভিনেত্রটিকে অপর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে উপরে উঠিয়ে বা নিচে নামিয়ে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট এবং বিবর্ধিত, সোজা এবং অবাস্তব প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠন করা হয়।

অভিলক্ষ্য একটি উত্তল লেন্স-এর সামনে কোনো লক্ষ্যবস্তুকে ফোকাস দূরত্বের বাইরে রেখে দিলে, লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিসরণের পর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। আবার অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ছোট হওয়ার জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অনেকগুণ বড় দেখায়। ৬·৩৩ চিত্রে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখানো হলো।



চিত্র ৬·৩৩

বিবর্ধন : বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুই পর্যায়ে বিবর্ধন সংঘটিত হয়। প্রথমে অভিলক্ষ্যের জন্য এবং পরে অভিনেত্রের জন্য।

মনে করি, মোট বিবর্ধন $= m$

$\therefore$ আমরা পাই, $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$

$$= \frac{p_2q_2}{PQ} = \frac{p_1q_1}{PQ} \times \frac{p_2q_2}{p_1q_1}$$

$$= m_1 \times m_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.39)$$

এখানে, $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ}$ = অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন

এবং $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1}$ = অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন।

ধরি, অভিলক্ষ্য হতে PQ এবং p_1q_1-এর দূরত্ব যথাক্রমে u এবং v

$\therefore$ $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ} = -\dfrac{v}{u}$ (প্রতিবিম্ব উল্টা, তাই ঋণ চিহ্ন) ... ... (6.40)

ধরি, অভিনেত্র হতে p_1q_1 ও p_2q_2 -এর দূরত্ব যথাক্রমে u_2 এবং v_2 অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e, স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠিত হলে, $v_2 = D$ হয়।

এখন, অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের ক্ষেত্রে লেন্সের সমীকরণ হতে পাই,

$$-\frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e}$$ [চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে v_2 ঋণাত্মক]

বা, $\dfrac{v_2}{u_2} = 1 + \dfrac{v_2}{f_e} = 1 + \dfrac{D}{f_e}$

কিন্তু $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1} = \dfrac{v_2}{u_2}$

অতএব, $m_2 = 1 + \dfrac{D}{f_e}$ ... ... (6.41)

এখন সমীকরণ (6.40) এবং (6.41) হতে m_1 ও m_2-এর মান সমীকরণ (6.39)-এ বসিয়ে পাই,

$$m = -\frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.42)$$

ইহাই জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

ঋণাত্মক বিবর্ধন দ্বারা প্রতিবিম্ব উল্টা বুঝায়।

জানার বিষয় : এই যন্ত্রে বস্তুর বিবর্ধন 2000 গুণ পর্যন্ত হয়ে থাকে।

সিদ্ধান্ত : ওপরের সমীকরণ হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

(ক) u যত ছোট হবে অর্থাৎ বস্তু অভিলক্ষ্যের যত নিকটে অবস্থান করবে, প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় দেখাবে। কিন্তু লক্ষ্যবস্তুকে সর্বদা অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্বের বাইরে রাখতে হবে। সুতরাং অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব যতদূর সম্ভব ছোট হতে হবে।

(খ) v যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। এতে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বড় হতে হবে।

(গ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e যত ছোট হবে, যন্ত্রে তত বড় প্রতিবিম্ব গঠিত হবে।

(ঘ) যে চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D যত বেশি হবে, সে চোখে প্রতিবিম্ব তত বড় দেখাবে।

এখন সদ বা বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য-লেন্সের সাধারণ সমীকরণ,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_0}$$

$\therefore$ $\dfrac{v}{u} = \left(\dfrac{v}{f_0} - 1\right)$, সুতরাং সমীকরণ (6.42)-এ এই মান বসিয়ে পাই,

$$m = -\left(\frac{v}{f_0} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.43)$$

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : L = যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $= C_1C_2 = C_1q_1 + C_2q_1 = v + C_2q_1$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

হিসাব করে দেখা যায়, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = v + \frac{D \times f_e}{D + f_e}$ হয়।

নিজে কর : অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয় ?

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৬

১। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ওই যন্ত্রের বিবর্ধন বের কর। [ঢা. বো. ২০০৮; য. বো. ২০০২]

আমরা জানি, সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে,

$$m = 1 + \frac{D}{f}$$

$$\therefore m = 1 + \frac{0·25}{0·15} = 2·667$$

এখানে,

$D = 0·25$ m

$f = 0·15$ m

$m = ?$

২। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·07 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·20 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে কোনো বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·25 m দূরে তার প্রতিবিম্ব দেখা যাবে ?

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$$

এখানে অভিনেত্রের ক্ষেত্রে $v = -0·25$ m এবং $f = 0·07$ m

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$-\frac{1}{0·25} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0·07}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0·07} + \frac{1}{0·25} = \frac{0·25 + 0·07}{0·07 \times 0·25}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{128}{7}$

$\therefore u = \frac{7}{128}$ m

অভিলক্ষ্য হতে এটা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব,

$$v = \left(0·20 - \frac{7}{128}\right) = \frac{93}{640} \text{m}$$

এখন অভিলক্ষ্যের জন্য, $v = \frac{93}{640}$ m এবং $f = 0·02$ m

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের জন্য পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{640}{93} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0·02}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0·02} - \frac{640}{93} = \frac{80·20}{1·86}$

$\therefore u = \frac{1·86}{80·20} = 0·023$ m

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য হতে বস্তু দূরত্ব = 0·023 m

৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 4 cm। এদের মধ্যে দূরত্ব 14·5 cm। যদি 2 mm উচ্চতার একটি বস্তু অভিলক্ষ্য হতে 1·1 cm দূরে স্থাপন করা হয় তবে মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং আকৃতি কেমন হবে?

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{-1 \cdot 1}=\frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{1 \cdot 1}=\frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{10}{11}=1$

বা, $\frac{1}{v}=1-\frac{10}{11}=\frac{1}{11}$

বা, $v=11$ cm

এখানে,
$f_0 = 1$ cm
$f_e = 4$ cm
$u = -1 \cdot 1$ cm
$v = ?$

সুতরাং, অভিলক্ষ্য দ্বারা এর বিপরীত পার্শ্বে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের দূরত্ব 11 cm এবং এটি বাস্তব প্রতিবিম্ব। এই প্রতিবিম্ব অভিনেত্রের বস্তু হিসেবে কাজ করে।

$\therefore \quad m_1=\frac{v}{u}=\frac{11}{1 \cdot 1}=10$

এখন, অভিনেত্রের সাপেক্ষে বস্তুর দূরত্ব $= -(14 \cdot 5 - 11) = -3 \cdot 5$ cm

যদি অভিনেত্র থেকে v দূরত্বে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয় তবে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{3 \cdot 5}=\frac{1}{4}$$

বা, $\frac{1}{v}=-\frac{2}{7}+\frac{1}{4}=\frac{1}{28}$

$\therefore \quad v=-28$ cm

প্রতিবিম্ব অবাস্তব এবং অভিনেত্র থেকে 28 cm দূরে গঠিত হবে।

$\therefore \quad m_2=\frac{28}{3 \cdot 5}=8$

সুতরাং, চূড়ান্ত বিম্বের বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2 = 10 \times 8 = 80$

$\therefore$ চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের আকার $= 80 \times 2 = 160$ mm $= 16$ cm

৬·১৪ টেলিস্কোপ (দূরবীক্ষণ যন্ত্র)
Telescope

ভূমণ্ডলে বা নভোমণ্ডলে অবস্থিত দূরবর্তী বস্তু খালি চোখে স্পষ্টভাবে দেখা যায় না। এসব বস্তু দূরবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা হয়। অতএব **দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।** দূরবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা—

(১) প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Refracting telescope) এবং
(২) প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Reflecting telescope)।

প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বড় উন্মেষ এবং ফোকাস দূরত্বের লেন্স থাকে। প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—

(ক) নভো বা জ্যোতিষ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical telescope),
(খ) ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial telescope) এবং
(গ) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean telescope)।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য অবতল দর্পণের তৈরি। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে আবার তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(ক) নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র,
(খ) গ্রেগরির দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং
(গ) হারসেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

এ অধ্যায়ে কয়েকটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন এবং কার্যপদ্ধতি আলোচনা করা হবে।

৬·১৪·১ নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Astronomical telescope

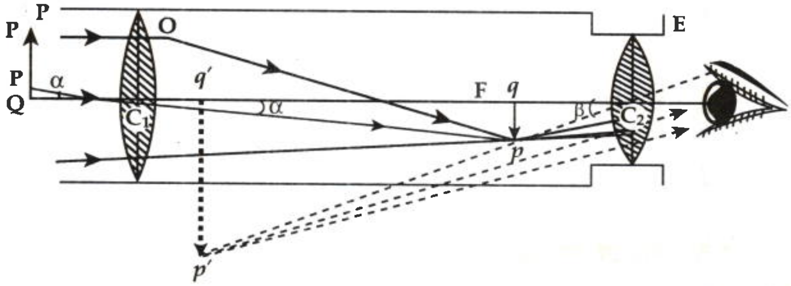
চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে [চিত্র ৬·৩৪]। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ **কেপলার** 1611 খ্রিস্টাব্দে এটি সর্বপ্রথম উদ্ভাবন করেন।

বর্ণনা : এই যন্ত্র প্রধানত দুটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত—একটি অভিলক্ষ্য (Objective), O এবং অপরটি অভিনেত্র (Eye-piece) E [চিত্র ৬·৩৪]। অভিলক্ষ্য ক্রাউন কাচের তৈরি। একে সর্বদা লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয়। এর ফোকাস দূরত্ব f_o এবং উন্মেষ বড়। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি। একে দর্শক চোখের দিকে রেখে বস্তু দেখে। এর ফোকাস দূরত্ব f_e এবং উন্মেষ ছোট। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের মধ্যে রেখে একটি লম্বা নলের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয়। ফলে প্রয়োজন মতো লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বেশি, অথচ দৃষ্টিক্ষেত্র অল্প বলে তার গায়ে ভিউ ফাইন্ডার (view finder) নামে একটি ছোট যন্ত্র লাগানো থাকে। এই যন্ত্রটির বিবর্ধন অল্প, কিন্তু এর দৃষ্টিক্ষেত্র অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত।

চিত্র ৬·৩৪

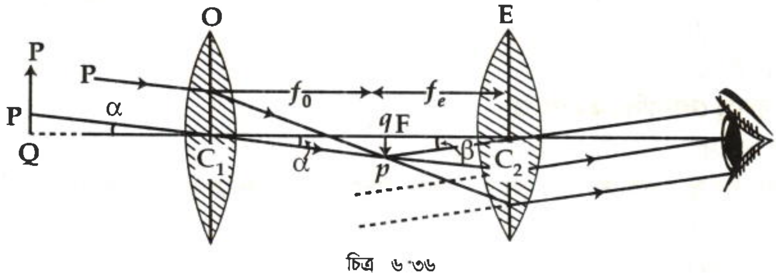
মূলনীতি (Principle) : বহুদূরবর্তী বস্তু থেকে আগত রশ্মিগুচ্ছ অভিলক্ষ্যের ওপর পরস্পরের সমান্তরালে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুতে বস্তুর একটি বাস্তব, উল্টা ও খুবই ছোট প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই অবস্থায় অভিনেত্রকে এমনভাবে উপযোজন করা হয় যেন pq অভিনেত্রের ফোকাস ও আলোক কেন্দ্র C_2 এর মধ্যে থাকে। ফলে pq অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তুর কাজ করবে। pq থেকে নির্গত আলোকরশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্রে প্রতিসরণের পর অভিনেত্র চোখের নিকট বিন্দুতে অর্থাৎ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে শেষ



চিত্র ৬·৩৫

অবাস্তব, বিবর্ধিত এবং সিধা তবে মূল বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করে [চিত্র ৬·৩৫]। এ ধরনের ফোকাসিংকে **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং (focusing for distinct vision)** বলা হয়। চিত্র অনুযায়ী F অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু। নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q ও F দুটি ভিন্ন বিন্দু।

অভিনেত্র খানিকটা সরিয়ে pq-কে তার ফোকাস তলে গঠন করলে pq হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো অভিনেত্রে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩৬]। ফলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখলে অসীম দূরত্বে এর একটি উল্টো



চিত্র ৬·৩৬

অতিবিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিগোচর হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের এই ফোকাসিংকে **অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং** বলা হয়।

এই দুই ধরনের ফোকাসিং-এর জন্য বিবর্ধন ক্ষমতা বা বিবর্ধনের রাশিমালা ভিন্নতর হবে। নিম্নে উভয় ধরনের ফোকাসিং-এর বিবর্ধন ক্ষমতার রাশিমালা প্রতিপাদন করা হলো।

(১) অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে pq ফোকাস তলে গঠিত হয়। এমতাবস্থায় q বিন্দু অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দু। pq হতে আলোক রশ্মিগুলো পরস্পর সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩৬]। ফলে অভিনেত্রের বাম দিকে অসীম দূরত্বে একটি অবাস্তব, অতি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অসীম ফোকাসিং-এ q এবং F একই বিন্দু। এমতাবস্থায়, C_2q = অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব $= f_e$ এবং C_1q = অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$। সুতরাং অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.44)$$

সমীকরণ (6.43) হতে দেখা যায় যে অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন m দুটি উপায়ে বৃদ্ধি করা যায়—

(ক) অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি করে এবং

(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমিয়ে।

(২) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : এক্ষেত্রে $C_2q = u_2$ = অভিনেত্রে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব। শেষ প্রতিবিম্বের অবস্থান q' ধরলে,

C_2q' = অভিনেত্র হতে শেষ প্রতিবিম্বের দূরত্ব $= -v_2$ [$\because$ প্রতিবিম্ব অবাস্তব, তাই ঋণচিহ্ন]

$\therefore$ $C_2q' = v_2 = -D$ = স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অতএব, লেন্সের সমীকরণ

$$\frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e} \text{ হতে পাই,}$$

$$-\frac{1}{D} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_e}$$

বা, $$\frac{1}{u} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} = \frac{D + f_e}{D \times f_e}$$

$$\therefore \quad u = \frac{D \times f_e}{D + f_e}$$

এখন, $C_1q \equiv$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$

অতএব, বিবর্ধন ক্ষমতা,

$$m = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{u} = f_0\left(\frac{D + f_e}{D \times f_e}\right) = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.45)$$

বা, $$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.46)$$

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো যন্ত্রের দৈর্ঘ্য। ধরি, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $= L$ এবং অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের দূরত্ব $= C_1C_2$

$\therefore$ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2$

(i) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এখন, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q বিন্দু অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু।

অতএব, $C_1q = f_e$ এবং $C_2q = f_0$

$$\therefore \quad L = C_1q + C_2q = f_e + f_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.47)$$

অর্থাৎ, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্বের যোগফলের সমান।

(ii) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এক্ষেত্রে $C_2q = f_0$ এবং $C_1q = u$

আবার, $u = \dfrac{D \times f_e}{D + f_e}$

অতএব, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1q + C_2q = f_0 + u$

$$= f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \quad \ldots \quad (6.48)$$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

কাজ : একটি অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভো-দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধেক ঢেকে দিলে কি লক্ষ্যবস্তুর অর্ধেক দেখা যাবে ?

অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভো-বীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধাংশ ঢেকে দিলে লক্ষ্যবস্তুর পূর্ণ প্রতিবিম্বই দেখা যাবে; তবে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা কিছু হ্রাস পাবে। এর কারণ হলো যে বস্তুর বিভিন্ন অংশ হতে আলোকরশ্মি এসে লেন্সের উভয় অর্ধেই পড়ে, তবে আচ্ছাদিত অর্ধাংশের ওপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হতে পারে না কিন্তু অনাচ্ছাদিত অর্ধাংশের ওপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হয় এবং বস্তুর পূর্ণাঙ্গ প্রতিবিম্ব গঠন করে। আপতিত মোট আলোক-রশ্মির এক অর্ধ প্রতিসৃত হতে পারে না বলে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা খানিকটা হ্রাস পায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৭

১। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য 200 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য 5 cm। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর, যখন বস্তুটিকে (i) অসীমে এবং (ii) 25 cm দূরে রাখা হয়। উভয় ক্ষেত্রেই লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর।
[চ. বো. ২০০১]

এখানে

$f_0 = 200$ cm $= 2{\cdot}00$ m
$f_e = 5$ cm $= 0{\cdot}05$ m
$D = 25$ cm $= 0{\cdot}25$ m

মনে করি, বিবর্ধন ক্ষমতা $= m$

আমরা পাই,

(i) $m = \dfrac{f_0}{f_e} = \dfrac{2{\cdot}00}{0{\cdot}05} = 40$

এবং $L = f_0 + f_e = 2{\cdot}00 + 0{\cdot}05 = 2{\cdot}05$ m

(ii) $m = f_0 \times \left(\dfrac{1}{D} + \dfrac{1}{f_e}\right) = 2 \times \left(\dfrac{1}{0{\cdot}25} + \dfrac{1}{0{\cdot}05}\right) = 48$

এবং $L = f_0 + \left(\dfrac{D \times f_e}{D + f_e}\right) = 2 + \left(\dfrac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}05}{0{\cdot}25 + 0{\cdot}05}\right) = 2{\cdot}04$ m

২। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য 4 বিবর্ধনবিশিষ্ট একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·36 m (বা 36 cm) হলে লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

[সি. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০৪]

মনে করি, ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 এবং f_e।

$\therefore$ আমরা পাই,

$$f_0 + f_e = 0{\cdot}36 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এবং $m = \dfrac{f_0}{f_e}$

বা, $4 = \dfrac{f_0}{f_e}$

$$\therefore \quad f_0 = 4f_e \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখন সমীকরণ (i) এবং (ii) হতে পাই,

$4f_e + f_e = 0{\cdot}36$

বা, $5f_e = 0{\cdot}36$

$\therefore \quad f_e = \frac{0{\cdot}36}{5} = 0{\cdot}072\text{ m}$

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$f_0 = 4 \times 0{\cdot}072 = 0{\cdot}288\text{ m}$

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব = 0·288 m এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব = 0·072 m

৩। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 45 cm ও 5 cm। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য এবং এর দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর।

এখানে

অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 45\text{ cm}$

অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5\text{ cm}$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, $D = 25\text{ cm}$

নলের দৈর্ঘ্য, $l = ?$

বিবর্ধন, $m = ?$

আমরা জানি,

নলের দৈর্ঘ্য, $l = f_0 + \left(\frac{D \times f_e}{D + f_e}\right)$

এবং বিবর্ধন, $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

$\therefore \; l = 45 + \left(\frac{25 \times 5}{25 + 5}\right)$

$= 45 + \frac{25}{6} = 49{\cdot}2\text{ cm}$

এবং $m = \frac{45}{5}\left(1 + \frac{5}{25}\right)$

$= 9 \times \left(1 + \frac{1}{5}\right)$

$= 9 \times \frac{6}{5} = 10{\cdot}8$

৪। একটি নভো–দূরবীক্ষণ যন্ত্রের নলের দৈর্ঘ্য 55 cm এবং কৌণিক বিবর্ধন 10। এর অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কত ?

এখানে,

$L = 55\text{ cm}$

$m = 10$

আমরা জানি, বিবর্ধন,

$m = \frac{f_0}{f_e}$

বা, $f_e = \frac{f_0}{m}$

এখন, নলের দৈর্ঘ্য,

$L = f_0 + f_e = f_0 + \frac{f_0}{m}$

$= f_0\left(1 + \frac{1}{m}\right) = f_0\left(\frac{m+1}{m}\right)$

বা, $f_0 = L\left(\frac{m}{m+1}\right)$

$= 55 \times \left(\frac{10}{10+1}\right)$

$= 55 \times \frac{10}{11} = 50\text{ cm}$

অতএব, অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 50 cm।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা :

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে চারটি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) এটি অধিক পরিমাণে বিবর্ধন সৃষ্টি করে,

(খ) এর দৃষ্টিক্ষেত্র প্রশস্ত,

(গ) প্রতিবিম্ব প্রায় ত্রুটিমুক্ত (aberration free) এবং

(ঘ) প্রয়োজনে ক্রসওয়ার এবং মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করা হয়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অসুবিধা :

এই যন্ত্রের দুটি অসুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) নলটি খুবই দীর্ঘ হওয়ায় যন্ত্রটি বেশ বড় হয়, এবং

(খ) এই যন্ত্র বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে বলে ভূপৃষ্ঠের দূরের বস্তু পর্যবেক্ষণে ব্যবহারযোগ্য হয় না।

কাজ : ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী ? বর্ণাপেরণ কী ? প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না কেন ?

ভূপৃষ্ঠের দূরবর্তী কোনো বস্তুকে দেখার জন্য যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাকে ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

লেন্সের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের সময় এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের এক এক জায়গায় গঠিত হয়ে একটি ত্রুটিপূর্ণ বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেন্সের এ ধরনের ত্রুটির নাম বর্ণাপেরণ।

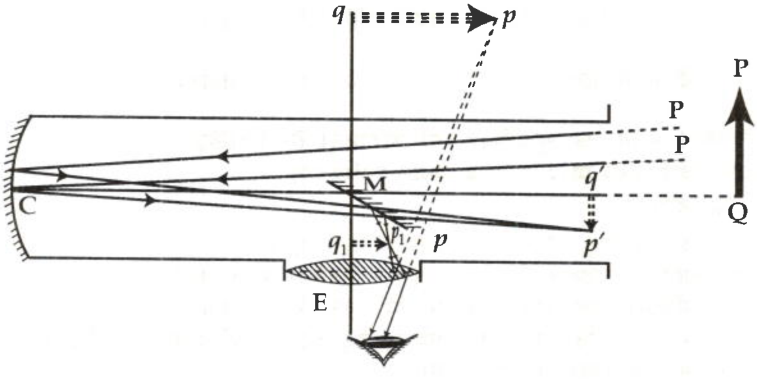
প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে লেন্স ব্যবহার করা হয়। লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের সময় সাদা আলোক রশ্মি সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পড়ে। ফলে এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে যা **বর্ণাপেরণ** নামে পরিচিত। অন্যদিকে প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে দর্পণ ব্যবহার করা হয়। ফলে এতে বর্ণাপেরণ সৃষ্টির সুযোগ থাকে না। এজন্য প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না।

৬·১৪·২ রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ বা প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Reflecting telescope

1663 খ্রিস্টাব্দে **গ্রেগরি** নামক একজন বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। 1668 খ্রিস্টাব্দে স্যার আইজ্যাক নিউটন সর্বাপেক্ষা প্রচলিত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রথম নির্মাণ করেন। পরবর্তীতে **হার্সেল** (Herschel)-ও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ যত বড় হবে তাতে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তত বড় ও উজ্জ্বল দেখাবে। কিন্তু বড় আকারের অভিলক্ষ্য লেন্সে সাদা আলোকের বর্ণ বিচ্যুতি ঘটে বলে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্বের বর্ণ ত্রুটি ও আকার বিকৃতি ঘটে। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিগুলো মোটামুটি বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের অবতল দর্পণের তৈরি অভিলক্ষ্য দ্বারা দূর করা হয়। এই কারণে পৃথিবীর বড় বড় মান-মন্দিরের নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলো প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র—প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র নয়।

এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা নলের এক প্রান্তে বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের একটি অবতল দর্পণ C থাকে এবং অপর প্রান্ত খোলা থাকে [চিত্র ৬·৩৭]। এই নলের এক পার্শ্বে এবং অবতল দর্পণ হতে তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে



চিত্র ৬·৩৭

একটি ফাঁপা পার্শ্বনল থাকে। এই নলে একটি উত্তল লেন্স E অভিনেত্র হিসেবে বসানো থাকে। এ ছাড়া অবতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের ছেদ বিন্দুতে একটি সমতল দর্পণ M অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত অবস্থায় নলের অভ্যন্তরে বসানো থাকে। দর্পণের প্রতিফলক পৃষ্ঠ অবতল দর্পণ ও লেন্সের দিকে মুখ করে থাকে।

মূলনীতি ও বর্ণনা : বহু দূরের বস্তু PQ-এর যেকোনো বিন্দু হতে আগত আলোক রশ্মি যন্ত্রের অবতল দর্পণ C-এ প্রায় পরস্পর সমান্তরালে আপতিত হয় এবং রশ্মিগুলো অবতল দর্পণ C-এ প্রতিফলিত হবার পর দর্পণের ফোকাস তলে বস্তুর আকারের চেয়ে অতি ছোট প্রতিবিম্ব $p'q'$ উৎপন্ন করার চেষ্টা করে। কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মিগুলো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করার পূর্বে সমতল দর্পণ M-এ প্রতিফলিত হয়ে পার্শ্ব নলে বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব p_1q_1 গঠন করে।

স্পষ্ট দর্শনে প্রতিবিম্ব গঠনের বা ফোকাসিং-এর জন্য অভিলক্ষ্য E-কে সামনে-পিছনে সরিয়ে এমন এক স্থানে রাখা হয় যাতে লেন্সের মধ্য দিয়ে তাকালে লক্ষ্যবস্তুর একটি সুস্পষ্ট বিবর্ধিত ও সিধা প্রতিবিম্ব pq চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর জন্য উত্তল লেন্সের অবস্থান এমনভাবে ঠিক করা হয় যেন প্রতিবিম্ব p_1q_1 উত্তল লেন্সটির ফোকাস তলে গঠিত হয়। এ অবস্থায় p_1q_1 হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো উত্তল লেন্সে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয়। ফলে একটি অবাস্তব, সিধা এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয়।

এখন, অবতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 ও f_e হলে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন, $$m = f_0\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.49)$$

এখানে, D হলো স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন, $$m = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.50)$$

কাজ : দূরবীক্ষণ যন্ত্রে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে অতিরিক্ত একটি লেন্স ব্যবহার করা হয় কেন ?
অথবা, নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে পৃথিবীর দূরবর্তী বস্তুকে দেখতে হলে অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি অতিরিক্ত উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয় কেন ?

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সৃষ্ট চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে বাস্তব ও উল্টা হয়। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করলে প্রতিবিম্বকে আরও একবার উল্টিয়ে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সোজা চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এজন্য অভিলম্ব এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয়।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা ও অসুবিধা

সুবিধা :

১। এই দূরবীক্ষণে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না। ফলে উজ্জ্বল ও ত্রুটিমুক্ত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।
২। বড় উন্মেষের লেন্স তৈরির চেয়ে বড় উন্মেষের দর্পণ তৈরি অনেক সহজ।
৩। একই আকৃতির প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরিতে খরচ অনেক কম হয়।

অসুবিধা :

১। দর্পণটি সহজে নড়ে যেতে পারে, ফলে নলের সমাক্ষ লাভ হতে পারে।
২। সুবিধাজনক জায়গায় বিম্ব দেখার জন্য একটি গৌণ দর্পণ ব্যবহার করতে হয়। এই দর্পণ এবং তার ধারক অপবর্তন ঘটাতে পারে।
৩। প্রতিফলক দূরবীক্ষণের নলের বাইরের মুখ খোলা থাকায় দর্পণ প্রায়শই পরিবর্তনের প্রয়োজন হয়।

৬·১৫ অণুবীক্ষণ যন্ত্র ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of microscope and telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।
২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্ব ছোট হয়।
৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয় দ্বারা প্রতিবিম্ব কম-বেশি বিবর্ধিত হয়।
৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা অধিক দূরত্বে গঠিত হয়।
৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। দূরের বস্তু দেখার কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড় হয়।

৩। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর আকারের চেয়ে ছোট আকারের প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং ওই প্রতিবিম্ব অভিনেত্র দ্বারা গঠিত হয়।

৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস তলে গঠিত হয়।

৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সিধা ও কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে উল্টা হয়।

৬·১৫·১ আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা
Resolving power of optical instruments

আমাদের চোখ একটি আলোকীয় যন্ত্র। যদি দুটি বস্তু বা তাদের প্রতিবিম্ব খুবই কাছাকাছি অবস্থিত হয় তবে আমাদের চোখের পক্ষে এদেরকে আলাদাভাবে দেখা সম্ভব হয় না। এদেরকে একই বস্তু বা একই প্রতিবিম্ব বলে মনে হয়।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক একটি সাদা দেয়ালের ওপর কতকগুলো সমান্তরাল কালো রেখা 1 mm ব্যবধানে আঁকা হয়েছে। খুব কাছে থেকে তাকালে এদেরকে আলাদাভাবে দেখা সম্ভব, কিন্তু দেয়াল থেকে দূরে সরে আসলে এক সময় রেখাগুলো পরস্পরের সাথে মিশে গেছে বলে মনে হয়। অর্থাৎ রেখাগুলোকে আর আলাদাভাবে চিহ্নিত করা সম্ভব হয় না।

এখন, পাশাপাশি যে কোনো দুটি বস্তুকে আলাদাভাবে দেখা নির্ভর করে বস্তু দুটি চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তার ওপর। ওপরের উদাহরণে রেখাগুলো থেকে দূরে যাওয়ার কারণে চোখে উৎপন্ন কোণের মান কমে যায়। তাই একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের পর আর আলাদাভাবে চেনা যায় না।

পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে যে, বস্তু দুটি হতে চোখে সৃষ্ট কোণ যদি 1 মিনিটের বা $\frac{1}{60}$ ডিগ্রির কম হয় তবে চোখ বস্তু দুটিকে আলাদাভাবে দেখতে পায় না। এই কোণকে চোখের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

আলোকীয় যন্ত্রেরও কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের অনুরূপ সীমা রয়েছে। সুতরাং বিশ্লেষণী ক্ষমতার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

বিশ্লেষণী সীমা : কোনো আলোকীয় যন্ত্রের মাধ্যমে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে পারস্পরিক যে ন্যূনতম দূরত্বের ব্যবধানে পৃথকভাবে দুটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়, তাকে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

বিশ্লেষণী ক্ষমতা : দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। অর্থাৎ **কোনো আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলতে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বোঝায়।**

৬·১৫·২ অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা
Resolving power of a microscope and a telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র যদি আলাদাভাবে দেখতে সক্ষম হয় তবে ওই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বিপরীত (inverse) রাশিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। একে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব Δd হলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{1}{\Delta d} = \frac{2\mu \sin\theta}{\lambda},$$ এখানে, λ = ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, μ = বস্তুদ্বয় ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং θ = অভিলক্ষ্যের ব্যাসার্ধ কর্তৃক যে কোনো একটি বস্তুতে উৎপন্ন কোণ।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : পরস্পরের কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে যখন নভোবীক্ষণ যন্ত্র আলাদাভাবে বিশ্লেষণ করতে পারে তখন ওই বস্তু দুটি যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে যে কোণ উৎপন্ন হয় তার বিপরীত (inverse) রাশিকে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। বস্তু দুটি কর্তৃক অভিলক্ষ্যে সৃষ্ট কোণ $\Delta\theta$ হলে,

$$R = \frac{1}{\Delta\theta} = \frac{a}{1.22\,\lambda},$$ এখানে, a = নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ব্যাস।

কাজ : একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ব্যাসকে তিনগুণ করা হলে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতার কী পরিবর্তন ঘটবে?

নভোবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা $R = \frac{a}{1.22\,\lambda}$। এখন যন্ত্রের বিশ্লেষণ ক্ষমতা অভিলক্ষ্যের ব্যাসের সমানুপাতিক হওয়ায় ব্যাস তিনগুণ বৃদ্ধি করা হলে নভোবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতাও তিনগুণ বৃদ্ধি পাবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৮

১। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm ও 6 cm। এদের মধ্যে ব্যবধান 20 cm। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হলে যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, অভিনেত্রের ক্ষেত্রে

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_e}$$

অভিনেত্র অসদ বা অবাস্তব বিম্ব গঠন করে, তাই

$v = -25$ cm

[∵ বিম্ব স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত]

$$\therefore \frac{1}{-25} + \frac{1}{u} = \frac{1}{6}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{6} + \frac{1}{25}$

বা, $u = \frac{6 \times 25}{31} = 4·83$ cm

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 2$ cm
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 6$ cm
লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $L = 20$ cm
স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, $D = 25$ cm

সুতরাং অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_1 = (L - u) = 20 - 4·83 = 15·17$ cm

$$\therefore \text{মোট বিবর্ধন}, m = \left(\frac{v_1}{f_0} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

$$= \left(\frac{15·17}{2} - 1\right)\left(1 + \frac{25}{6}\right)$$

$$= (6·58)(5·167) \simeq 34$$

২। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ব্যাস 205 cm। দূরবীক্ষণ যন্ত্রটির সাহায্যে একটি নক্ষত্রকে দেখা হয়। নক্ষত্র থেকে যে আলো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে আসছে তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5800 Å হলে যন্ত্রটির বিশ্লেষণী ক্ষমতার মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,
দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{a}{1·22\lambda} = \frac{205}{1·22 \times 5800 \times 10^{-8}}$$

$$= 2·897 \times 10^6$$

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ব্যাস, $a = 205$ cm
আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,
$\lambda = 5800$ Å $= 5800 \times 10^{-8}$ cm

৬-১৬ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ
Refraction and dispersion of light in a prism

প্রিজম
Prism

প্রিজমের সংজ্ঞা সম্পর্কে বিভিন্ন পদার্থবিদ বিভিন্ন ধারণা পোষণ করেন। এসব ধারণার প্রেক্ষিতে প্রিজমের নিম্নলিখিত যে কোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে—

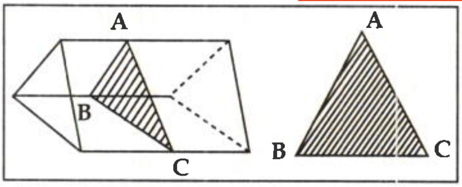
(১) তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(২) দুটি পরস্পর হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(৩) তিনটি আয়তক্ষেত্রাকার এবং দুটি ত্রিভুজাকার সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে। প্রিজমের মোট পাঁচটি তল থাকে।

(৪) একটি স্বচ্ছ বস্তুকে যদি ছয়টি আয়তক্ষেত্রিক তল দ্বারা এমনভাবে সীমাবদ্ধ করা হয় যে, যেকোনো দুই জোড়া বিপরীত তল সমান্তরাল, কিন্তু অপর দুটি তল সমান্তরাল না হয়ে পরস্পর আনত অবস্থায় থাকে, তা হলে তাকে প্রিজম বলে।

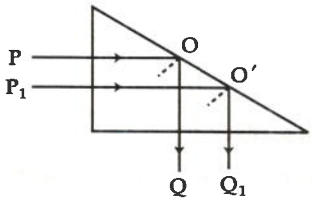
প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয়ে যায় তাদেরকে প্রিজমের **প্রতিসরণ তল** (Refracting surface) বলে। প্রতিসরণ তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে **প্রিজমের শীর্ষ** (edge) বলে এবং তাদের মধ্যবর্তী কোণকে **প্রিজম কোণ** (Angle of the prism) বা **প্রতিসরণ কোণ** (Refracting angle) বলে। প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে **প্রিজমের ভূমি** (Base) বলে। প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ তলদ্বয়ের সাথে লম্ব হয় এমন যেকোনো একটি কল্পিত সমতলকে **প্রিজমের ছেদ** (Section) বলে।



চিত্র ৬.৩৮

৬.৩৮নং চিত্রে AB এবং AC প্রিজমের প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ, BC প্রিজমের ভূমি এবং ABC প্রিজমের ছেদ।

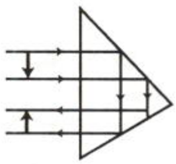
পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম (Total reflecting prism)



চিত্র ৬.৩৮(ক)

মসৃণ তলবিশিষ্ট স্বচ্ছ কাচের সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিফলন ঘটে [চিত্র ৬.৩৮(ক)]। তাই এ ধরনের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলে।

জানার বিষয় : পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহার করে অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করা যায় বলে এভাবে ব্যবহৃত প্রিজমকে সমশীর্ষকারী প্রিজম বলে [চিত্র ৬.৩৮(খ)]।

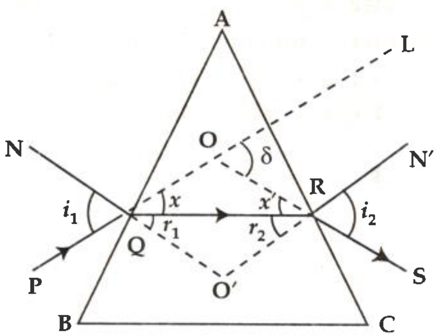


চিত্র ৬.৩৮(খ)

৬.১৬.১ প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোকের প্রতিসরণ Refraction of light through prism

মনে করি, ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। AB এবং AC প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ এবং BC প্রিজমের ভূমি [চিত্র ৬.৩৯]।

মনে করি PQ কোনো আপতিত রশ্মি বায়ু হতে প্রিজমের AB তলের Q বিন্দুতে তির্যকভাবে আপতিত হলো। এক্ষেত্রে আলোক রশ্মি লঘুতর মাধ্যম হতে ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি Q বিন্দুতে AB তলের ওপর অঙ্কিত অভিলম্ব NQO′-এর অভিমুখে সরে গিয়ে QR পথে প্রতিসৃত হবে। এর পর ওই রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হবে এবং আবার বায়ু মাধ্যমে RS পথে নির্গত হবে। তা হলে আবার রশ্মিটির প্রতিসরণ ঘটবে এবং কাচ হতে বায়ুতে যাবার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব N′R হতে দূরে সরে যাবে। এখানে PQRS আলোক রশ্মির পথ নির্দেশ করে। যদি আলোকের পথে প্রিজমটি না থাকত তা হলে আপতিত রশ্মি PQ সোজাপথে চলে যেত। প্রিজমের উপস্থিতির ফলে আলোক রশ্মির পথ পরিবর্তিত হয়েছে অর্থাৎ আলোক রশ্মির বিচ্যুতি ঘটেছে। এখন আপতিত রশ্মি PQ-কে সামনের দিকে L পর্যন্ত এবং নির্গত রশ্মি RS-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা O বিন্দুতে মিলিত হবে। এখানে ওই রশ্মির জন্য ∠SOL বিচ্যুতি কোণ নির্দেশ করে। এটিকে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।



চিত্র ৬.৩৯

$\therefore \quad \angle SOL = \delta$ বা D ... ... (6.51)

বিচ্যুতি কোণের সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে। এক কথায় বলা যায়, **আপতিত রশ্মি এবং নির্গত রশ্মির অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বলে।** একে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।

অঙ্কন : ধরি N′R-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করায় তা NQO′-এর সাথে O′ বিন্দুতে মিলিত হলো।

বিচ্যুতির হিসাব : মনে করি $\angle PQN = i_1$, $\angle O'QR = r_1$, $\angle SRN' = i_2$ এবং $\angle O'RQ = r_2$।

তা হলে মোট বিচ্যুতি, δ = Q বিন্দুতে বিচ্যুতি + R বিন্দুতে বিচ্যুতি

বা, $\delta = x + x' = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$

বা, $\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$ ... ... (6.52)

এখন, O′QR ত্রিভুজে, $\angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$ = দুই সমকোণ ... (6.53)

পুনরায় AQO′R চতুর্ভুজে, $\angle AQO' = \angle ARO'$ = এক সমকোণ

$\therefore$ $\angle A + \angle O'$ = দুই সমকোণ ... ... (6.54)

$\therefore$ সমীকরণ (6.52) এবং (6.53) হতে আমরা পাই,

$\angle A + \angle O' = \angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$

$\therefore$ $\boxed{\angle A = \angle r_1 + \angle r_2}$ ... ... (6.55)

এখন সমীকরণ (6.52)-এ $(r_1 + r_2)$-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

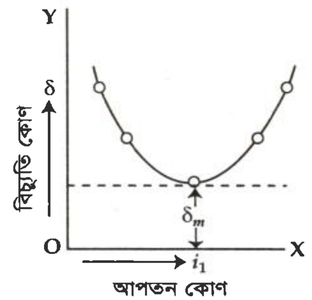
বিচ্যুতি, $\boxed{\delta = \angle i_1 + \angle i_2 - \angle A}$ ... ... (6.56)

এটিই হলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশক রাশিমালা।

অতএব, প্রথম আপতন কোণ, দ্বিতীয় প্রতিসরণ কোণ এবং প্রিজম কোণের মান জেনে প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রমশীল রশ্মির বিচ্যুতি নির্ণয় করা যায়।

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, δ_m (Angle of minimum deviation, δ_m)

আমরা জানি, কোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে প্রতিসরণজনিত কারণে তার বিচ্যুতি ঘটে এবং আপতিত ও নির্গত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণই বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশ করে। এই বিচ্যুতির মান আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে। নিম্নমান হতে শুরু করে আপতন কোণের মান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে বিচ্যুতির মান কমতে থাকে এবং আপতন কোণের এক নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হয় [চিত্র ৬.৪০]। এর পর আপতন কোণ বাড়ালে বিচ্যুতি বাড়তে থাকে। **বিচ্যুতির এ সর্বনিম্ন মানকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে** এবং একে δ_m বা D_m দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।



চিত্র ৬.৪০

সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।

প্রিজমের যে অবস্থানে ন্যূনতম বিচ্যুতি হয়, সেই অবস্থানকে প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থান (Position of minimum deviation) বলে।

আপতন কোণ i_1-কে X-অক্ষে এবং বিচ্যুতি কোণ δ-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে আপতন কোণের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সবচেয়ে কম, ওই বিচ্যুতি কোণই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ। চিত্র ৬.৪০-এ δ_m ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় যে, ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে $i_1 = i_2$ ও $r_1 = r_2$ । কাজেই ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি নিম্নের কয়েকটি শর্ত মেনে চলবে।

ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত (Conditions for minimum deviation)

ন্যূনতম বিচ্যুতির তিনটি শর্ত আছে, যথা—

(১) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle i_1 = \angle i_2 = \angle \frac{A + \delta_m}{2}}$ হবে ... ... (6.57)

(২) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে $\boxed{\angle r_1 = \angle r_2 = \angle \frac{A}{2}}$ হবে ... ... (6.58)

(৩) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসমভাবে (symmetrically) গমন করে অর্থাৎ প্রিজমের শীর্ষ হতে প্রথম ও দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন বিন্দুর দূরত্ব সমান হবে [চিত্র ৬.৩৪ AQ = AR]। এ অবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মি সমদ্বিবাহু বা সমবাহু প্রিজমের ভূমির সমান্তরাল হবে।

৬·১৭ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between the refractive index of the material of the prism and angle of minimum deviation

মনে করি, চারপাশের মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$

$\therefore$ আমরা পাই, $\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2}$ ... ... (6.59)

আমরা জানি, $\delta = i_1 + i_2 - A$ এবং $A = r_1 + r_2$

কিন্তু ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করলে, $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$

$\therefore \quad \delta_m = i_1 + i_2 - A = 2i_1 - A$

$\therefore \quad 2i_1 = A + \delta_m$

বা, $i_1 = \dfrac{A + \delta_m}{2}$ এবং $A = r_1 + r_2 = 2r_1$

$\therefore \quad r_1 = \dfrac{A}{2}$

এখন সমীকরণ (6.59)-এ i_1 এবং r_1-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$\boxed{\mu = \dfrac{\sin \dfrac{A + \delta_m}{2}}{\sin \dfrac{A}{2}}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.60)$$

উপরের সমীকরণ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

কোনো প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি 36° বলতে বুঝায় প্রিজমের আপতিত আলোক রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের সর্বনিম্ন মান 36° হয়। 36° কে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণও বলে।

এখানে উল্লেখ করা যায় যে,

(i) ন্যূনতম বিচ্যুতির মান প্রিজমের উপাদান, চারপার্শ্বস্থ মাধ্যম, প্রিজমের কোণ ও আপতিত আলোকের বর্ণের ওপর নির্ভর করে।

(ii) বেগুনি বর্ণের আলোকের চেয়ে লাল বর্ণের আলোকের জন্য ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কম।

কাজ : একই উপাদানের তৈরি একটি ছোট প্রিজম ও একটি বড় প্রিজম উভয়ের প্রতিসরাঙ্ক সমান হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম ও একই বর্ণের আলোর ওপর নির্ভরশীল। তাই প্রিজম দুটি যেহেতু একই উপাদানের তৈরি তাই প্রিজম ছোট বা বড় এর ওপর প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে না। এক্ষেত্রে তাই উভয় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক একই হবে।

সরু প্রিজম
Thin prism

যে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র (10° এর বেশি নয়) তাকে সরু প্রিজম বলে।

সরু প্রিজম কর্তৃক সৃষ্ট বিচ্যুতি (Deviation produced by thin prism)

ধরা যাক, ABC একটি সরু প্রিজম [চিত্র ৬·৪১]। PQ রশ্মি AB প্রতিসারক তলের ওপর প্রায় অভিলম্বভাবে আপতিত হয়েছে। প্রায় অভিলম্ব অপতনের জন্য,

$i_1 = 0 \quad \therefore \; i_1 \simeq 0$

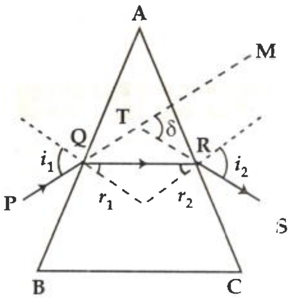
যদি μ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক হয় তবে,

$\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{i_1}{r_1}$ বা, $i_1 = \mu r_1$

এবং $\dfrac{\sin i_2}{\sin r_2} = \dfrac{i_2}{r_2}$ বা, $i_2 = \mu r_2$

সুতরাং রশ্মির বিচ্যুতি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A = \mu r_1 + \mu r_2 - A = \mu(r_1 + r_2) - A$$
$$= \mu A - A \qquad [\because r_1 + r_2 = A]$$
$$= (\mu - 1)A$$



চিত্র ৬·৪১

পুনরায় যদি PQ রশ্মি AB তলে অভিলম্বভাবে আপতিত হয়, তবে

$i_1 = i_2 = 0$ বা, $A = r_2$

সুতরাং রশ্মির বিচ্যুতি,

$\delta = i_1 + i_2 - A = \mu r_2 - A = \mu A - A = (\mu - 1)A$

সুতরাং, অভিলম্ব এবং প্রায় অভিলম্ব আপতনের জন্য সরু প্রিজম বিচ্যুতি,

$$\delta = (\mu - 1)A \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.61)$$

সমীকরণ (6.61) থেকে দেখা যায় যে **অভিলম্ব বা প্রায় অভিলম্ব আপতনের জন্য সরু প্রিজমে রশ্মির বিচ্যুতি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। সুতরাং, যদি আপতন কোণ ছোট হয় তবে সরু প্রিজমে রশ্মির বিচ্যুতি স্থির থাকে।**

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৯

১। একটি সরু প্রিজম একটি আলোক রশ্মিকে 4° কোণে বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজম কোণ কত?

আমরা জানি প্রিজমের বিচ্যুতি কোণ,

$\delta = (\mu - 1)A$

বা, $4° = (1{\cdot}5 - 1)A$

বা, $0{\cdot}5A = 4°$

$\therefore A = \frac{4°}{0{\cdot}5} = 8°$

এখানে,

$\delta = 4°$

$\mu = 1{\cdot}5$

২। 6° প্রতিসারক কোণ এবং 1·6 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট একটি সরু প্রিজমকে 1·5 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট অন্য একটি সরু প্রিজমের পাশে রাখা হলো যাতে একটি অপরটির সাথে উল্টোভাবে থাকে। খাড়াভাবে আপতিত একটি রশ্মি প্রথম প্রিজমে আপতিত হয়ে দ্বিতীয় প্রিজমের মধ্য দিয়ে কোনো বিচ্যুতি ছাড়াই নির্গত হয়। দ্বিতীয় প্রিজমের প্রতিসারক কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ,

$\delta = (\mu - 1)A$

শর্তানুসারে এখানে,

$(\mu_1 - 1)A_1 = (\mu_2 - 1)A_2$

বা, $(1{\cdot}6 - 1) \times 6° = (1{\cdot}5 - 1)A_2$

বা, $A_2 = \frac{0{\cdot}6 \times 6}{0{\cdot}5} = 7{\cdot}2°$

এখানে,

$A_1 = 6°$

$\mu_1 = 1{\cdot}6$

$\mu_2 = 1{\cdot}5$

$A_2 = ?$

নিজে কর : লাল আলো এবং বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্কের মানের কোনো তারতম্য হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভরশীল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান বেশি হলে প্রতিসরাঙ্কের মান কমে যায়। আবার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান কমে গেলে প্রতিসরাঙ্কের মান বেড়ে যায়। তাই লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হওয়ায় এই আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কম হবে। অন্যদিকে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম হওয়ায় বেগুনি আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বেশি হবে।

জানা দরকার : যদি প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়, তবে প্রিজম থেকে নির্গত আলোক রশ্মি ভূমির দিকে না বেঁকে শীর্ষ কোণের দিকে বেঁকে যাবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১০

১। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের কোনো কাচ প্রিজমের এক পৃষ্ঠের ওপর আলোক রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে নির্গত হয়। প্রিজম কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$r_1 + r_2 = A \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (i)$$

এবং $$\mu = \frac{1}{\sin \theta_c} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (ii)$$

এখানে,

$\mu = 1{\cdot}5$

$r_2 = \theta_c$

$i_1 = 0°$

সমীকরণ (ii) থেকে পাই, $1{\cdot}5 = \frac{1}{\sin \theta_c}$

$\therefore \sin \theta_c = \frac{1}{1{\cdot}5}$

$\therefore \theta_c = 41{\cdot}81° = r_2$

এখন, $i_1 = 0$

$\therefore r_1 = 0$

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$0 + 41{\cdot}81° = A$

$\therefore A = 41{\cdot}81°$

২। একটি প্রিজমকে ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করে আপতন কোণের মান 40° পাওয়া যায়। প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজম কোণ কত ? [য. বো. ২০০৪]

এখানে,

$i_1 = i_2 = 40°$

$\mu = 1{\cdot}5$

$A = ?$

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

বা, $$1{\cdot}5 = \frac{\sin \frac{A + i_1 + i_2 - A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

বা, $$1{\cdot}5 = \frac{\sin \frac{i_1 + i_2}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$ [ন্যূনতম বিচ্যুতি $\delta_m = i_1 + i_2 - A$ এবং $i_1 = i_2$]

বা, $$1{\cdot}5 = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{A}{2}}$$

বা, $$\sin \frac{A}{2} = \frac{\sin 40°}{1{\cdot}5} = \frac{0{\cdot}6428}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}4285$$

বা, $$\frac{A}{2} = \sin^{-1} 0{\cdot}4285 = 25{\cdot}37°$$

$$\therefore A = 2 \times 25{\cdot}37° = 50{\cdot}74° = 50°44'$$

৩। একটি প্রিজমে কোনো একটি রশ্মির নির্গমন কোণ প্রিজম কোণের সমান কিন্তু ওই তলের আপতন কোণের দ্বিগুণ। প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$ হলে দেখাও যে, প্রিজম কোণ 60°। [কু. বো. ২০০৪]

এখানে,

নির্গমন কোণ, $i_2 = A = r$

আপতন কোণ, $i_1 = \frac{r_2}{2} = \frac{A}{2} = i$

${}_a\mu_g = \sqrt{3}$

$\therefore {}_g\mu_a = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$A = ?$

আমরা জানি, আলোক রশ্মিটি কাচ থেকে বায়ুতে গেলে,

$${}_g\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\therefore \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sin \frac{A}{2}}{\sin A}$$

$$= \frac{\sin \frac{A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2} \cos \frac{A}{2}}$$

$$\therefore \cos \frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore \frac{A}{2} = 30°$$

$\therefore A = 60°$ (প্রমাণিত)

৪। প্রতিসারক কোণ 60° এবং 1.6 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি কাচের প্রিজমকে পানিতে ($_a\mu_w = 1.33$) নিমজ্জিত করলে, এর বিচ্যুতি কোণ কত পাওয়া যাবে ?

পানিতে নিমজ্জিত করলে ধরা যাক, ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ = δ_m

আমরা জানি,

$$_a\mu_g = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1.2 = \frac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$$

বা, $$1.2 \times \sin 30° = \sin\left(\frac{60°+\delta_m}{2}\right)$$

বা, $$\sin\left(\frac{60°+\delta_m}{2}\right) = 1.2 \times \frac{1}{2} = 0.6 = \sin 36.87°$$

বা, $$\frac{60°+\delta_m}{2} = 36.87°$$

বা, $$\delta_m = 36.87° \times 2 - 60° = 73.74° - 60° = 13.74°$$

এখানে,

$A = 60°$

$_a\mu_g = 1.6$

$_a\mu_w = 1.33$

$\therefore\ _a\mu_g = \frac{_a\mu_g}{_a\mu_w} = \frac{1.6}{1.33} = 1.2$

৫। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.48। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর। ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থায় আপতন কোণ কত ? [সি. বো. ২০১০; ব. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৪; KUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি, $$\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1.48 = \frac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$$

বা, $$1.48 = \frac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin 30°}$$

বা, $$1.48 = \frac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\frac{1}{2}}$$

বা, $$\sin\frac{60°+\delta_m}{2} = \frac{1.48}{2}$$

বা, $$\frac{60°+\delta_m}{2} = \sin^{-1}\frac{1.48}{2}$$

বা, $$\frac{60°+\delta_m}{2} = 47.73$$

বা, $$60° + \delta_m = 95.46°$$

$$\therefore \delta_m = 35.46°$$

এখানে,

$A = 60°$

$\mu = 1.48$

আবার, ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থায়—

$r_1 = r_2$

$\therefore \quad A = r_1 + r_2 = r_1 + r_1 = 2r_1$

বা, $r_1 = \frac{60°}{2} = 30°$

এখন, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $1.48 = \frac{\sin i_1}{\sin 30°}$

বা, $\sin i_1 = 1.48 \times \sin 30° = 1.48 \times 0.5 = 0.74 = \sin 47.8°$

$\therefore \quad i_1 = 47.8°$

৬। একটি ফ্লিন্ট কাচের তৈরি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 12°। লাল আলোর জন্য উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.64 হলে বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\delta = (\mu - 1)A$

$= (1.64 - 1) \times 12°$

$= 0.64 \times 12° = 7.68°$

এখানে,
$A = 12°$
$\mu = 1.64$
$\delta = ?$

৭। একটি কাচ প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং প্রতিসরাঙ্ক 1.6। যদি প্রথম প্রতিসরাক তলে আপতন কোণ 45° হয় তবে রশ্মির বিচ্যুতি নির্ণয় কর।

প্রথম তলে প্রতিসরণের জন্য,

$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $\text{sir } r_1 = \frac{\sin i_1}{\mu} = \frac{\sin 45°}{1.6}$

$= \frac{1}{\sqrt{2} \times 1.6} = 8.449 = \sin 26.23°$

$\therefore \quad r_1 = 26.23°$

এখানে,
$A = 60°$
$\mu = 1.6$
$i_1 = 45°$

আমরা জানি,

$A = r_1 + r_2$ বা, $r_2 = A - r_1 = 60° - 26.23° = 33.77°$

দ্বিতীয় তলের প্রতিসরণের জন্য,

$\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$ বা, $1.6 = \frac{\sin i_2}{\sin 33.77°}$

বা, $\sin i_2 = 1.6 \times \sin 33.77° = 1.6 \times 0.5559 = 0.8894 = \sin 62.8°$

$\therefore \quad i_2 = 62.8°$

অতএব, বিচ্যুতি কোণ, $\delta = i_1 + i_2 - A$

$= 45° + 62.8° - 60 = 47.8°$

৮। একটি ফাঁপা সমবাহু প্রিজম একটি বিশেষ তরল দ্বারা পূর্ণ। যদি আলোক রশ্মির প্রিজম 60° প্রতিসরণ কোণের জন্য নূন্যতম বিচ্যুতি কোণ 30° হয় তবে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{60° + 30°}{2}}{\sin \frac{60°}{2}}$$

$$= \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{2}{1} = \sqrt{2} = 1.414$$

এখানে,
$A = 60°$
$\delta_m = 1.6$
$\mu = ?$

কাজ : লেন্স এবং প্রিজমের আলোর প্রতিসরণ তুলনা কর।

লেন্সের মধ্য দিয়ে একগুচ্ছ আলোকরশ্মি গমনকালে কোথাও মিলিত হবে না (অবতল লেন্সে) অথবা কোনো কিছু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে)। অপর পক্ষে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের একটি সজ্জা পাওয়া যায় যাকে বর্ণালি বলে। বিচ্ছুরিত আলোক রশ্মিসমূহ প্রত্যেকেই একবর্ণী।

৬·১৮ আলোর বিচ্ছুরণ
Dispersion of light

হীরা, মূল্যবান রত্ন, স্ফটিক ইত্যাদির মধ্য দিয়ে আলো প্রবেশ করলে তা বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে, এই অভিজ্ঞতা মানুষের প্রাচীনকাল থেকেই ছিল। বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণ সৃষ্টির ক্ষমতার ওপর নির্ভর করেই রত্নরাজির মূল্য কম-বেশি হতো। কিন্তু সাধারণ আলো প্রবেশে কেন উজ্জ্বল বর্ণের আলো সৃষ্টি হয় তার ব্যাখ্যা কারো জানা ছিল না। 1666 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **স্যার আইজ্যাক নিউটন** পরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন যে, **সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক।**

সূর্যের সাদা রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসৃত রশ্মি সাতটি ভিন্ন বর্ণে বিচ্ছুরিত হবার কারণ কী ? কেনই বা রশ্মিগুলো প্রিজমের দিকে বেঁকে যায় ? কাচের মতো বিচ্ছুরক মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ বিভিন্ন। লাল আলোর গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং বেগুনি বর্ণের সর্বাপেক্ষা কম। বিভিন্ন গতিবেগের ফলে প্রিজমের বেধ অতিক্রম করতে লাল, নীল প্রভৃতি আলোকরশ্মি বিভিন্ন সময় নেয় এবং পরস্পর হতে পৃথক হয়ে পড়ে। শূন্য মাধ্যমে অথবা বায়ুতে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম অথবা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাবার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। সাদা রঙের আলোর এই সাতটি রঙে **বিশ্লিষ্ট হওয়ার প্রক্রিয়াকে বিচ্ছুরণ বলে।** প্রিজম হতে নির্গত রশ্মিকে পর্দার ওপর ফেললে সাতটি রঙের এক মনোরম পট্টি (Band) দেখা যায়। এই রঙিন পট্টির নাম বর্ণালি (Spectrum)। সুতরাং, বিচ্ছুরণ বর্ণালির নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, **কোনো যৌগিক আলোক রশ্মির বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হওয়াকে বিচ্ছুরণ বলে।**

বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।

বিচ্ছুরক মাধ্যম : যে মাধ্যম এ ধরনের বিচ্ছুরণ ঘটায় তাকে বিচ্ছুরক মাধ্যম (Dispersive medium) বলে।

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় এদের প্রত্যেকটির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে, তাই প্রত্যেকটিকে একবর্ণী আলোক বলে।

অর্থাৎ **যে আলোক রশ্মির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো (monochromatic light) বলে।**

আলো যখন কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয় তখন পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা উক্ত বিকিরণ শোষিত হয়। ফলে ওই সকল ইলেকট্রন অতিরিক্ত শক্তির কারণে নতুনভাবে ছন্দিত গতিসম্পন্ন হয় এবং অণু-অণু সংঘর্ষ কিংবা পুনরায় বিকিরণের মাধ্যমে এই শক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং ছন্দিত গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন শোষিত বিকিরণ পুনরায় স্পেসে বিকিরণ করতে পারে। **এই প্রক্রিয়াকে বিকিরণের বিক্ষেপণ বলে।**

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় ওই বর্ণগুলো যথাক্রমে **বেগুনি** (Violet), **নীল** (Indigo), **আসমানি** (Blue), **সবুজ** (Green), **হলুদ** (Yellow), **কমলা** (Orange) এবং **লাল** (Red)। এই বর্ণগুলোর এক প্রান্তে থাকে **লাল** এবং অপর প্রান্তে থাকে **বেগুনি**। লাল এবং বেগুনি বর্ণের মধ্যে থাকে বাকি পাঁচটি বর্ণ। বর্ণালির বর্ণ সজ্জাকে সহজে মনে রাখার জন্য বর্ণগুলোর নামের বাংলা প্রথম অক্ষর নিয়ে **বেনীআসহকলা** পদ গঠন করা হয়েছে। ইংরেজিতে অনুরূপ পদ 'VIBGYOR'।

এই সাতটি বর্ণকে বিশুদ্ধ বর্ণ বলা হয়। বর্ণালির সাতটি বর্ণের তিনটি বিশেষ বর্ণকে উপযুক্ত পরিমাণে মিশিয়ে অন্য সব বর্ণই সৃষ্টি করা সম্ভব। এই বর্ণ তিনটি হলো **লাল, সবুজ ও নীল**। এদেরকে **প্রাথমিক বর্ণ** বলে। যেমন লাল ও সবুজ বর্ণের মিশ্রণে হলুদ বর্ণ পাওয়া যায়। আবার সবুজ, নীল ও লাল বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণ সৃষ্টি হয়। সাদা বর্ণ সৃষ্টির জন্য তিনটি বর্ণের মিশ্রণ জরুরি নয়; দুটি বর্ণ মিশিয়েও সাদা বর্ণ তৈরি করা যায়। যে দুটি বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণ তৈরি করা হয়, তাদেরকে পরিপূরক (complementary) বর্ণ বলে। যেমন হলুদ ও নীল বা সবুজ ও ম্যাজেন্টা মিশিয়ে সাদা বর্ণ সৃষ্টি হয়। সুতরাং হলুদ ও নীল বা সবুজ ও ম্যাজেন্টা পরিপূরক বর্ণ।

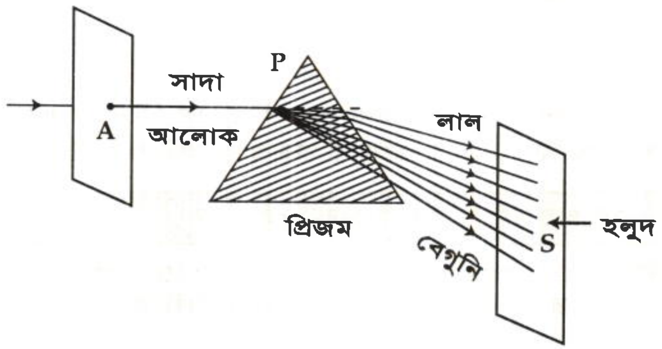
অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা কাপড় ধোয়ার পর নীল দেওয়া হয় কেন ?

সাদা কাপড় ধোয়ার পর কিছুটা হলদেটে দেখায়। নীল ও হলুদ যেহেতু পরিপূরক বর্ণ, তাই নীল দিলে হলদেটে ভাব কেটে যায় এবং জামাকাপড় সাদা হয়।

জানার বিষয় : I. কাচের মধ্যে লাল আলোর বেগ বেগুনি বর্ণের আলোর বেগের চেয়ে 1·8 গুণ বেশি।
II. মাধ্যমে আলোর বেগ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক $(c \propto \lambda)$।
III. মাধ্যমে প্রতিসরাঙ্ক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক $(\mu \propto \frac{1}{\lambda})$।

আলোর বিচ্ছুরণ প্রদর্শন
Demonstration of dispersion of light

(১) মনে করি, অস্বচ্ছ পর্দায় A একটি সরু ছিদ্র, P একটি কাচ প্রিজম এবং প্রিজমের অপর পার্শ্বে কিছু দূরে অবস্থিত S একটি পর্দা [চিত্র ৬·৪২]। সরু ছিদ্র দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমে আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মিটি সাতটি



চিত্র ৬·৪২

মূল বর্ণে বিভক্ত হবে এবং পর্দার ওপরে একটি রঙিন পট্টি পাওয়া যাবে। এই পট্টির এক প্রান্তে থাকে লাল বর্ণ এবং অপর প্রান্তে থাকে বেগুনি বর্ণ। বিভিন্ন বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন বলে এই বর্ণালির সৃষ্টি হয়। দেখা যাবে **লাল বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি।** আবার পর্দায় বেগুনি বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা বেশি এবং লাল বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা কম স্থান দখল করে থাকে। হলুদ বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি লাল ও বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতির মাঝামাঝি। এজন্য এর বিচ্যুতিকে **গড় বিচ্যুতি** (Mean deviation) এবং হলুদ বর্ণের রশ্মিকে **মধ্য রশ্মি** (Mean ray) বলা হয়।

(২) মুখে পানি নিয়ে সূর্যকে পিছনে রেখে মুখ দিয়ে আস্তে আস্তে পানি ছিটিয়ে দিলে পানি বিন্দুর মধ্য দিয়ে সূর্য রশ্মির প্রতিসরণের ফলে সাতটি বর্ণবিশিষ্ট একটি ধনুকাকৃতি (arched) বর্ণালি দেখা যাবে।

(৩) সূর্যের আলোক রশ্মি মেঘের গোলাকৃতি পানি বিন্দুর ওপর আপতিত হবার পর প্রতিসরণের ফলে আকাশের গায়ে **রংধনু** বা **রামধনু** (Rainbow) সৃষ্টি করে। আকাশের যে দিকে সূর্য তার বিপরীতে সাধারণত এই বর্ণালি দেখা যায়।

লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কারণ বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয় কেন ?

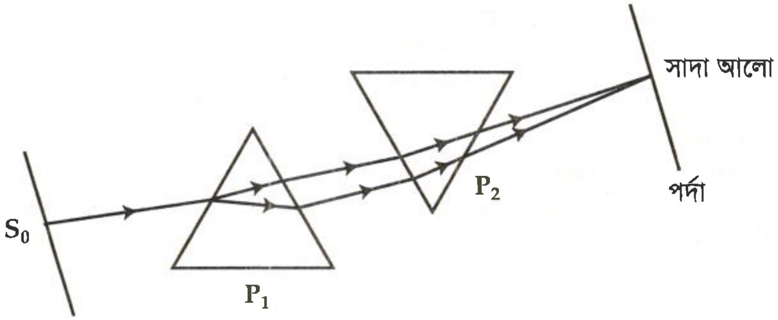
সাদা আলোতে সাতটি বর্ণের আলোক রশ্মি থাকে। প্রতিটি আলোক রশ্মির জন্য প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক ভিন্ন মানের। তাই এরা প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমনকালে ভিন্ন ভিন্ন মানে বিচ্যুত হয়। তখন আলোক রশ্মিগুলো ভিন্ন ভিন্ন কোণে আমাদের চোখে প্রবেশ করলে সাতটি বর্ণ আমরা আলাদাভাবে বুঝতে পারি। এ কারণে সাদা আলো প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয়।

জানা দরকার : শূন্যস্থানে আলোর বিচ্ছুরণ হয় কী ?

শূন্যস্থানে আলোর বিচ্ছুরণ হয় না কারণ সব বর্ণের আলো শূন্য স্থানে একই বেগে চলে।

পরীক্ষণ : বর্ণালির বিভিন্ন বর্ণকে সঠিক অনুপাতে মিশালে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়।

পরীক্ষণটি করার জন্য প্রথম প্রিজম P_1-এর মতো ঠিক একই রকম অপর একটি প্রিজম P_2 নিতে হবে। একে উল্টাভাবে P_1 প্রিজমের পিছনে এমনভাবে রাখা হলো যাতে উভয় প্রিজমের প্রতিসারক ধারগুলো এবং S রেখাছিদ্র সমান্তরাল



চিত্র ৬'৪৩

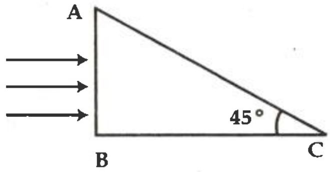
হয় [চিত্র ৬'৪৩]। দেখা যায় যে, সাদা আলো প্রথম প্রিজম দ্বারা বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হওয়ার পর দ্বিতীয় প্রিজম কর্তৃক পুনর্যোজিত হয়। দ্বিতীয় প্রিজম হতে নির্গত হবার পর রশ্মিগুলো পর্দার ওপর একটি সাদা পট্টি গঠন করে।

কাজ : উড্ডীয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ? ব্যাখ্যা কর।

আমরা জানি, উড্ডীয়মান উড়োজাহাজ মেঘের ওপর দিয়ে চলাচল করে। ফলে ছায়া ভূমিতে পড়ার পূর্বেই তা মেঘের ওপর পড়ে যা মেঘ ভেদ করে আর মাটিতে আসে না। এজন্যই উড্ডীয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১১

১। একটি আলোক রশ্মিগুচ্ছে লাল, সবুজ ও নীল তিনটি বর্ণ বিদ্যমান। রশ্মিগুচ্ছটি একটি সমকোণী প্রিজমে আপতিত হলো। লাল, সবুজ ও নীল বর্ণের ক্ষেত্রে প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান যথাক্রমে 1·39, 1·44 এবং 1·47। প্রিজমটি কোনো বর্ণকে পৃথক করবে কী ?



চিত্র থেকে দেখা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলো অতিভুজের ওপর 45° কোণে আপতিত হবে। সংশ্লিষ্ট সংকট কোণ যদি 45° হয় তবে প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{1}{\sin\theta_c} = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2} = 1{\cdot}414$$

এখন লাল আলোর ক্ষেত্রে, $\mu_r = 1{\cdot}39 < 1{\cdot}414$

অর্থাৎ লাল আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য আপতন কোণের মান 45° অপেক্ষা বেশি হওয়া উচিৎ। অতএব লাল আলো প্রতিসৃত হয়ে অতিভুজ তল দিয়ে বায়ুতে নির্গত হবে। পক্ষান্তরে সবুজ ও নীল আলোর ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক > 1·414। সুতরাং এই দুই বর্ণের আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য আপতন কোণের মান 45° অপেক্ষা ছোট। অতএব, ওই দুই বর্ণের আলোর পূর্ণ প্রতিফলন ঘটবে।

অনুধাবনমূলক কাজ : সূর্য ও চন্দ্রের আকারের মধ্যে অনেক পার্থক্য থাকলেও আমাদের চোখে উভয়কেই প্রায় সমান মনে হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

চোখের রেটিনায় গঠিত প্রতিবিম্বের আকার নির্ভর করে বীক্ষণ কোণের ওপর। বীক্ষণ কোণ বাড়লে বস্তুর আকার বাড়ে, আবার বীক্ষণ কোণ কমলে আকার ছোট হয়। এখন সূর্য ও চন্দ্র আমাদের চোখে প্রায় একই বীক্ষণ কোণ উৎপন্ন করে বিধায় এদেরকে প্রায় সমান বলে মনে হয়।

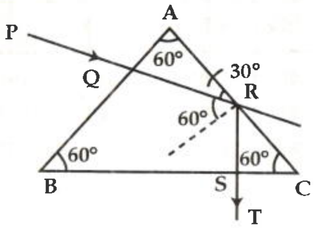
অনুসন্ধানমূলক কাজ : বর্ণালি বীক্ষণে কোন রাশিটি অধিকতর মৌলিক—কম্পাঙ্ক না তরঙ্গদৈর্ঘ্য ?

বর্ণালি বীক্ষণে কম্পাঙ্ক তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অধিকতর মৌলিক। কারণ একবর্ণী অলো বা বিকিরণের কম্পাঙ্ক বিভিন্ন মাধ্যমে অপরিবর্তিত থাকে।

কাজ : বীক্ষণ যন্ত্র দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র—ব্যাখ্যা কর।

যেসব যন্ত্র কোনো বস্তুকে দেখার জন্য আমাদের চোখকে সহায়তা করে তাদেরকে বীক্ষণ যন্ত্র বলে। যেমন বাইনোকুলার, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র ইত্যাদি। সুতরাং, এটি স্পষ্ট যে বীক্ষণ যন্ত্র দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র।

অনুধাবনমূলক কাজ : একটি সমবাহু প্রিজমের কোনো তলে যদি আলোক লম্বভাবে আপতিত হয় তবে কী রশ্মি নির্গত হবে ?



ত্রিভুজটি সমবাহু হওয়ায় ত্রিভুজের দ্বিতীয় তলে কাচের আলোক রশ্মি 60° কোণে আপতিত হবে। সুতরাং আলোকের পূর্ণ প্রতিফলন হবে; কেননা কাচের সংকট কোণ 60° এর কম। তাই কোনো রশ্মি নির্গত হবে না।

৬·১৯ বর্ণালি উৎপত্তির কারণ
Cause of formation of spectrum

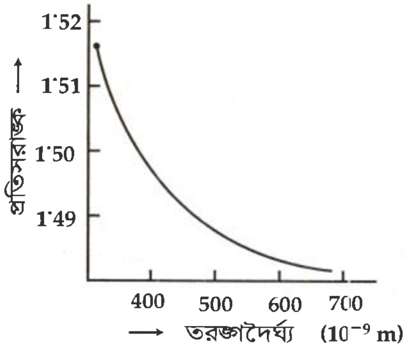
প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক পদার্থের প্রকৃতি ছাড়াও আলোকের বর্ণের ওপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আলোক বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। লাল বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি, প্রায় 8000 Å, তাই এর বিচ্যুতি কম হয়। বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, প্রায় 4000 Å বলে প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এর বিচ্যুতি বেশি হয়।

আরও বলা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (Refrangibility) বিভিন্ন। উপরোক্ত ব্যাখ্যাগুলো হতে **আলোকের বিচ্ছুরণ বা বর্ণালি উৎপত্তির কারণ সম্পর্কে আমরা নিম্নলিখিত দুটি সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি—**

(১) বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পার্থক্যভেদে বিভিন্ন হয় বলে বর্ণালি উৎপন্ন হয়।

(২) সাদা আলোকের মধ্যে যে সাতটি মূল বর্ণের আলোক আছে তাদের জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতা হেতু বর্ণালি উৎপন্ন হয়।

চিত্র ৬·৪৪-এ প্রতিসরাঙ্ক বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে, যে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি সে আলোর প্রতিসরাঙ্ক কম, ফলে কম বেঁকে যায়। এ কারণে লাল আলোর প্রতিসরণ কম হয়; পক্ষান্তরে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, তাই প্রতিসরাঙ্ক বেশি। ফলে বেগুনি আলোর প্রতিসরণ বেশি, ফলে বেশি বেঁকে যায়।



চিত্র ৬·৪৪

জানার বিষয় : I. আলোর বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক।
II. বিজ্ঞানী **ওল্যাস্টন** সর্বপ্রথম সৌর বর্ণালির রেখাগুলি লক্ষ করেন।

কাজ : বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার করা হয় কেন ?

দৃশ্যমান আলোর সাতটি বর্ণের মধ্যে লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি। আবার, তরঙ্গের বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক বলে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে যাবার পথে অন্যান্য বর্ণের আলোর তুলনায় লাল বর্ণের আলোর বিক্ষেপণ কম হবে। এ কারণে লাল আলো বায়ুমণ্ডলে অধিক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। ফলে কোনো বিপজ্জনক স্থানে আসার অনেক আগে থেকেই গাড়ির, জাহাজের বা বিমানের চালক লাল আলো দেখতে পেয়ে বিপদ সম্পর্কে সতর্ক হতে পারে। তাই বিপদ সংকেতে সর্বদা লাল আলো ব্যবহার করা হয়।

নিজে কর : সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় দিগন্ত রেখায় আকাশের রং লাল দেখায় কেন ?

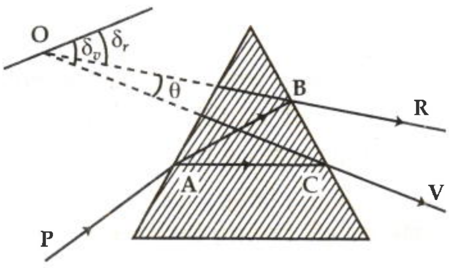
সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্য দিগন্ত রেখার কাছাকাছি অবস্থান করে এবং এই সময় সূর্যালোককে সর্বাপেক্ষা অধিক দূরত্ব অতিক্রম করে পৃথিবীতে আসতে হয়। এতটা দীর্ঘ পথ অতিক্রমের অবকাশে বায়ুমণ্ডলের অণু ও ধূলিকণা কর্তৃক সূর্যালোক পুনঃপুন বিক্ষেপিত হয়। লাল বর্ণ এবং লাল বর্ণের কাছাকাছি বর্ণ ব্যতীত অন্যান্য বর্ণসমূহ অধিক বিক্ষেপিত হয়ে দৃষ্টি পথ হতে অন্যদিকে চলে যায়। কিন্তু লাল ও তার কাছাকাছি দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণসমূহের বিক্ষেপণ কম হওয়ায় এরা পৃথিবীতে চলে আসে। তাই সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় আকাশ লাল দেখায়।

কাজ : ক্রিকেট খেলায় সাধারণত সাদা বল ব্যবহার করা হয় কেন ?

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম বা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাওয়ার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। ফলে এটি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। তাই এটি সহজে দৃশ্যমান হয়। এজন্য ক্রিকেট খেলায় সাধারণত সাদা বল ব্যবহার করা হয়।

৬·২০ বিচ্ছুরণের পরিমাপ
Magnitude of dispersion

আমরা জানি, সাদা আলোক রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসরণের ফলে নির্গত রশ্মি সাতটি বর্ণে বিভক্ত হয় এবং এরা প্রিজমের ভূমির দিকে বেঁকে যায়। এই বর্ণসমূহের এক প্রান্তে লাল এবং অপর প্রান্তে বেগুনি বর্ণ থাকে। **প্রান্তস্থ লাল এবং বেগুনি রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য বিচ্ছুরণের মান নির্দেশ করে। যেকোনো দুটি বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্যকে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে। সুতরাং, বেগুনি ও লাল বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্য ওই দুই বর্ণের সাপেক্ষে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে।**



চিত্র ৬·৪৫

মনে করি, δ_r এবং δ_v যথাক্রমে লাল এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি [চিত্র ৬·৪৫]।

∴ কৌণিক বিচ্ছুরণ, $\theta = \delta_v - \delta_r$

বা, $$\theta = \delta_v - \delta_r \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.62)$$

এখন পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$। এখনে $A =$ প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ।

$$\therefore \quad \theta = A(\mu_v - 1) - A(\mu_r - 1)$$
$$= A(\mu_v - \mu_r) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.63)$$

তবে মধ্য রশ্মির বিচ্যুতিকেই মূল রশ্মির বিচ্যুতি ধরা হয়। বিচ্যুতি এবং বিচ্ছুরণ প্রিজম পদার্থের উপাদান, আপতন কোণ এবং প্রিজম কোণের ওপর নির্ভর করে। প্রিজমটি ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপিত হলে প্রতিটি রশ্মির বিচ্যুতি ন্যূনতম হবে।

৬·২০·১ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা
Dispersive power

কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালিতে দুই অন্তিম রশ্মির (বা যেকোনো দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির) কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে। একে W দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore \quad \text{বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, } W = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.64)$$

এখানে $\delta_v =$ বেগুনি বর্ণের বিচ্যুতি, $\delta_r =$ লাল বর্ণের বিচ্যুতি এবং $\delta =$ মধ্য বা গড় রশ্মির বিচ্যুতি।

অতএব, $W = \dfrac{A(\mu_v - \mu_r)}{A(\mu - 1)} = \dfrac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১২

১। লাল ও নীল বর্ণের ক্ষেত্রে ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1.52$ এবং $\mu_v = 1.53$। ওই দুই বর্ণের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = \frac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$$

এখন, $\mu = \frac{\mu_b + \mu_r}{2} = \frac{1.53 + 1.52}{2} = 1.525$

$$\therefore \quad W = \frac{1.53 - 1.52}{1.525 - 1} = \frac{0.01}{0.525} = 0.019$$

এখানে,
$\mu_r = 1.52$
$\mu_v = 1.53$
$W = ?$

হিসাব : 12° প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট একটি পাতলা প্রিজমে সাদা আলো আপতিত হলো। লাল এবং বেগুনি বর্ণের ক্ষেত্রে কৌণিক বিচ্ছুরণ কত ? লাল বর্ণের জন্য প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_r = 1.64$ এবং বেগুনি বর্ণের জন্য প্রতিসরাঙ্ক $\mu_v = 1.67$।

আমরা জানি, কৌণিক বিচ্ছুরণ,

$$\theta = \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r) A$$

$$\therefore \quad \theta = 12° (1.67 - 1.64) = 12° \times 0.03 = 12 \times 60 \times 0.03$$

$$= 21.6 \text{ minute}$$

৬·২১ র‍্যালের বিক্ষেপণ সূত্র
Scattering law of Rayliegh

RMDAC

বিখ্যাত বিজ্ঞানী র‍্যালে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পর্কিত একটা সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে, বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। ফলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর চেয়ে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকে বেশি বিক্ষেপণ করে।

কাজ : পরিষ্কার আকাশ নীল দেখায় কেন ? [কু. বো. ২০১৯]

বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন গ্যাসের অণু কর্তৃক সূর্যালোকের বিক্ষেপণের (scattering) জন্য আকাশ নীল দেখায়। বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণাও সূর্যালোককে বিক্ষিপ্ত করতে পারে; সেক্ষেত্রে ধূলিকণার আকার দৃশ্যমান আলোর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হওয়া প্রয়োজন। বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। ফলে সূর্যালোকের নীল রশ্মিগুলো লাল রশ্মিগুলো অপেক্ষা বেশি বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে আকাশের দিকে তাকালে আকাশ নীল দেখায়।

সম্প্রসারিত কাজ : চাঁদের আকাশ কালো দেখায় কেন ?

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল না থাকলে বিক্ষেপণ হতো না। ফলে আকাশ হতে কোনো আলো আমাদের চোখে পৌঁছাত না। এমন কি তখন দিনের বেলাতেও আকাশকে কালো দেখাত। নভোচারিগণ মহাকাশযানে বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করার পর বস্তুত এই অভিজ্ঞতার সম্মুখীন হয়েছেন। চাঁদে কোনো বায়ুমণ্ডল নেই বলে একই কারণে চাঁদের আকাশকে কালো দেখায়।

হিসাব কর : একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 8° এবং নীল ও লাল বর্ণের আলোর বেলায় প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.532 ও 1.514। প্রিজম যে কৌণিক বিচ্ছুরণ উৎপন্ন করে তা নির্ণয় কর। প্রিজমের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?

নীল ও লাল বর্ণের ভেতর কৌণিক বিচ্ছুরণ $(\mu_b - \mu_r) A = (1.532 - 1.514)\, 8° = 0.144°$

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \frac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$

এখন, $\mu = \frac{\mu_b + \mu_r}{2} = \frac{1.532 + 1.514}{2}$

$= 1.523$

RMDAC

$$\therefore \quad W = \frac{1.532 - 1.514}{1.532 - 1} = \frac{0.018}{0.523} = 0.034$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১৩

১। বেগুনি ও লাল আলোর জন্য এক প্রকার কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·65 ও 1·57। এই দুই বর্ণের আলোর মধ্যে আলোচ্য কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$$

এখানে, $\mu = \frac{\mu_v + \mu_r}{2} = \frac{1{\cdot}65 + 1{\cdot}57}{2} = 1{\cdot}61$

$$\therefore \quad W = \frac{1{\cdot}65 - 1{\cdot}57}{1{\cdot}61 - 1} = 0{\cdot}13$$

২। একটি ক্রাউন কাচের তৈরি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 10°, হলুদ ও নীল আলোর জন্য এর প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·51 ও 1·54 হলে কৌণিক বিচ্ছুরণ কত হবে ?

আমরা জানি,

$$\delta_b - \delta_y = (\mu_b - \mu_y) A$$
$$= (1{\cdot}54 - 1{\cdot}51)\, 10^\circ$$
$$= 0{\cdot}30^\circ$$

৩। লাল আলোর জন্য ক্রাউন গ্লাস ও ফ্লিন্ট গ্যাসের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·515 এবং 1·644। আবার বেগুনি আলোর জন্য ক্রাউন ও ফ্লিন্ট গ্লাসের প্রতিরাঙ্ক যথাক্রমে 1·532 এবং 1·6685। চশমার কাচ তৈরির জন্য কোন গ্লাসটি উপযোগী এবং কেন ?

ক্রাউন গ্লাসের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা,

$$W_C = \frac{1{\cdot}532 - 1{\cdot}515}{\left(\frac{1{\cdot}532 + 1{\cdot}515}{2}\right) - 1} = \frac{0{\cdot}017}{0{\cdot}5233} = 0{\cdot}0325$$

এখানে লাল আলোর জন্য,
$\mu_1 = 1{\cdot}532$
$\mu_2 = 1{\cdot}515$

ফ্লিন্ট গ্লাসের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা,

$$W_F = \frac{1{\cdot}685 - 1{\cdot}644}{\left(\frac{1{\cdot}685 + 1{\cdot}644}{2}\right) - 1} = \frac{0{\cdot}041}{0{\cdot}6645} = 0{\cdot}0617$$

এখানে বেগুনি আলোর জন্য,
$\mu_1 = 1{\cdot}685$
$\mu_2 = 1{\cdot}644$

চশমার জন্য, লেন্সের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বর্ণাপেরণ কমের জন্য সর্বনিম্ন হওয়া উচিৎ। অতএব, ক্রাউন গ্লাস চশমার লেন্স তৈরির জন্য অধিক উপযোগী।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : শূন্য মাধ্যমে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে কী?

না; শূন্য মাধ্যমে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে না, কেননা আলোর সব বর্ণের জন্য শূন্য মাধ্যম বেগের মান একই থাকে।

কাজ : মেঘ সাধারণত সাদা দেখায় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

র‍্যালের সূত্র অনুসারে বিক্ষেপণের মাত্রা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। বিক্ষেপণ সৃষ্টিকারী কণার আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বড় হলে ওই সূত্র প্রযোজ্য হয় না। মেঘে উপস্থিত জলকণা, ধূলিকণা ইত্যাদি হতে সকল বর্ণের আলোরই প্রায় সমান বিক্ষেপণ হয়, তাই মেঘকে সাধারণত সাদা দেখায়।

বর্ণালি পাঠের প্রয়োজনীয়তা
Necessity for studying spectrum

বর্ণালি পাঠের নানারূপ প্রয়োজনীয়তা আছে। নিম্নে তা উল্লেখ করা হলো—

বর্ণালি বিশ্লেষণ দ্বারা :

(১) বিভিন্ন বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।
(২) বিভিন্ন বর্ণের ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।
(৩) বিভিন্ন ধাতুর বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করা যায়।
(৪) কোনো মিশ্রণে উপস্থিত অজ্ঞাত ধাতুর নাম ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।
(৫) বর্ণালি বিশ্লেষণ দ্বারা বিভিন্ন মৌলক পদার্থ শনাক্ত করা যায়।
(৬) সূর্য নক্ষত্রের আবহমণ্ডলের গঠন সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

সার-সংক্ষেপ

আলোক পথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ওই নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি যে পথ অতিক্রম করে তা। আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য; অর্থাৎ, $l = \mu_0 \times l$

সংকট কোণ : আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার সময় যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ $90°$ হয় এবং প্রতিসৃত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদ তল ঘেঁষে যায়, তাকে সংকট কোণ বলে।

আলোকবাহী তন্তু : একটি তন্তু যা আলোক রশ্মি এক স্থান হতে অন্য স্থানে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে পাঠাতে পারে তাকে আলোকবাহী তন্তু বলে।

আলোর প্রতিসরণ : আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে যাওয়ার সময় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতলে তির্যকভাবে আপতিত আলোক রশ্মির দিক পরিবর্তন করার ঘটনাকে আলোর প্রতিসরণ বলে।

বিম্ব : যদি কোনো বিন্দু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হয় বা দ্বিতীয় কোনো বিন্দু হতে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়, তবে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বা প্রতিবিম্ব বলে।

বাস্তব বিম্ব : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হলে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব বলে।

অবাস্তব বিম্ব : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব বলে।

প্রতিসরাঙ্ক : আলোক যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট এক জোড়া মাধ্যম এবং নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। এই ধ্রুব সংখ্যাকে ওই বর্ণের জন্য প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে।

অর্থাৎ, $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu =$ ধ্রুব সংখ্যা = প্রতিসরাঙ্ক

আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক : আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

পরম প্রতিসরাঙ্ক : আলোক রশ্মি যখন শূন্য মাধ্যম হতে অন্য কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলে।

লেন্স : দুটি গোলীয় বা একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অর্থাৎ একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

উত্তল লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ মোটা ও প্রান্ত সরু তাকে উত্তল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অভিসারী করে বলে ওকে অভিসারী লেন্সও বলে।

অবতল লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারিত করে বলে একে অপসারী লেন্স বলে।

মেরু বিন্দু : গোলকীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্যবিন্দুকে দর্পণের মেরু বিন্দু বলে।

বক্রতার কেন্দ্র : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ তার কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র বলে।

প্রধান অক্ষ : গোলকীয় দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র এবং মেরুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে।

প্রধান ছেদ : কোনো গোলকীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী কোনো তল যে বৃত্তাকার রেখায় দর্পণকে ছেদ করে তাকে ওই দর্পণের প্রধান ছেদ বলে।

প্রধান তল : গোলকীয় দর্পণের মেরু বিন্দুর মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের সাথে লম্বভাবে অঙ্কিত তলকে দর্পণের প্রধান তল বলে।

উন্মেষ : গোলকীয় দর্পণে প্রধান ছেদ বক্রতার কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে দর্পণের উন্মেষ বলে।

বক্রতার ব্যাসার্ধ : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে।

প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে কোনো একটি গোলকীয় দর্পণে আপতিত হওয়ার পর প্রতিফলিত রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়েছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের প্রধান বা মুখ্য ফোকাস বলে।

ফোকাস দূরত্ব : গোলকীয় দর্পণের মেরু বিন্দু এবং প্রধান ফোকাসের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার ফোকাস দূরত্ব বলে।

ফোকাস তল : গোলকীয় দর্পণের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের লম্বভাবে কল্পিত বা অঙ্কিত তলকে তার ফোকাস তল বলে।

গৌণ ফোকাস : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনতভাবে চলে দর্পণের ওপর আপতিত হওয়ার পর প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের ফোকাস তলের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা ফোকাস তলের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়েছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে একটি গৌণ ফোকাস বলে।

গৌণ অক্ষ : মেরু ব্যতীত দর্পণের কোনো একটি বিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রে সংযোজক রেখাকে গৌণ অক্ষ বলে।

রৈখিক বিবর্ধন : রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে বুঝায়। একে m দ্বারা প্রকাশ করা হয়। লেন্স উত্তল বা অবতল, বিম্ব সোজা বা উল্টা, বাস্তব বা অবাস্তব সকল ক্ষেত্রেই $m = -\frac{v}{u}$ হবে।

বিম্বের বিবরণ :

অবস্থান : বিম্বের অবস্থান বলতে লেন্স হতে এর দূরত্ব বুঝায়।

প্রকৃতি : বিম্বের প্রকৃতি বলতে বিম্বটি বাস্তব না অবাস্তব এবং সোজা না উল্টা তা বুঝায়।

আকৃতি : বিম্বের আকৃতি বলতে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় বড় না ছোট, না লক্ষ্যবস্তুর সমান তা বুঝায়।

বিশ্লেষণী সীমা : কোনো আলোকীয় যন্ত্রের মাধ্যমে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে পারস্পরিক যে ন্যূনতম দূরত্বের ব্যবধানে পৃথকভাবে দুটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়, তাকে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

বিশ্লেষণী ক্ষমতা : দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্বের গঠনের সামর্থ্যকে বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। অর্থাৎ কোনো আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলতে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বুঝায়।

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র যদি আলাদাভাবে দেখতে সক্ষম হয় তবে ওই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বিপরীত রাশিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : পরস্পরের কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে যখন নভোবীক্ষণ যন্ত্র আলাদাভাবে বিশ্লেষণ করতে পারে তখন ওই বস্তু দুটি যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে তার বিপরীত রাশিকে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে।

প্রিজমের ছেদ : প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ তলদ্বয়ের সাথে লম্ব হয় এমন যেকোনো একটি কল্পিত সমতলকে প্রিজমের ছেদ বলে।

পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম : মসৃণ সমতলবিশিষ্ট স্বচ্ছ কাচের সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিসরণ ঘটে। তাই এ ধরনের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলে।

সরু প্রিজম : যে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র ($10°$-এর বেশি নয়) তাকে সরু প্রিজম বলে।

মূল বর্ণ	:	লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কম বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।
কৌণিক বিচ্ছুরণ	:	যেকোনো দুটি বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্যকে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে।
র‍্যালের বিচ্ছুরণ সূত্র	:	বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে র‍্যালে একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক।
ফার্মাট-এর নীতি	:	যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।
গোলকীয় দর্পণ	:	কোনো দর্পণের প্রতিফলন তল যদি কোনো গোলকের অংশবিশেষ হয় বা গোলকীয় হয় তবে তাকে গোলকীয় দর্পণ বলে।
লেন্সের ক্ষমতা	:	কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা বা অপসারিতা উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।
লেন্সের ক্ষমতার একক	:	লেন্সের একক ডায়াপটার। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়াপটারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।
বীক্ষণ যন্ত্র	:	দূরের বস্তুকে কাছে দেখার জন্য এবং কাছের ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য যে সব যন্ত্র ব্যবহার করা হয় সেগুলোকে বীক্ষণযন্ত্র বলে।
বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ	:	একটি বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ বলে।
কৌণিক বিবর্ধন	:	বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাতকে কৌণিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে।
অণুবীক্ষণ যন্ত্র	:	যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে।
দূরবীক্ষণ যন্ত্র	:	দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহার হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।
নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র	:	চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।
প্রিজম	:	তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।
প্রিজমের প্রতিসরণ তল	:	প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয় তাদেরকে প্রিজমের প্রতিসরণ তল বলে।
প্রিজমের শীর্ষ	:	প্রিজমের তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে প্রিজমের শীর্ষ বলে।
প্রিজম কোণ	:	প্রতিসরণ তলদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণকে প্রিজম কোণ বা প্রতিসরণ কোণ বলে।
প্রিজমের ভূমি	:	প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে প্রিজমের ভূমি বলে।
বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি	:	প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।
ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ	:	প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।
বিচ্ছুরণ	:	সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।
বর্ণালি	:	বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।
বিচ্ছুরণ ক্ষমতা	:	কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালিতে দুই অন্তিম রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।
একবর্ণী আলো	:	যে আলোক রশ্মির একটি মাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$s_0 = \mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \mu_s s_n = \sum \mu s =$ ধ্রুবক ... ... (1)

$\delta \sum \mu s = 0$ ... ... (2)

$\frac{ds}{dx} = 0$ ... ... (3)

$\sin \phi_1 = \sin \phi_2$ ... ... (4)

$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b$ ... ... (5)

$\sin \theta_C = \frac{1}{{}_w\mu_a} = \frac{\mu_b}{\mu_a}$ ... ... (6)

$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (7)

$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (8)

$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (9)

$P = \pm (\mu - 1)\frac{2}{r}$; অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{r}$ ... ... (10)

${}_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b}$ ... ... (11)

$m = -\frac{v}{u} = \frac{f}{f - u}$ ... ... (12)

$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ ... ... (13)

$P = \frac{1}{f}$ (ডায়পটার) ... ... (14)

$m = 1 + \frac{D}{f}$ ... ... (15)

$m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$ ... ... (16)

$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots\ldots$ ... ... (17)

$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots$ ... ... (18)

$m = \frac{f_0}{f_e}$ ... ... (19)

$m = \frac{\beta}{\alpha}$ ... ... (20)

$L = f_0 + f_e = f_0\left(\frac{m+1}{n}\right)$ ... ... (21)

$m = f_0 + \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right)$ ... ... (22)

$L = f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e}$ ... ... (23)

$\delta = i_1 + i_2 - A$ ... ... (24)

$A = r_1 + r_2$ ... ... (25)

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (26)$$

$$\delta = A(\mu - 1) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (27)$$

$$\theta = \delta_v - \delta_r \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (28)$$

$$\theta = A(\mu_v - \mu_r) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (29)$$

$$W = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (30)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। লেন্স প্রস্তুতকারক কারখানায় সমবক্রতার ব্যাসার্ধের 25 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উভোত্তল লেন্স তৈরি করা হলো, যার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·6। পরে এটিকে 1·6, 1·33 ও 1·4 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে আতশী কাচ হিসেবে ব্যবহার করা হলো।

(ক) লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) কোন মাধ্যমে লেন্সটি সর্বাধিক ক্ষমতায় ব্যবহৃত হয়েছিল তার গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৯]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{1}{25} = (1·6 - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{-r}\right)$$

$$= 0·6 \times \frac{2}{r}$$

বা, $r = 0·6 \times 2 \times 25 = 30$ cm

এখানে,

$\mu = 1·6$

$f = 25$ cm

$r_1 = r_2 = r = ?$

(খ) আবার $P = \frac{1}{f(m)}$

$\mu = 1·6$ এর ক্ষেত্রে, $f = 25$ cm

ক্ষমতা, $P_1 = \frac{1}{0·25} = +4D$

$\mu = 1·33$ হলে

$$\frac{1}{f_2} = (1·33 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right)$$

$$= 0·33 \times \frac{1}{15}$$

বা, $f_2 = \frac{15}{0·33} = 45·45$ cm

$\therefore \quad P_2 = \frac{1}{0·4545} = +2·2D$

আবার, $\mu = 1·4$ হলে,

$$\frac{1}{f_3} = (1·4 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right) = 0·4 \times \frac{1}{15}$$

$\therefore \quad f_3 = \frac{15}{0·4} = 37·5$ cm এবং

$P_3 = \frac{1}{0·375} = +2·67D$

P_1, P_2, P_3 তুলনা করে দেখা যায় যে, 1·6 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে ক্ষমতা সর্বাধিক।

২। উদ্ভিদবিজ্ঞান ল্যাবে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 14 cm। ছাত্রগণ একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য শিক্ষক বস্তুটিকে উক্ত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হতে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বের সমান দূরত্বে রাখল এবং অপর পাশ হতে বিবর্ধিত বিম্ব দেখার চেষ্টা করল।

(ক) ল্যাবে ব্যবহৃত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) যন্ত্রে বিবর্ধন 2·5 হওয়া কি সম্ভব— গাণিতিকভাবে বক্তব্যটির যথার্থতা বিশ্লেষণ কর।

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে

বিবর্ধন $m = 1 + \frac{D}{f} = 1 + \frac{25}{14}$

$= 1 + 1·7857 = 2·7857$

এখানে,
$D = 25$ cm
$f = 14$ cm

(খ) লেন্সের সমীকরণ থেকে পাই

$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $-\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ [প্রতিবিম্ব অবাস্তব তাই v এর মান ঋণাত্মক]

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} + \frac{1}{f}$

বা, $\frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$

বিবর্ধন $m = \frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$

এখানে v = স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব = D

$\therefore\ m = 1 + \frac{D}{f}$

এখানে ধরে নেওয়া হয়েছে যে, চোখ লেন্সের খুব কাছাকাছি। এখন লেন্স ও চোখের মধ্যবর্তী দূরত্ব d হলে $v = D - d$

$\therefore\ m = 1 + \frac{D - d}{f}$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় d কমলে m বাড়ে। $d = 0$ হলে m সর্বাধিক হয়। কাজেই বিবর্ধনের জন্য চোখ যতটা সম্ভব লেন্সের নিকটে রাখতে হবে।

উপরের প্রাপ্ত মান $m = 2·7857$ কিন্তু বাস্তবে বিবর্ধন এর কমও হতে পারে।

$m = 2·5$ হলে d এর মান শূন্য হবে না।

তখন $m = 1 + \frac{D - d}{f}$

বা, $2·5 = 1 + \frac{25 - d}{14}$

বা, $d = 4$ হয়

চোখ হতে 4 cm দূরে লেন্স রাখলে বিবর্ধন 2·5 হবে।

৩। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের একটি উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·2 m এবং 0·3 m। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$।

(ক) বায়ু মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$= (1·5 - 1)\left(\frac{1}{0·2} - \frac{1}{-0·3}\right)$

$= 4·167\ m^{-1}$

$\therefore\ f_a = \frac{1}{4·167}\ m = 0·24\ m$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1·5$
$r_1 = 0·2$ m
$r_2 = -0·3$ m
বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f_w হলে,

$$\frac{1}{f_w} = ({}_w\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{3/2}{4/3} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8}\right)\left(\frac{1}{0.2} - \frac{1}{-0.3}\right)$$

$$\frac{1}{f_w} = \frac{1}{8} \times \frac{25}{3} = \frac{25}{24}$$

$$\therefore \quad f_w = \frac{24}{25} = 0.96 \text{ m}$$

এখানে,

${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$

${}_a\mu_w = \frac{4}{3}$

যেহেতু $f_w \neq f_a$ কাজেই পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে।

৪। চিত্রে ABC একটি কাচ প্রিজমের প্রধান ছেদ। এখানে AB = BC = CA। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। AB প্রতিসারক পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন কোণ 27°।

(ক) প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের আলোকে রশ্মিটি AC পৃষ্ঠ দিয়ে নির্গত হবে কি-না ? যথাযথ গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর। [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1.5 = \frac{\sin\frac{60° + \delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$$

বা, $$\sin\frac{60° + \delta_m}{2} = 1.5 \times \sin 30° = 0.75$$

বা, $$\sin\frac{60° + \delta_m}{2} = 0.75$$

বা, $$\frac{60° + \delta_m}{2} = \sin^{-1}(0.75) = 48.6°$$

বা, $$60° + \delta_m = 97.2°$$

$$\therefore \quad \delta_m = 97.2° - 60° = 37.2°$$

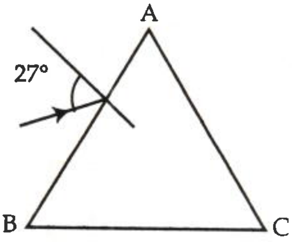
এখানে,

AB = BC = CA অর্থাৎ প্রিজমটি সমবাহু

প্রিজম কোণ, A = 60°

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1.5$

১ম আপতন কোণ, $i_1 = 27°$



(খ) ধরি প্রিজমটির ১ম প্রতিসরণ কোণ = r_1

২য় প্রতিসরণ কোণ = r_2

আমরা জানি,

১ম পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $$\sin r_1 = \frac{\sin i_1}{\mu} = \frac{\sin 27°}{1.5} = 0.3026$$

$$\therefore \quad r_1 = \sin^{-1}(0.3026) = 17.62°$$

এখানে,

$\mu = 1.5$

আপাতন কোণ, $i_1 = 27°$

প্রিজম কোণ, A = 60°

আবার, $r_1 + r_2 = A$

$\therefore \quad r_2 = A - r_1 = 60° - 17.62° = 42.38°$

২য় পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে, $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

বা, $\sin i_2 = \mu \sin r_2 = 1.5 \times \sin (42.38°) = 1.011$

কিন্তু sin এর যে কোনো মান 1 এর চেয়ে বেশি হতে পারে না।

$\therefore \quad \sin i_2 \neq 1.011$

অর্থাৎ আলোক রশ্মি AC পৃষ্ঠ দিয়ে নির্গত না হয়ে অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটবে।

৫। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 3 cm এবং 4 cm। লেন্সদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 14.5 cm। 0.50 mm দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু অভিলক্ষ্য হতে 3.1 cm দূরে স্থাপন করা হলো।

(ক) অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের বিবর্ধনের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৭]

(ক) ধরি, অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, v_0

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 3$ cm
অভিলক্ষ্য হতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u_0 = 3.1$ cm

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v_0} + \frac{1}{u_0} = \frac{1}{f_0}$$

বা, $\frac{1}{v_0} + \frac{1}{3.1} = \frac{1}{3}$

বা, $\frac{1}{v_0} = \frac{1}{3} - \frac{1}{3.1} = \frac{3.1 - 3}{3 \times 3.1} = \frac{0.1}{9.3}$

$\therefore \quad v_0 = \frac{9.3}{0.1} = 93$ cm

সুতরাং অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব 93 cm

(খ) উদ্দীপক অনুসারে, লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $L = 14.5$ cm

ক থেকে প্রাপ্ত অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_0 = 93$ cm

এই প্রতিবিম্ব অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তু হিসেবে কাজ করবে।

এখানে,
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 4$ cm
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 3$ cm
অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $M_0 = ?$
অভিনেত্রের বিবর্ধন, $M_e = ?$
চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_e = ?$

অভিনেত্র হতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u_e হলে,

$u_e + v_0 = L$

বা, $u_e + 93 = 14.5$

বা, $u_e = 14.5 - 93 = -78.5$ cm

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v_e} + \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$$

বা, $\frac{1}{v_e} = \frac{1}{f_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{4} - \frac{1}{-78.5} = \frac{1}{4} + \frac{1}{78.5}$

$v_e = \frac{4 \times 78.5}{(78.5 + 4)} = \frac{314}{82.5} = 3.8$ cm

$\therefore \quad v_e = 3.8$ cm

আবার, অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $M_0 = 1 - \frac{v_0}{f_0}$

$= 1 - \frac{93}{3} = -\frac{90}{3} = -30$

এবং অভিনেত্রের বিবর্ধন, $M_e = 1 - \frac{v_e}{f_e}$

$= 1 - \frac{3.8}{4} = \frac{4 - 3.8}{4} = \frac{0.2}{4} = 0.05$

অর্থাৎ $M_0 > M_e$; অতএব ওপরের গাণিতিক বিশ্লেষণ হতে বলা যায় যে, অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন অভিনেত্রের বিবর্ধনের চেয়ে বেশি হবে।

৬। জেমিমা বায়ুতে একটি কাচের উত্তল লেন্স নিয়ে কাজ করছিল, যার তলদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm এবং 30 cm। [$_a\mu_g = \frac{3}{2}$ এবং $_a\mu_w = \frac{4}{3}$]

(ক) লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে পানিতে নিমজ্জিত করলে এর ক্ষমতার কোনো পরিবর্তন হবে কি-না—বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = (_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{3}{2} - 1\right)\left(\frac{1}{0.15} + \frac{1}{0.30}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{(2+1)}{0.30} = \frac{3}{2} \times \frac{1}{0.30} = \frac{1}{0.20}$$

$\therefore \quad f_a = 0.20$ m

এখানে,
লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,
$r_1 = 15$ cm $= 0.15$ m
লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,
$r_2 = -30$ cm $= -0.30$ m
লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, $_a\mu_g = \frac{3}{2}$
লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

অতএব, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f_a = 0.20$ m

(খ) বায়ুতে লেন্সটির ক্ষমতা,

$$P = \frac{1}{f_a} D = \frac{1}{0.2} D = 5 D$$

পানিতে ফোকাস দূরত্ব,

$$\frac{1}{f_w} = (_w\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{_a\mu_g}{_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{0.15} + \frac{1}{0.30}\right)$$

$$= \left(\frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} - 1\right)\left(\frac{2+1}{0.30}\right) = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{1}{0.10}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{0.1}\right) = \frac{1}{0.8}$$

$\therefore \quad f_w = 0.8$ m

$\therefore \quad$ পানিতে ক্ষমতা, $P_w = \frac{1}{f_w} = \frac{1}{0.8} D = 1.25 D$

এখানে,
$_a\mu_g = \frac{3}{2}$ এবং $_a\mu_w = \frac{4}{3}$
$r_1 = 0.15$ m
$r_1 = -0.30$ m
$f_w = ?$
$P_w = ?$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে লেন্সের ক্ষমতা পানিতে কমবে।

৭। একটি কাচ প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° ও উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$।

(ক) উদ্দীপকের প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে প্রথম আপতন কোণ নির্ণয় সম্ভব—উক্তিটির যথার্থতা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\therefore \quad \sqrt{2} = \frac{\sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{60°}{2}}$$

$$\therefore \quad \sin\left(30° + \frac{\delta_m}{2}\right) = \sqrt{2}\sin 30° = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

এখানে,
প্রিজমের প্রতিসারক কোণ বা প্রিজম কোণ,
A = 60°
প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \sqrt{2}$
প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = ?$

$$\therefore \quad 30° + \frac{\delta_m}{2} = \sin^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 45°$$

$$\therefore \quad \delta_m = (45° - 30°) \times 2$$
$$= 15° \times 2 = 30°$$

সুতরাং, প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = 30°$

(খ) প্রিজমের প্রথম পৃষ্ঠে আপতন কোণ i_1 এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে নির্গমন কোণ i_2 হলে, ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে আমরা জানি, $i_1 = i_2$।

বিচ্যুতি, $\delta = i_1 + i_2 - A$

সুতরাং ন্যূনতম বিচ্যুতি,

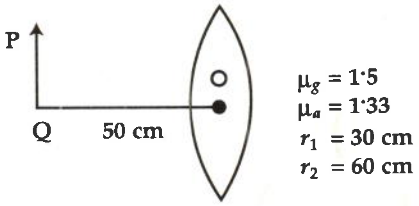
$$\delta_m = i_1 + i_2 - A$$
$$= 2i_1 - A \qquad [\because i_1 = i_2]$$

$$\therefore \quad 2i_1 = \delta_m + A = 30° + 60° = 90°$$

$$\therefore \quad i_1 = \frac{90°}{2} = 45°$$

অতএব, ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে প্রথম আপতন কোণ নির্ণয় সম্ভব এবং তা 45°।

৮।



চিত্রে লক্ষ্যবস্তুর অবস্থান দেখানো হলো।

(ক) উদ্দীপক থেকে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে পর্যায়ক্রমে বায়ু ও পানিতে স্থাপন করলে বিম্বের প্রকৃতি কেমন হবে ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৭ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = (\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (1·5 - 1)\left(\frac{1}{0·30} + \frac{1}{0·60}\right)$$

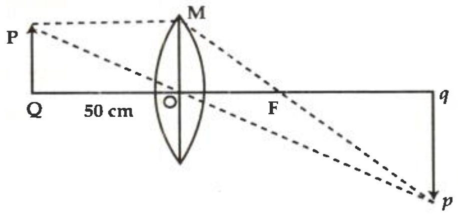
$$= (0·5)\left(\frac{2+1}{0·60}\right)$$

$$= 0·5 \times \frac{1}{0·20} = \frac{0·5}{0·20} = 2·5$$

$$\therefore \quad f_a = \frac{1}{2·5} = 0·40 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

এখানে,
$\mu_g = 1·5$
$\mu_a = 1·33$
১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,
$r_1 = 30 \text{ cm} = 0·30 \text{ m}$
২য় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,
$r_2 = -60 \text{ cm} = -0·60 \text{ m}$
লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) উদ্দীপকের 'ক' হতে বায়ু মাধ্যমে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $f_a = 40$ cm, যা বস্তুর দূরত্ব u অপেক্ষা ছোট। অর্থাৎ $u > f_a$ বস্তু f_a এবং $2f_a$ এর মধ্যে অবস্থিত।



এখন বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এবং অপর একটি আলোক রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয়

রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P এর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।

প্রতিবিম্বের অবস্থান $2f$ অপেক্ষা দূরে হবে। বিম্ব বাস্তব ও উল্টা হবে এবং বস্তুর সাপেক্ষে বিবর্ধিত হবে।

ধরি, লেন্সটি পানিতে স্থাপন করলে এর ফোকাস দূরত্ব f_w হয়।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_w} = \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1.5}{1.33} - 1\right)\left(\frac{1}{0.3} + \frac{1}{0.6}\right)$$

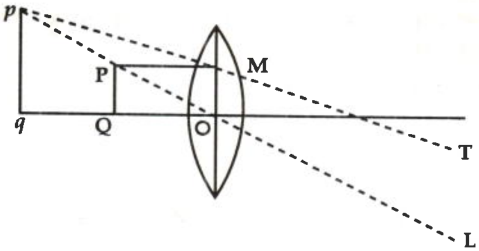
$$= 0.1278 \times \frac{1}{0.20} = 0.639$$

$$\therefore \quad f_w = \frac{1}{0.639} = 1.56 \text{ m}$$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1.5$
${}_a\mu_w = 1.33$
$r_1 = 0.30$ m
$r_2 = -0.60$ m

অর্থাৎ পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বেড়ে যাবে।

এখন $f_w = 1.56$ m বস্তু দূরত্ব, $u = 0.50$ m অপেক্ষা দ্বিগুণেরও বেশি। অর্থাৎ $u < f_w$।



মনে করি, লক্ষ্যবস্তু PQ প্রধান অক্ষের ওপর আলোক কেন্দ্র ও প্রধান ফোকাস F′ এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পর অপসারী হবে। এই দুই রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা p বিন্দু হতে অপসৃত হয়েছে বলে মনে হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং, pq, PQ এর প্রতিবিম্ব। এখানে $v > u$।

লেন্সের যে পার্শ্বে বস্তু অবস্থিত প্রতিবিম্বও সে পার্শ্বে অবস্থিত। বিম্বের প্রকৃতি অবাস্তব ও সিধা। এর আকার বিবর্ধিত। কেননা $|m| = \frac{v}{u} > 1$।

৯। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm ও 5 cm।

(ক) নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) যখন একটি বস্তুকে অসীমে ও স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে রাখা হয় তখন কোন ক্ষেত্রে উদ্দীপকের যন্ত্রটির বিবর্ধন বেশি হয় তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে দেখাও। [রা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৫ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$$l = f_0 + \left(\frac{D \times f_e}{D + f_e}\right)$$

$$\therefore \quad l = 2.0 + \left(\frac{0.25 \times 0.05}{0.25 + 0.05}\right)$$

$$= 2.0 + \left(\frac{0.0125}{0.30}\right)$$

$$= 2.0 + 0.04 = 2.04 \text{ m}$$

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 200$ cm $= 2.0$ m
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5$ cm $= 0.05$ m
স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, D = 25 cm = 0.25 m
নলের দৈর্ঘ্য, $l = ?$

$\therefore$ নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য = 2.04 m

(খ) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে আমরা জানি বিবর্ধন,

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_0}{f_e} = \frac{2 \cdot 0}{0 \cdot 05} = 40$$

এখানে,

$f_0 = 2\,m$

$f_e = 0{\cdot}05\,m$

$D = 0{\cdot}25\,m$

এবং সৃষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$$

$$\therefore \quad m = \frac{2 \cdot 0}{0 \cdot 05}\left(1 + \frac{0 \cdot 05}{0 \cdot 25}\right)$$

$$= 40 \times (1 + 0{\cdot}2) = 40 \times 1{\cdot}2 = 48$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে সৃষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে বিবর্ধন অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধনের চেয়ে বেশি হয়।

১০। একটি উত্তল লেন্সের সামনে 20 cm দূরে কোনো বস্তু রাখলে 3 গুণ বিবর্ধিত উল্টা প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

(ক) লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব কত ?

(খ) বস্তুর সামনে লেন্সটিকে কোনদিকে কতটুকু সরালে 3 গুণ বিবর্ধিত সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব দেখা যাবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

(ক) যেহেতু প্রতিবিম্ব উল্টা, সুতরাং, $m = -3$

আমরা জানি,

$$m = \frac{v}{u} = -3$$

$$v = -3u = -3 \times (-20) \qquad [\text{এখানে } u = -20\text{ cm}]$$

$$= 60\text{ cm}$$

আবার,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $$\frac{1}{f} = \frac{1}{60} - \frac{1}{-20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} = \frac{1+3}{60} = \frac{4}{60}$$

$$\therefore \quad f = \frac{60}{4} = 15\text{ cm}$$

(খ) এক্ষেত্রে সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব পেতে হলে লেন্সটিকে বস্তুর দিকে সরাতে হবে যাতে বস্তু দূরত্ব ফোকাস দূরত্বের চেয়ে কম হয়।

ধরা যাক, লেন্সটিকে x cm বস্তুর দিকে সরাতে হবে।

$\therefore$ বস্তু দূরত্ব, $u_1 = -(20 - x)$ cm

ধরা যাক, প্রতিবিম্ব দূরত্ব $= v_1$ cm

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{v_1}{u_1} = m = 3$$

বা, $$v_1 = 3u_1 = 3 \times \{-(20 - x)\}$$

$$= 3 \times (-20 + x) = -60 + 3x$$

এখন, লেন্সের সাধারণ সমীকরণ,

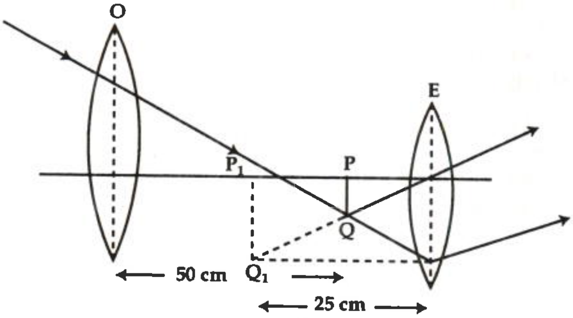
$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f}$$

বা, $$\frac{1}{-3(20 - x)} + \frac{1}{20 - x} = \frac{1}{15}$$

বা, $x = 10$ cm

অতএব, লেন্সটিকে বস্তুর দিকে 10 cm সরাতে হবে।

১১। একটি নভোবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 50 cm এবং 5 cm। যন্ত্রটিকে সূর্যের দিকে ফোকাস করা হলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে গঠিত হয়।



(ক) যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন কত ?

(খ) যদি সূর্যের ব্যাস অভিলক্ষ্যের কেন্দ্রে 32′ কোণ উৎপন্ন করে তবে প্রতিবিম্বের উচ্চতা কত হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উত্তর দাও।

(ক) যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$$

$$\therefore \quad m = \frac{50}{5}\left(1 + \frac{5}{25}\right)$$

$$= 10 \times \frac{30}{25} = 10 \times \frac{6}{5} = 12$$

এখানে,
$f_0 = 50$ cm
$f_e = 5$ cm
$D = 25$ cm
$\alpha = 32'$

(খ) চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব দ্বারা অভিনেত্রে উৎপন্ন কোণ β এবং সূর্যের দ্বারা অভিলক্ষ্যের কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণ α হলে,

$$m = \frac{\beta}{\alpha}$$

বা, $\beta = m\alpha$

$$\therefore \quad \beta = 12 \times \frac{32}{60} \times \frac{\pi}{180} = \frac{32}{5} \times \frac{\pi}{180}$$

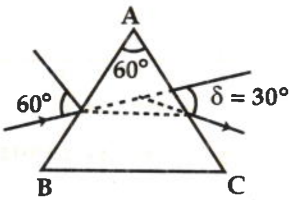
এখানে,
$\alpha = 32' = \frac{32}{60} \times \frac{\pi}{180}$ rad

প্রতিবিম্বের উচ্চতা I হলে,

$$\beta = \frac{I}{D}$$

বা, $I = \beta D = \frac{32}{5} \times \frac{\pi}{180} \times 25 = 2{\cdot}79$ cm.

১২। উদ্দীপক অনুসারে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

(খ) ন্যূনতম বিচ্যুতি ঘটাতে আপতন কোণের কীরূপ পরিবর্তন করতে হবে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[অভিন্ন প্রশ্ন (খ সেট) ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

বা, $30° = 60° + i_2 - 60°$

$\therefore \quad i_2 = 30°$

এখানে,
আপতন কোণ, $i_1 = 60°$
বিচ্যুতি কোণ, $\delta = 30°$
প্রিজম কোণ, $A = 60°$

প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

বা, $\frac{\sin 60°}{\sin r_1} = \frac{\sin 30°}{\sin (60° - r_1)}$

বা, $\sin 30° \sin r_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sin 60° \cos r_1 - \cos 60° \sin r_1)$

বা, $0.5 \sin r_1 = 0.750 \cos r_1 - 0.433 \sin r_1$

বা, $0.933 \sin r_1 = 0.750 \cos r_1$

বা, $\tan r_1 = \frac{0.933}{0.750} = 1.244$

বা, $r_1 = \tan^{-1}(1.244) = 51.2°$

$\therefore \mu = \frac{\sin 60°}{\sin 51.2°} = 1.11$

(খ) ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত অনুযায়ী,

$i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$

এবং $r_1 = \frac{A}{2} = \frac{60°}{2} = 30°$

প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$$

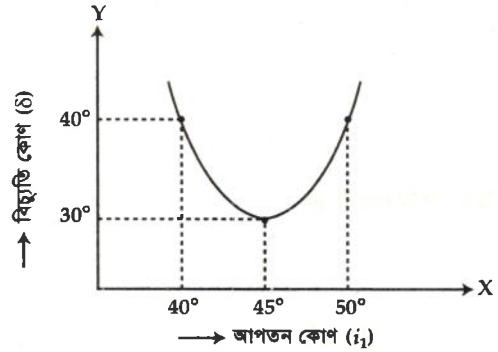
বা, $1.11 = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $\sin i_1 = 0.5 \times 1.11 = 0.558$

$\therefore i_1 = \sin^{-1}(0.558) = 33.92°$

সুতরাং গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায়, ন্যূনতম বিচ্যুতির জন্য আপতন কোণ 33.92° হওয়া প্রয়োজন অর্থাৎ আপতন কোণ 60° — 33.92° = 26.08° কমাতে হবে।

১৩। নিচের চিত্রটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



উপরের চিত্রে একটি সমবাহু প্রিজমের ভিন্ন ভিন্ন আপতন কোণের জন্য বিচ্যুতি কোণ বনাম আপতন কোণ লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে।

(ক) উল্লিখিত প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

(খ) উদ্দীপকের চিত্রে প্রদর্শিত তিনটি আপতন কোণের জন্য নির্গত কোণের স্ব স্ব মান সমান হবে কী ? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও।

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\left(A + \frac{\delta m}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{60° + 30°}{2}}{\sin \frac{60°}{2}} = \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = 1.414$$

(খ) আমরা জানি,

$\delta = i_1 + i_2 - A$

বা, $40° = 40° - 60° + i_2$

$\therefore i_2 = 60°$

আবার,

$\delta = i_1 + i_2 - A$

বা, $30° = 45° + i_2 - 60°$

$\therefore i_2 = 45°$

আমরা জানি,

$\delta = i_1 + i_2 - A$

$40° = 50° - 60° + i_2$

$\therefore i_2 = 50°$

প্রথম ক্ষেত্রে,

$\delta = 40°$
$i_1 = 40°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$\delta = 30°$
$i_1 = 45°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

তৃতীয় ক্ষেত্রে,

$\delta = 40°$
$i_1 = 50°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

চিত্র অনুযায়ী আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণের মান ধরে হিসাব করলে দেখা যায় যে, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় ক্ষেত্রে নির্গত কোণের স্ব স্ব আপতন কোণের মানের সমান হবে। প্রকৃতপক্ষে কেবল ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণ ও নির্গত কোণ সমান হওয়ার কথা। মনে হচ্ছে চিত্রটি নিখুঁত হয়নি এবং মানগুলিও সঠিক নয়।

১৪। 15 cm ও 30 cm বক্রতার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি উভোত্তল লেন্সের সামনের 60 cm দূরে একটি বস্তু স্থাপন করলে 30 cm পিছনে প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

(ক) লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের অন্যান্য শর্তাবলি ঠিক রেখে কী ব্যবস্থা নিলে লেন্সটির ক্ষমতা 1·54D করা যায় ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

বা, $$\frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{1+2}{60}$$

$$\therefore f = 20 \text{ cm}$$

এখানে,

$r_1 = 15$ cm
$r_2 = -30$ cm
$u = 60$ cm
$v = 30$ cm

আবার,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$$

বা, $$\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} + \frac{1}{30}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{2+1}{30}\right)$$

$$= (\mu - 1) \times \frac{1}{10}$$

বা, $\mu - 1 = \frac{1}{2}$ বা, $\mu = \frac{1}{2} + 1 = \frac{3}{2} = 1·5$

(খ) এখানে ক্ষমতা, $P = 1.54\,D$

এখন, $P = \frac{1}{f(m)}$ বা, $f(m) = \frac{1}{P} = \frac{1}{1.54} = 0.649\text{ m} = 64.9\text{ cm}$

প্রশ্নানুসারে, অন্যান্য সকল শর্তাবলি ঠিক রেখে ওই মানের ফোকাস দূরত্ব পেতে হলে সিস্টেমটি তরলে নিমজ্জিত করলে ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। ধরা যাক, তরলের প্রতিসরাঙ্ক = ${}_a\mu_l$

অতএব, $\frac{1}{f_0} = \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\frac{1}{64.9} = \left(\frac{1.5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$

$= \left(\frac{1.5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{2+1}{30}\right)$

$= \left(\frac{1.5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\frac{1}{10}$

বা, $\frac{1.5}{{}_a\mu_l} = \frac{10}{64.9} + 1 = \frac{74.9}{64.9} = 1.154$

$\therefore\ {}_a\mu_l = \frac{1.5}{1.154} = 1.30$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1.5$
$r_1 = 15\text{ cm}$
$r_2 = -30\text{ cm}$
${}_a\mu_l = ?$

সুতরাং, লেন্সটিকে 1.30 প্রতিসরাঙ্ক সম্পন্ন তরলে নিমজ্জিত করে পরীক্ষণ সম্পন্ন করলে লেন্সটির ক্ষমতা 1.54D করা যাবে।

১৫। কোনো প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{\frac{3}{2}}$ এবং প্রতিসারক কোণ 90°।

(ক) প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থানে আপতন কোণ নির্ণয় কর।

(খ) আপতন কোণ 45° অপেক্ষা কম হলে কোনো নির্গত রশ্মি পাওয়া যাবে কি-না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে তোমার মতামত দাও।

(ক) এখানে, প্রতিসারক কোণ $A = 90°$, প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \sqrt{\frac{3}{2}}$

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\therefore \sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{90°+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{90°}{2}}$$

বা, $\sqrt{\frac{3}{2}}\sin 45° = \sin\left(\frac{90°+\delta_m}{2}\right)$

বা, $\sin\left(\frac{90°+\delta_m}{2}\right) = \sqrt{\frac{3}{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sin 60°$

বা, $\left(\frac{90°+\delta_m}{2}\right) = 60°$

বা, $\delta_m + 90° = 120°$

$\therefore\ \delta_m = 120° - 90° = 30°$

ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণ,

$$i = \frac{A + \delta_m}{2}$$

বা, $$i = \frac{90° + 30°}{2} = 60°$$

(খ) প্রিজম থেকে নির্গত রশ্মি পাওয়ার জন্য আপতন কোণের সঠিক মান i_1 হলে লেখা যায়,

$$i_1 = \sin^{-1}\{(\sqrt{\mu^2 - 1}) \sin A - \cos A\}$$

বা, $$i_1 = \sin^{-1}\left\{\sqrt{\left(\left(\sqrt{\frac{3}{2}}\right)^2 - 1\right)} \sin 90° - \cos 90°\right\}$$

বা, $$i_1 = \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{3}{2} - 1}\right)$$

বা, $$i_1 = \sin^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$\therefore \; i_1 = 45°$$

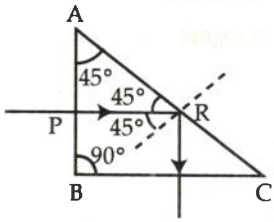
সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে আপতন কোণ $i_1 = 45°$-এর চেয়ে কম হলে নির্গত রশ্মি পাওয়া যাবে না।

১৬। আলোকরশ্মি একটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজমের (চিত্র–১) একটি বাহুর ওপর লম্বভাবে আপতিত হয়ে অপর বাহু কর্তৃক পূর্ণ প্রতিফলিত হলো।

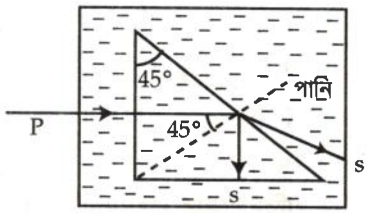
(ক) প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের নিম্নতম মান কত ?

(খ) প্রিজমকে পানিতে নিমজ্জিত করা হলে ওই আপতিত রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হবে কি–না—চিত্রসহকারে গাণিতিকভাবে দেখাও। [পানির প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \frac{4}{3}$]

(ক) চিত্র ১–এ ABC একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ। এখানে AB = BC



চিত্র ১



চিত্র ২

PQ আলোক রশ্মি AB তলে লম্বভাবে আপতিত হয়ে সরাসরি প্রিজমের মধ্যে প্রবেশ করে এবং AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হয়। চিত্র থেকে স্পষ্ট যে R বিন্দুতে আপতিত কোণ 45°। এখন ওই রশ্মিকে R বিন্দু হতে পূর্ণ প্রতিফলিত হতে হলে ওই আপতন কোণকে প্রিজমের উপাদানের সংকট কোণের সমান বা কম হতে হবে; অর্থাৎ সর্বোচ্চ সংকট কোণ 45°। প্রিজমের উপাদানের ন্যূনতম প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu} \text{ বা, } \sin 45° = \frac{1}{\mu}$$

বা, $$\mu = 1.414$$

(খ) প্রিজমটি পানিতে নিমজ্জিত করলে পানির সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক,

$$_w\mu_g = \frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{\sqrt{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{3\sqrt{2}}{4} = 1.06$$

প্রিজম এবং পানির মধ্যে সংকট কোণ θ_C' হলে,

$$\theta_C' = \sin^{-1}\left(\frac{1}{_w\mu_g}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.06}\right)$$

$$= \sin^{-1}(0.9434) = 70°48'$$

কিন্তু R বিন্দুতে আপতন কোণ 45° এবং এটি সংকট কোণ অপেক্ষা কম। সুতরাং, R বিন্দুতে আলোকরশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হবে না। আলোক রশ্মি প্রতিসৃত হয়ে পানিতে প্রবেশ করবে [চিত্র ২]।

এখন প্রতিসরণ কোণ r হলে,

$$\sqrt{2}\sin 45° = \frac{4}{3}\sin r$$

বা, $\sin r = \sqrt{2}\times\frac{3}{4}\times\frac{1}{\sqrt{2}} = 0^{\cdot}75 = \sin 48°36'$

$\therefore \quad r = 48°36'$

১৭। একটি পরীক্ষণে, একটি বস্তুকে একটা উভোত্তল লেন্সের 75 cm সামনে স্থাপন করা হলো। যার বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm ও 30 cm। এতে 30 cm পিছনে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। অন্য একটি পরীক্ষণে, লেন্সটিকে 1·33 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে স্থাপন করা হলো।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় পরীক্ষায় একই দূরত্বে বস্তুটি স্থাপন করলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি প্রথম পরীক্ষার অনুরূপ হবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মন্তব্য কর।

[ঢা. বো. ২০১৮; রা. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u}+\frac{1}{v} = \frac{1}{75}+\frac{1}{30}$$

$$= \frac{2+5}{150} = \frac{7}{150}$$

$$\therefore \quad f = \frac{150}{7} = 21^{\cdot}43 \text{ cm}$$

এখানে,
লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u = 75$ cm
প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v = 30$ cm
ফোকাস দূরত্ব, $f = ?$

(খ) এখন, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\frac{1}{21^{\cdot}43} = (\mu_r - 1)\left(\frac{1}{15}+\frac{1}{30}\right)$

বা, $(\mu_r - 1) = \dfrac{\frac{1}{21^{\cdot}43}}{\frac{1}{15}+\frac{1}{30}} = 0^{\cdot}47$

$\therefore \quad \mu_r = 1 + 0^{\cdot}47 = 1^{\cdot}47$

এখানে,
$f = 21^{\cdot}43$ cm
বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = 15$ cm
বক্রততার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm
প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_r = ?$

ধরা যাক, 1·33 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f'

$$\therefore \quad \frac{f'}{f} = \frac{\mu_r - 1}{\frac{\mu_r}{1^{\cdot}33} - 1}$$

বা, $f' = \dfrac{1^{\cdot}47 - 1}{\frac{1^{\cdot}47}{1^{\cdot}33} - 1}\times f = 4^{\cdot}465 \times 21^{\cdot}43 = 95^{\cdot}68$ cm

আবার, $\frac{1}{f'} = \frac{1}{u}+\frac{1}{v}$

বা, $\frac{1}{95^{\cdot}68} = \frac{1}{75}+\frac{1}{v}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{95^{\cdot}68} - \frac{1}{75} = -2^{\cdot}88\times 10^{-3}$

$\therefore \quad v = -\dfrac{1}{2^{\cdot}88\times 10^{-3}} = -346^{\cdot}93$ cm

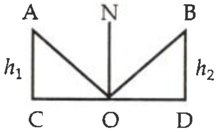
এখানে,
লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u = 75$ cm

যেহেতু v ঋণাত্মক। সুতরাং বিম্ব অবাস্তব।

সুতরাং, দ্বিতীয় পরীক্ষায় একই দূরত্বে বস্তুটি স্থাপন করলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি প্রথম পরীক্ষার অনুরূপ হবে না।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি নির্ণয় করা যায়। চরম বা অবম দৈর্ঘ্যের পথের নীতি হলো ফার্মাট নীতি।

২। 

চিত্র অনুযায়ী ফার্মাটের নীতির সাহায্যে সময় $t = \sqrt{\frac{x_1^2 + h_2^2}{v}}$

৩। ওপরের চিত্রে ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী প্রযোজ্য $\frac{dt}{dx} = 0.$

৪। লেন্স প্রস্তুতকারকের সমীকরণ হলো $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$

৫। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র হলো প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র। গ্যালিলিও জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের আবিষ্কারক।

৬। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধন যথাক্রমে m_1 এবং m_2.

৭। তুল্য লেন্সের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সোজা ও সমান দেখায়।

৮। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। উত্তল লেন্সটি n গুণ বিবর্ধিত সদ প্রতিবিম্ব গঠন করলে বস্তুর দূরত্ব হবে $\frac{(n+1)f}{n}$.

৯। প্রতিসরাঙ্ক বেশি হলে আলো কম বেগে চলে। কোয়ার্টজ হলো দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যম।

১০। আলোর বিভিন্ন বর্ণের কারণ হলো—তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য।

১১। আলো ঘনতর মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করলে বেগ বেশি হয়।

১২। লাল আলোর বেগ বেগুনি আলোর বেগের চেয়ে 1·8 গুণ বেশি।

১৩। বেগুনি রঙের আলোর জন্য নির্দিষ্ট মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান সবচেয়ে বেশি হয়।

১৪। স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য টেলিস্কোপে বিবর্ধনের মান $\frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$।

১৫। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হলে $f = r$ হয়।

১৬। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক হলো $f = \frac{r}{2}$।

১৭। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে 2 বার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অবাস্তব ও বিবর্ধিত হয়।

১৮। বেতার তরঙ্গ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয় রেডিও টেলিস্কোপ।

১৯। কোনো নির্দিষ্ট সময়ে μ প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমের ভেতর দিয়ে x দূরত্ব অতিক্রম করলে আলোকীয় পথ হবে μx।

২০। প্রতিফলক টেলিস্কোপের ক্ষেত্রে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না।

২১। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়ানোর জন্য যা কারণীয়—(i) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমাতে হবে (ii) লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব কমাতে হবে (iii) অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের দূরত্ব বাড়াতে হবে।

২২। আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ সূত্র প্রতিপাদন করা যায় (i) ফার্মাটের নীতির সাহায্যে (ii) হাইগেনস-এর নীতির সাহায্যে।

২৩। প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ভর করে (i) স্বচ্ছ মাধ্যম দুটির প্রকৃতির ওপর, (ii) আলোক রশ্মির বর্ণের ওপর।

২৪। মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন হলে প্রতিবিম্বের পরিবর্তন হয়।

২৫। বাস্তব বিম্ব গঠিত হয় অবতল দর্পণে এবং উত্তল লেন্সে। আর অবাস্তব বিম্ব গঠিত হয় উত্তল দর্পণে, সমতল দর্পণে এবং অবতল লেন্সে।

২৬। অবাস্তব প্রতিবিম্ব—পর্দায় ফেলা যায় না, চোখে দেখা যায়।

২৭। নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সমতল দর্পণ অবতল দর্পণের অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকে।

২৮। টেলিস্কোপে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এ অভিলক্ষ্য ঘাত সৃষ্ট বিম্ব—(i) অভিলক্ষ্যের ফোকাস তলে গঠিত হয়, (ii) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে গঠিত হয়।

২৯। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য নলের দৈর্ঘ্য হবে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বদ্বয়ের যোগফল।

৩০। একটি লেন্সকে পানির মধ্যে রাখলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি পায়।

৩১। লাল বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বনিম্ন।

৩২। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u}$, $m = 1 + \frac{D}{f}$, $m = 1 \pm \frac{D-a}{f}$.

৩৩। লেন্সের ক্ষমতার মাত্রা L^{-1}।

৩৪। পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$ প্রযোজ্য।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। কোন বর্ণের রশ্মিকে মধ্যরশ্মি বলা হয়।
[ঢা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৭, ২০১৬]

ⓚ সবুজ
ⓚ নীল
ⓖ হলুদ
ⓘ আসমানি

২। কোন রং এর বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশি ?
[কু. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৬
Medical Admission Test, 2017-18;
Admission Test : IU 2019-20;
DU (HEC) 2020-21]

ⓚ হলুদ
ⓚ লাল
ⓖ বেগুনি
ⓘ কমলা

৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কী ধরনের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়? [BSMRSTU Admission Test, 2016017]

ⓚ সোজা ও খর্বিত
ⓚ সোজা ও বিবর্ধিত
ⓖ উল্টো ও বিবর্ধিত
ⓘ উল্টো ও খর্বিত

৪। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশি কোনটি ?

ⓚ $m = \frac{v}{u}$
ⓚ $m = 1 + \frac{D}{f}$
ⓖ $m = 1 + \frac{D-a}{f}$
ⓘ সবকটি

৫। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়? [য. বো. ২০১৫;
JKKNIU Admission Test, 2019-20]

ⓚ উল্টো ও খর্বিত
ⓚ সোজা ও বিবর্ধিত
ⓖ উল্টো ও বিবর্ধিত
ⓘ সোজা ও খর্বিত

৬। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র—

(i) চূড়ান্ত বিম্ব তৈরি করে
(ii) প্রাথমিক বিম্ব তৈরি করে
(iii) অসদ বিম্ব তৈরি করে

নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i
ⓚ iii
ⓖ i ও iii
ⓘ i, ii ও iii

৭। যখন সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হয় আলোর বিচ্যুতি—
[DU Admission Test, 2002-03]

ⓚ নীল অপেক্ষা লালের জন্য বেশি
ⓚ হলুদ অপেক্ষা বেগুনির জন্য বেশি
ⓖ লালের চেয়ে সবুজের জন্য কম
ⓘ কমলার চেয়ে বেগুনির জন্য কম

৮। নভোবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়?
[BSMRSTU Admission Test, 2017-18]

ⓚ সোজা ও খর্বিত
ⓚ সোজা ও বিবর্ধিত
ⓖ উল্টো ও খর্বিত
ⓘ উল্টো ও বিবর্ধিত

৯। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ওই যন্ত্রের বিবর্ধন কত ?
[Admission Test : IUST-C 2017-18; IU-E 2017-18; JUST 2017-18; BRU 2016-17, 2014-15]

ⓚ 1·5
ⓚ 2·667
ⓖ 1·667
ⓘ 1·65

একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.5 m ও 0.05 m। ১০নং ও ১১নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৭]

১০। যন্ত্রটির বিবর্ধন কত ? [Admission Test : JU 2019-20; CU 2017-18 (মান ভিন্ন)]

ক 10
খ 12
গ 16
ঘ 20

১১। যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য কত ? [চ. বো. ২০১৫; Admission Test : BRU 2017-18 (মান ভিন্ন); CKRUET 2020-21 (মান ভিন্ন); JU 2020-21 (মান ভিন্ন)]

ক 0.60 m
খ 0.50 m
গ 0.55 m
ঘ 0.64 m

১২। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন—

ক $m = \frac{f_e}{f_0}$
খ $m = \frac{f_0}{f_e}$
গ $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$
ঘ $m = \frac{f_e}{f_0}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

১৩। দূরবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়— [JU Admission Test, 2017-18]

ক উত্তল লেন্স
খ উভোত্তল লেন্স
গ অবতল লেন্স
ঘ উভাবতল লেন্স

১৪। একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm এবং 10 cm। যন্ত্রটি দিয়ে স্বাভাবিক চোখে চাঁদকে পর্যবেক্ষণ করার সময় লেন্স দুটির মধ্যে দূরত্ব হবে— [JU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক 190 cm
খ 210 cm
গ 20 cm
ঘ 1000 cm

১৫। কোনটি বিচ্ছুরক মাধ্যম নয় ? [RU-G4 Admission Test, 2017-18]

ক পানি
খ কাচ
গ গ্লিসারিন
ঘ বায়ু

১৬। যে দুটি আলোর জন্য কৌণিক বিচ্ছুরণ সর্বাধিক তা হলো—

ক সবুজ ও লাল
খ লাল ও নীল
গ হলুদ ও সবুজ
ঘ নীল ও কমলা

১৭। দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য একটি প্রিজমের উপাদায়্নেতম বিচ্যুতি অবস্থানে— [ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫; MBSTU Admission Test, 2019-20]

(i) $\delta_m = 2i_1 - A$
(ii) $r_1 = r_2$
(iii) $i_1 = i_2$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৯। একটি প্রিজমের প্রিজম কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ যথাক্রমে 60° ও 30°। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৫; Admission Test : SUST, 2016-17; BRU 2019-20; CU 2018-19]

ক 1.45
খ 1.53
গ 1.41
ঘ 1.23

২০। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে— [য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]

(i) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য
(ii) আলোর বর্ণ
(iii) প্রিজম কোণ

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২১। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বেশি বিবর্ধন পেতে হলে—

ক অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কম হবে
খ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কম হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
গ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
ঘ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব কম হবে

২২। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা 100। এর অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন 5 হলে অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন কত ?

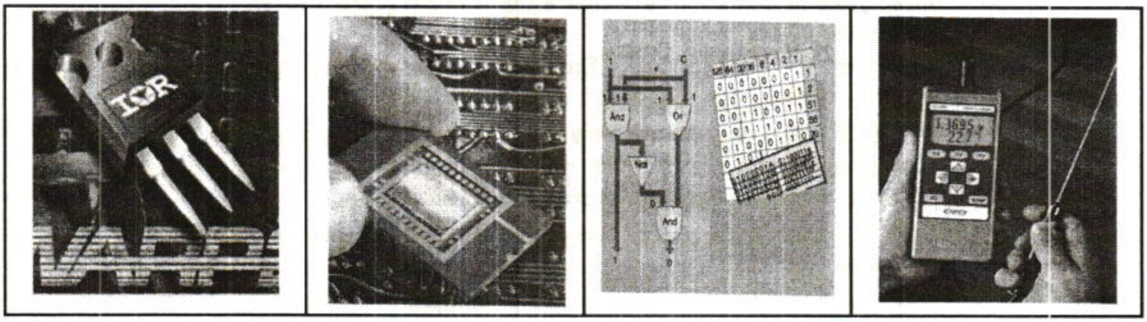
ক 40
খ 30
গ 20
ঘ 10

১০

RMDAC

সেমিকন্ডাক্টর ও ইলেকট্রনিক্স
SEMICONDUCTOR AND ELECTRONICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : ব্যান্ড তত্ত্ব, পরিবাহী, অপরিবাহী ও অর্ধপরিবাহী, ইনট্রিনসিক ও এক্সট্রিনসিক সেমিকন্ডাক্টর, স্বকীয় ও বহিঃজাত অর্ধপরিবাহী, পি-টাইপ এবং এন-টাইপ অর্ধ-পরিবাহী, ইলেকট্রন ও হোল, জাংশন ডায়োড, রেকটিফায়ার, ট্রানজিস্টর, অ্যাম্প্লিফায়ার, নম্বর পদ্ধতি, ডেসিমাল, বাইনারি, অক্টাল, হেক্সাডেসিমাল, বাইনারি অপারেশন, লজিক গেট, ট্রুথ টেবিল।



সূচনা
Introduction

ইলেকট্রনিক্স আধুনিক প্রয়োগ বিজ্ঞান (Applied Science)-এর একটি গুরুত্বপূর্ণ শাখা। এই শাখায় শূন্য মাধ্যম, গ্যাসীয় মাধ্যম বা সেমিকন্ডাক্টরের ভেতর দিয়ে ইলেকট্রনের গতি এবং ওই গতির জন্য সৃষ্ট ঘটনার তত্ত্ব বিশদভাবে আলোচিত হয়। আধুনিক জীবনযাত্রায়, বিনোদনে, যোগাযোগ ব্যবস্থায় ইলেকট্রনিক্স যন্ত্রপাতি অপরিহার্য। ইলেকট্রনিক্সের ব্যবহার আধুনিক জীবনযাত্রায় ব্যাপক পরিবর্তন এনেছে। আমাদের অগ্রগতির পথকে ইলেকট্রনিক্স এমনভাবে আষ্টে পৃষ্ঠে বেঁধে রেখেছে যে সকালে ঘুম থেকে জাগ্রত হওয়া থেকে আরম্ভ করে রাতে ঘুমাতে যাওয়া পর্যন্ত প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে এর সাহায্য নিতে হচ্ছে। এই অধ্যায়ে ইলেকট্রনিক্সের মূল বস্তু অর্ধপরিবাহী (semiconductor), ডায়োড, ট্রানজিস্টর, রেকটিফায়ার, অ্যাম্প্লিফায়ার, নম্বর পদ্ধতি, বাইনারি অপারেশন, লজিক গেট ও এদের ব্যবহার এবং আইসি নিয়ে আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কঠিন পদার্থের ব্যান্ড তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ইনট্রিন্সিক ও এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- সেমিকন্ডাক্টরে ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পি টাইপ সেমিকন্ডাক্টর এবং এন টাইপ সেমিকন্ডাক্টর তৈরি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- জাংশন ডায়োডের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- একমুখীকরণ (rectification) ব্যাখ্যা করতে পারবে।

  ব্যবহারিক : (১) পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ (দুটি ডায়োড ব্যবহার করে)
  (২) ডায়োডের সাহায্যে একমুখীকরণ (ব্রিজ রেকটিফায়ার ব্যবহার করে)
- জাংশন ট্রানজিস্টরের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- অ্যামপ্লিফায়ার ও সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বিভিন্ন প্রকার নম্বর পদ্ধতির মধ্যে রূপান্তর ব্যবহার করতে পারবে।
- বাইনারি অপারেশন ব্যবহার করতে পারবে।
- বিভিন্ন প্রকার লজিক গেটের কার্যক্রম বিশ্লেষণ করতে পারবে।

  ব্যবহারিক : (১) AND লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই
  (২) NOT লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই
  (৩) OR লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই

RMDAC

১০.১ অর্ধপরিবাহী
Semiconductor

ব্যান্ড তত্ত্ব আলোচনার পূর্বে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী পদার্থের ধর্ম ও বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে আমাদের জানা প্রয়োজন।

১০.১.১ পরিবাহী, অপরিবাহী ও অর্ধপরিবাহীর ধারণা
Ideas about conductor, insulator and semiconductor

আমাদের আশে-পাশের সমস্ত পদার্থই কঠিন, তরল ও গ্যাস এই তিনটি অবস্থার যেকোনো একটি অবস্থায় বিদ্যমান। তড়িৎ পরিবাহিতার প্রকৃতি অনুসারে কঠিন পদার্থকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়।

যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে সেগুলোকে বলা হয় পরিবাহী (conductor)। যেমন সোনা, তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি। গ্রাফাইট [MAT-15-16]

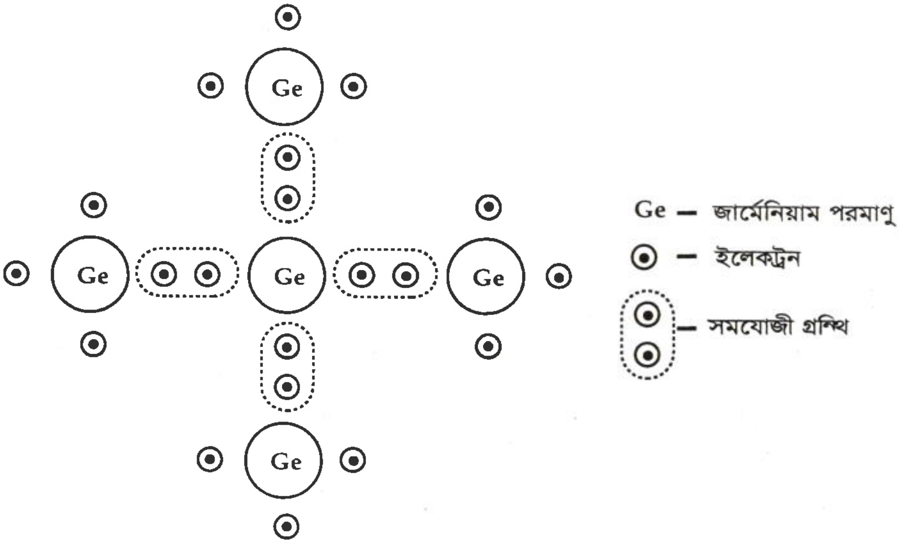
এক ধরনের পদার্থ আছে যার ভেতর দিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে না এদেরকে বলা হয় অপরিবাহী (insulator)। যেমন রাবার, সিরামিক, কাচ, কাঠ ইত্যাদি। হীরক [MAT-23-24] [DAT-19-20]

আমরা জানি, **পরিবাহী এবং অন্তরকের মাঝামাঝি এক ধরনের পদার্থ আছে যার তড়িৎ পরিবাহিতা পরিবাহী পদার্থের চেয়ে অনেক কম; কিন্তু অন্তরকের চেয়ে অনেক বেশি। এগুলোকে বলা হয় অর্ধপরিবাহী।** যেমন জার্মেনিয়াম, সিলিকন, কার্বন, ক্যাডমিয়াম সালফাইড, গ্যালিয়াম আর্সেনাইড ইত্যাদি।

একটি পদার্থ কতটুকু পরিবাহী বা অন্তরক তা পদার্থের আপেক্ষিক রোধ বা পরিবাহিতার মান থেকে ধারণা করা যায়। যেমন তামার আপেক্ষিক রোধ সাধারণ তাপমাত্রায় $10^{-8}\ \Omega\text{-m}$; পক্ষান্তরে কাচের আপেক্ষিক রোধ $10^{16}\ \Omega\text{-m}$। অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ 10^{-5} থেকে $10^{8}\ \Omega\text{-m}$ । সাধারণ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহী পদার্থ অন্তরক বা অপরিবাহী হিসেবে কাজ করে; কিন্তু **অর্ধপরিবাহী কেলাসকে যদি উত্তপ্ত করা হয় তাহলে খুব দ্রুত সে তার রোধ হারায়, অর্থাৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।** আবার তাপমাত্রা হ্রাস করলে অর্ধপরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। পরম শূন্য তাপমাত্রায় পুরাপুরি কুপরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে। সুপরিবাহী পদার্থের বেলায় এর উল্টো ঘটনা ঘটে। অর্থাৎ উত্তপ্ত হলে সুপরিবাহী পদার্থের রোধ বৃদ্ধি পায়। [MAT-19-20] [DAT-20-21,19-20,18-19,16-17]

অর্ধপরিবাহী পদার্থের আর একটা বিশেষ ধর্ম হচ্ছে যে, যদি কোনো বিশুদ্ধ (pure) অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে কোনো নির্দিষ্ট অপদ্রব্যের খুব সামান্য অংশমাত্র (দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগমাত্র) মেশানো হয় তাহলে এর রোধ অনেক গুণ কমে যায়। এ ধরনের মিশ্রণ পদ্ধতিকে বলা হয় **ডোপিং** (doping)। বিভিন্ন ডিভাইস বা যন্ত্রাংশ তৈরিতে অপদ্রব্য মিশ্রিত অর্ধপরিবাহী পদার্থই ব্যবহার করা হয়।

সুপরিবাহী পদার্থের গঠন এমন যে, কোনো পরমাণুর অসম্পূর্ণ বাইরের কক্ষের (shell) যোজন (valence) ইলেকট্রনগুলো ঠিক পাশের পরমাণুর বাইরের কক্ষে চলে যায় তাদের অসম্পূর্ণ কক্ষকে পূর্ণ করার জন্য। এভাবে এক



চিত্র ১০.১

পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভাবে চলাফেরা করতে পারে। এই যোজন ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভাবে চলাফেরা করে বলেই পরিবাহী পদার্থ তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে এবং পদার্থটি সুপরিবাহী পদার্থ হয়।

কিন্তু অপরিবাহী পদার্থের ওই রকম স্বাধীন বা মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না বলে তারা তড়িৎ পরিবহণ করে না। ওই সমস্ত পদার্থের ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। অর্ধপরিবাহী পদার্থ জার্মেনিয়াম ও সিলিকন পরমাণুর বাইরের কক্ষে 4টি যোজন ইলেকট্রন থাকে। আমরা জানি যে, যেকোনো পরমাণুর সর্বশেষ কক্ষে সর্বোচ্চ ৪টি ইলেকট্রন থাকতে পারে। ৪টি ইলেকট্রন থাকলে পরমাণুটি সুস্থির অবস্থায় থাকে এবং পরমাণুটি অপরিবাহী হয়ে যায়। প্রত্যেক পরমাণুই সুস্থির অবস্থায় থাকতে চায় অর্থাৎ এরা বাইরের কক্ষে সর্বোচ্চ ৪টি ইলেকট্রন পেতে চায়। জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদি এই ধরনের পরমাণু প্রয়োজনীয় বাকি ইলেকট্রনগুলো সংগ্রহ করে তাদের পাশের পরমাণু থেকে। লক্ষণীয় যে পাশের পরমাণু তার ইলেকট্রন একেবারেই দিয়ে দেয় না। এক্ষেত্রে পাশাপাশি দুটো পরমাণু নিজেদের মধ্যে একে অপরের ইলেকট্রন ব্যবহার বা ভাগাভাগি করে এক বিশেষ ধরনের গ্রন্থি বা বন্ড (bond) তৈরি করে। এ ধরনের গ্রন্থিকে বলা হয় **সমযোজী গ্রন্থি** (covalent bond)। চিত্র ১০.১-এ জার্মেনিয়াম কেলাস যেভাবে সমযোজী গ্রন্থি তৈরি করে তা দেখানো হলো। সমযোজী গ্রন্থির মাধ্যমে প্রতিটি পরমাণু ৪টি ইলেকট্রন প্রাপ্ত হয় এবং সুস্থির হয়।

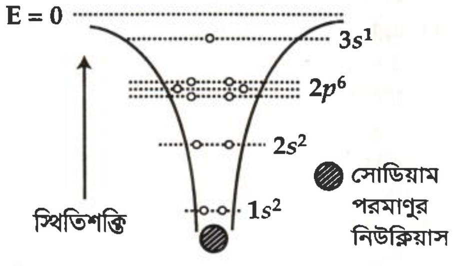
সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, জার্মেনিয়াম বা সিলিকন সমযোজী গ্রন্থির সাহায্যে **বিশুদ্ধ কেলাস** (intrinsic crystal) গঠন করে। বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকন কেলাসে কোনো স্বাধীন বা মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। ফলে পরম তাপমাত্রায় এদের তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতা থাকে না। এই ধরনের বিশুদ্ধ কেলাসের তাপমাত্রা বাড়ালে তাপীয় উত্তেজনায় কেলাসের পরমাণুর কিছু কিছু গ্রন্থি ভেঙ্গে যায়; ফলে কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয় এবং তড়িৎ পরিবহণ করে। এভাবে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী পদার্থ স্বল্প তড়িৎ পরিবাহকত্ব লাভ করে।

১০.২ ব্যান্ড তত্ত্বের ধারণা
Concept of band theory

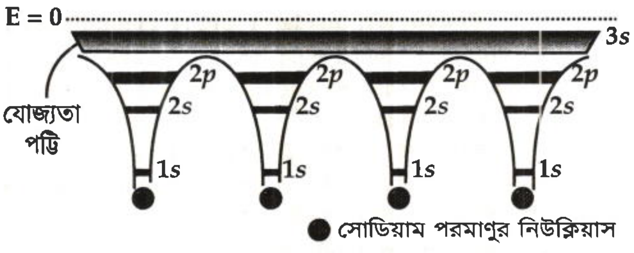
আমরা জানি, পরমাণুতে রয়েছে ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন। পরমাণুর গঠন সম্পর্কীয় বোরের তত্ত্ব অনুযায়ী পরমাণুর কেন্দ্রে রয়েছে প্রোটন এবং নিউট্রন। প্রোটনের চার্জ ধনাত্মক এবং নিউট্রনের কোনো চার্জ নেই। ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনগুলো কেন্দ্র থেকে অনেক দূরে কেন্দ্রকে পরিবেষ্টন করে বিভিন্ন নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরছে।

১০.২.১ কঠিন পদার্থের শক্তি ব্যান্ড
Energy bands in solids

কঠিন পদার্থের শক্তি ব্যান্ড আলোচনায় উদাহরণ হিসেবে আমরা সোডিয়াম (Na) মৌল ও পরমাণু বিবেচনা করতে পারি। আমরা জানি, সোডিয়াম পরমাণুতে 11টি ইলেকট্রন রয়েছে এবং এই ইলেকট্রনগুলোর বিন্যাস হলো $1s^2\, 2s^2\, 2p^6\, 3s^1$। নিউক্লিয়াস দ্বারা আকর্ষণের ফলে একটি বিভব কূপের সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনগুলো এই বিভব কূপের মধ্যে বিভিন্ন শক্তিস্তরে পাউলির বর্জন নীতি অনুসরণ করে অবস্থান করে [চিত্র ১০.২(ক)]। পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে প্রতিটি শক্তিস্তরে বিপরীত স্পিনসম্পন্ন দুটি ইলেকট্রন থাকতে পারে। সুতরাং সোডিয়াম পরমাণুর $1s$ স্তরে 2টি, $2s$ স্তরে 2টি ইলেকট্রন থাকে। $2p$ স্তরটি 3টি উপস্তরে বিভক্ত এবং এর প্রতিটি উপস্তরে 2টি করে ইলেকট্রন থাকে; অর্থাৎ $2p$ স্তরে মোট 6টি ইলেকট্রন থাকে এবং অবশিষ্ট ইলেকট্রনটি $3s$ স্তরে থাকে। সোডিয়াম পরমাণুর বাইরের এই স্তরটিতে অবস্থিত ইলেকট্রনকে যোজ্যতা ইলেকট্রন (Valence electron) বলা হয়। এখন কঠিন সোডিয়াম কেলাসে বহু সংখ্যক পরমাণু থাকে। এই পরমাণুর ঘন সন্নিবেশের কারণে বিভব কূপের আকার পরিবর্তিত হয় যা চিত্র ১০.২(খ)-এ পূর্ণ রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.২ (ক)



চিত্র ১০.২ (খ)

যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো ছাড়া অবশিষ্ট ইলেকট্রনগুলো (সোডিয়াম পরমাণুর ক্ষেত্রে 10টি) প্রতিটি পরমাণুর নিজস্ব বিভব কূপের মধ্যেই আবদ্ধ থাকে, ফলে এদের ওপর আশেপাশের পরমাণুগুলোর প্রভাব খুব সামান্যই হয়। কিন্তু যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো বিভব কূপের মধ্যে আর আবদ্ধ থাকে না; প্রতিটি যোজ্যতা ইলেকট্রন অন্যান্য পরমাণুর দ্বারা

প্রভাবিত হয় এবং কোন ইলেকট্রনটি কোন পরমাণুর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তা আর নির্দিষ্ট করা সম্ভব হয় না। সুতরাং সোডিয়াম কেলাসে 3s শক্তিস্তরে বহুসংখ্যক ইলেকট্রন অবস্থান করে। তবে যেহেতু পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে একটি শক্তিস্তরে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না, সুতরাং 3s শক্তিস্তরটি বহুসংখ্যক উপস্তরে বিভক্ত হয়ে যায় এবং প্রতিটি উপস্তরে সর্বাধিক 2টি বিপরীত স্পিনের ইলেকট্রন থাকে। এখন কেলাসের ভেতর খুব অল্প পরিসরে প্রায় 10^{20} সংখ্যক বা এর অধিক পরমাণু থাকে, ফলে ওই ধরনের উপস্তরের সংখ্যা এত বেশি হয় যে স্তরগুলোর স্থিতিশক্তি প্রায় নিরবচ্ছিন্ন (continuous) ধরা যায়। সুতরাং উপস্তরগুলোর সমন্বয়ে 3s শক্তিস্তরে তৈরি হয় একটি শক্তি ব্যান্ড (energy band)। এই শক্তি ব্যান্ডকেই বলা হয় **যোজ্যতা ব্যান্ড** (valence band)।

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 : যে ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথে অবস্থান করে তাদেরকে যোজন ইলেকট্রন বলে। কেলাসিত কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে যোজন ইলেকট্রনগুলোর শক্তি যে বিস্তৃত পাল্লার মধ্যে থাকে তাকে যোজন পাল্লা বা যোজন ব্যান্ড বলে। সাধারণ পরমাণুতে দূরতম কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনের শক্তি সর্বোচ্চ। এই ব্যান্ড পূর্ণ বা আংশিক পূর্ণ থাকতে পারে। কেবলমাত্র নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ক্ষেত্রে যোজন ব্যান্ড পূর্ণ থাকে।

যদিও যোজ্যতা ইলেকট্রন প্রতিটি নিজ পরমাণুর প্রভাব থেকে বাইরে চলে আসে; কিন্তু এগুলো সম্পূর্ণ মুক্ত নয়। অন্যান্য পরমাণুসমষ্টির প্রভাবের মধ্যে থেকে যায়। ফলে তড়িৎ পরিবহণে অংশগ্রহণ করে না। তবে বাহিরে থেকে শক্তি অর্জন করে যোজ্যতা ইলেকট্রন অন্যান্য পরমাণুর প্রভাব থেকে মুক্ত হয়ে বাহিরে চলে যেতে পারে এবং সেটি পরিবহণ ইলেকট্রনে পরিণত হয়। এই পরিবহণ ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহণে অংশগ্রহণ করে। এখন অনেকগুলো যোজ্যতা ইলেকট্রন এক সঙ্গে শক্তি অর্জন করে পরিবহণ ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে। এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলো একটি মাত্র স্তরে না থেকে একটি শক্তি ব্যান্ডে অবস্থান করে। **এই শক্তি ব্যান্ডকেই বলা হয় পরিবহণ ব্যান্ড** (conduction band)। যোজ্যতা ব্যান্ড ও পরিবহণ ব্যান্ডের মাঝখানের অঞ্চলে কোনো ইলেকট্রন থাকতে পারে না। এই অঞ্চলকে **নিষিদ্ধ অঞ্চল** (forbidden region) **বলে** এবং এই দুটি শক্তি ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধানকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান (forbidden energy gap) **বলা হয়**।

পরিবহণ ব্যান্ড : পরমাণুতে অবস্থিত মুক্ত যোজন ইলেকট্রন বিদ্যুৎ পরিবহণে অংশগ্রহণ করে ফলে এদেরকে পরিবহণ ইলেকট্রন বলে। এই ইলেকট্রনগুলোর শক্তির পাল্লা বা ব্যান্ডকে পরিবহণ ব্যান্ড বলে।

পরিবহণ ব্যান্ডের সকল ইলেকট্রনই মুক্ত ইলেকট্রন। যদি কোনো বস্তুতে পরিবহণ ব্যান্ড ফাঁকা থাকে তাহলে সেই বস্তুতে তড়িৎ পরিবহণ করা সম্ভব হয় না। অন্তরকে পরিবহণ ব্যান্ড সম্পূর্ণ ফাঁকা থাকে আর যোজন ব্যান্ড আংশিক পূর্ণ থাকে। ধাতব পদার্থে যোজন ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসের সাথে শিথিলভাবে যুক্ত থাকে। সাধারণ তাপমাত্রায় এসব ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ থেকে মুক্ত হয়ে যেতে পারে। এই মুক্ত ইলেকট্রনই পরিবাহীতে বিদ্যুৎ পরিবহণ করে।

নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড : যোজন ব্যান্ড এবং পরিবহণ ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তির পাল্লাই হলো নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ড। এই নিষিদ্ধ শক্তি অঞ্চলে কোনো অনুমোদিত শক্তি স্তর না থাকায় এই অঞ্চলে কোনো ইলেকট্রন থাকতে পারে না। কেলাসের মধ্যে কোনো ইলেকট্রনকে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহণ ব্যান্ডে তুলতে হলে ইলেকট্রনকে সর্বনিম্ন যে শক্তি সরবরাহ করতে হয় তা নিষিদ্ধ শক্তি ব্যান্ডের শক্তির সমান।

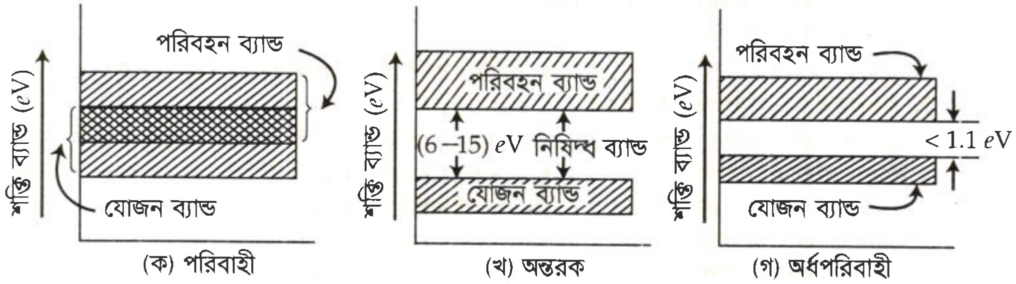
১০.২.২ ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী

Conductor, insulator and semiconductor in the light of band theory

(ক) পরিবাহী : পরিবাহী পদার্থ বলতে সে সমস্ত পদার্থ বোঝানো হয় যার ভেতর দিয়ে সহজে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এ সমস্ত পদার্থে যোজ্যতা ব্যান্ডের ওপরাংশ ও পরিবহণ ব্যান্ডের নিম্নাংশের উপরিপাত (overlapping) হয় [চিত্র ১০.৩(ক)]। অর্থাৎ পরিবহণ ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে কোনো শক্তি ব্যবধান থাকে না। ফলে যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো অনায়াসেই পরিবহণ ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহে অংশগ্রহণের জন্য প্রচুর পরিমাণে মুক্ত ইলেকট্রন পাওয়া যায়। এজন্য পরিবাহী পদার্থে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলেই তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি পরিবাহী পদার্থ। পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ কম হয়—প্রায় $10^{-8}\ \Omega\text{-m}$ ক্রমের।

(খ) অন্তরক বা অপরিবাহী : অন্তরক পদার্থ বলতে সে সমস্ত পদার্থকে বোঝানো হয় যার ভেতর দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। যে সমস্ত পদার্থের যোজন ব্যান্ড ইলেকট্রন দ্বারা আংশিক পূর্ণ থাকে এবং পরিবহণ ব্যান্ড সম্পূর্ণ খালি থাকে; এছাড়া যোজন ব্যান্ড ও পরিবহণ ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির ব্যবধান খুব বেশি হয়, সেগুলোকে অন্তরক বলে। অন্তরকে শক্তি ব্যবধান 6 eV থেকে 15 eV-এর মতো হয় [চিত্র ১০.৩(খ)]। তাপমাত্রা অনেক বৃদ্ধি পেলে কিছু ইলেকট্রন যথেষ্ট শক্তি সঞ্চয় করে পরিবহণ ব্যান্ডে যেতে পারে এবং তড়িৎ প্রবাহে অংশগ্রহণ করে। তবে এ ধরনের ইলেকট্রনের

সংখ্যা খুবই নগণ্য। কাচ, প্লাস্টিক, কাঠ ইত্যাদি অন্তরক পদার্থ। অপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ অনেক বেশি—প্রায় 10^{12} Ω-m ক্রমের।



চিত্র ১০·৩

(গ) অর্ধপরিবাহী : অপরিবাহী ও পরিবাহীর মাঝামাঝি আপেক্ষিক রোধবিবিষ্ট পদার্থকে অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলে। অর্ধপরিবাহী বস্তুর বিদ্যুৎ পরিবাহিতা অন্তরক ও পরিবাহীর মাঝামাঝি। এদের আপেক্ষিক রোধ 10^{-4} Ω-m ক্রমের। জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদি অর্ধপরিবাহী পদার্থ। শক্তি ব্যান্ডের আলোকে বলা যায় যে এ সমস্ত পদার্থের যোজন ব্যান্ড ও পরিবহণ ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির পার্থক্য অন্তরকের চেয়ে অনেক কম থাকে [চিত্র ১০·৩ (গ)]। সাধারণত পার্থক্য 1 eV মানের বা তার কিছু কম-বেশি হয়। জার্মেনিয়াম ও সিলিকন মৌলের ক্ষেত্রে এই মান যথাক্রমে 0·7 eV এবং 1·1 eV। এই কারণে ওই দুটি পদার্থ উত্তম অর্ধপরিবাহী। কক্ষ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহীর (i) আংশিক পূর্ণ পরিবহণ ব্যান্ড ও (ii) আংশিক পূর্ণ যোজন ব্যান্ড থাকে। পরম তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহীর পরিবহণ ব্যান্ড সম্পূর্ণ খালি এবং যোজন ব্যান্ড সম্পূর্ণ পূর্ণ থাকে। ফলে অর্ধপরিবাহীতে অল্প পরিমাণ শক্তি প্রয়োগ করলেই ইলেকট্রনগুলো যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহণ ব্যান্ডে স্থানান্তরিত হয়। পরম তাপমাত্রায় সিলিকন বা জার্মেনিয়াম আদর্শ অন্তরক। ফলে কোনো ইলেকট্রন পরিবহণ ব্যান্ডে এসে মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে না। মুক্ত ইলেকট্রন না থাকার কারণে অর্ধপরিবাহক এই তাপমাত্রায় পুরোপুরি অপরিবাহী পদার্থের ন্যায় আচরণ করে। অর্ধপরিবাহীতে তাপমাত্রা

চিত্র ১০·৪

প্রয়োগ করলে কিছু সংখ্যক সমযোজী অনুবন্ধক ভেঙ্গে গিয়ে কিছু সংখ্যক যোজন ইলেকট্রন পরিবহণ ব্যান্ডে যাওয়ার শক্তি অর্জন করে এবং মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হয়। একটি যোজন ইলেকট্রন যখনই পরিবহণ ব্যান্ডে প্রবেশ করে তখনই যোজন ব্যান্ডে ওই অবস্থানে একটি শূন্যতার সৃষ্টি হয়, একে **হোল** বলে। এর কার্যকর আধান $+e$। এটি কোনো বাস্তব কণা নয়। চিত্র ১০·৪-এ সিলিকন কেলাসের পরম তাপমাত্রা ও কক্ষ তাপমাত্রার শক্তি ব্যান্ড অবস্থা দেখানো হয়েছে।

অর্ধপরিবাহীর বৈশিষ্ট্য :

১। এর আপেক্ষিক রোধ 10^{-4} Ω ক্রমের।
২। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না।
৩। পরম শূন্য তাপমাত্রায় (0K) এরা অপরিবাহী।
৪। এদের পরিবহন ও যোজনব্যান্ডের মধ্যে শক্তি পার্থক্য 1·1 eV এর কম।
৫। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পাল্লা পানির রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়।
৬। তাপমাতা শক্তির সাথে এর তড়িৎ পরিবাহীতা বৃদ্ধি পায়।

জানা দরকার : ১। সাধারণ তাপমাত্রায় উত্তম পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রন ঘনত্ব, $n = 10^{28}m^{-3}$ (প্রায়)
২। সাধারণ তাপমাত্রায় অন্তরক পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন ঘনত্ব, $n = 10^{7}m^{-3}$ (প্রায়)
৩। সাধারণ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহী পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন ঘনত্ব, $n = 10^{16}m^{-3}$ (প্রায়)

১০·৩ ইনট্রিনসিক (স্বকীয় বা বিশুদ্ধ) ও এক্সট্রিনসিক (বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ) সেমিকন্ডাক্টর
Intrinsic and extrinsic semiconductors

অর্ধপরিবাহী পদার্থেকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—

(ক) ইনট্রিন্সিক (Intrinsic) সেমিকন্ডাক্টর বা স্বকীয় বা বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (খ) এক্সট্রিন্সিক (Extrinsic) সেমিকন্ডাক্টর বা বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী।

(ক) ইনট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর : পূর্বেই বলা হয়েছে যে জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের বাইরের কক্ষে 4টি যোজন ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও প্রতিবেশী পরমাণুর সঙ্গে ইলেকট্রন ভাগাভাগি করে সমযোজী বন্ধনের সাহায্যে বিশুদ্ধ কেলাস (Intrinsic crystal) গঠন করে। এগুলোকে বলে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী। নিম্ন তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন না থাকায় এরা অন্তরকের ন্যায় আচরণ করে। অর্থাৎ **যেসব অর্ধপরিবাহীতে কোনো অপদ্রব্য মিশ্রিত থাকে না তাকে ইনট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর বলে।**

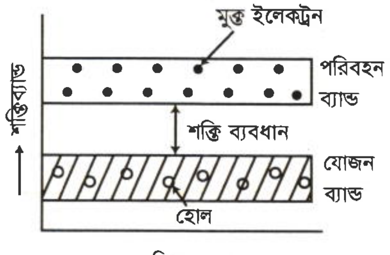
(খ) এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে কিছু কিছু সমযোজী বন্ধন থেকে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। সাধারণ তাপমাত্রায়ও তাপীয় আলোড়নের ফলে এগুলো যথেষ্ট পরিমাণ শক্তি অর্জন করে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহণ ব্যান্ডে চলে যেতে পারে এবং মুক্ত ইলেকট্রনের ন্যায় আচরণ করে। তবে সাধারণ তাপমাত্রায় এ ধরনের ইলেকট্রন বাহকের সংখ্যা খুবই কম। কিন্তু বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে যদি খুবই সামান্য পরিমাণ বিশেষ ধরনের অপদ্রব্য মেশানো হয় তাহলে প্রচুর পরিমাণে তড়িৎ বাহক পাওয়া যায়। এ মিশ্রণকে ডোপিং বলা হয়। এ ধরনের কেলাসকে বলা হয় বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ কেলাস (Extrinsic crystal)। জার্মেনিয়াম, সিলিকন কেলাসে, এন্টিমনি, অ্যালুমিনিয়াম, আর্সেনিক ইত্যাদি অপদ্রব্য মিশিয়ে ডোপিং করা হয়। যোজন ব্যান্ড এবং পরিবহণ ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি ব্যবধান অনেক কমে আসে। ফলে কেলাসে আধান বাহকের সংখ্যা অনেক বেড়ে যায়। এ ধরনের কেলাসের পরিবাহিতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ **যে প্রক্রিয়া বা পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে সামান্য পরিমাণ অপদ্রব্য মিশ্রিত করে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বহুল পরিমাণে বৃদ্ধি করা হয়, তাকে ডোপিং বলে। মিশ্রিত অপদ্রব্যকে বলা হয় ডোপ্যান্ট (Dopant)।** ত্রিযোজী মৌল যেমন অ্যালুমিনিয়াম (Al), বোরন (B), ইন্ডিয়াম (In), গ্যালিয়াম (Gi) অথবা পঞ্চযোজী মৌল যেমন ফসফরাস (P), আর্সেনিক (As), অ্যান্টিমনি (Sb), বিসমাথ (Bi)-কে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে ডোপিং করে এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর তৈরি করা হয়। এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর দুই ধরনের (i) *p*-টাইপ (ii) *n*-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর।

কাজ: একটি অবিশুদ্ধ (extrinsic) অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা কীসের ওপর নির্ভর করে ?

একটি অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে অসম সংখ্যক ইলেকট্রন ও হোলের ওপর তড়িৎ পরিবাহিতা নির্ভর করে।

১০·৪ ইলেকট্রন ও হোল সম্পর্কে ধারণা
Concept about electron and hole

আমরা সহজাত (Intrinsic) এবং বহির্জাত (Extrinsic) অর্ধপরিবাহী কী তা জেনেছি পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে। অর্ধপরিবাহীতে কীভাবে ইলেকট্রন ও হোল সৃষ্টি হয় এ পর্যায়ে আমরা তা আলোচনা করব। কক্ষ তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে হোল ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি হয়। যখন অর্ধপরিবাহীতে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তখন এর মধ্যে দুভাবে কারেন্ট প্রবাহ সম্পন্ন হয়। যেমন মুক্ত ইলেকট্রনের মাধ্যমে ও হোলের মাধ্যমে। যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় তখন তাপশক্তির কারণে কিছু সংখ্যক সমযোজী বন্ধন ভেঙে যায় এবং কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কিছু সংখ্যক যোজন ইলেকট্রন পরিবহণ ব্যান্ডে প্রবেশ করে এবং মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হয়। যখনই একটি যোজন ইলেকট্রন পরিবহণ ব্যান্ডে প্রবেশ করে তখনই যোজন ব্যান্ডে একটি শূন্যস্থান বা হোলের সৃষ্টি হয়। বিভব পার্থক্য বা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের প্রভাবে অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোল উভয়ের প্রবাহ উৎপন্ন হয়।



চিত্র ১০·৫

আমাদের সবচেয়ে পরিচিত বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী হলো জার্মেনিয়াম (Ge) ও সিলিকন (Si)। এদের যোজন ও পরিবহণ ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধান 0·72 *eV* এবং 1·1 *eV*। কক্ষ তাপমাত্রায় কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন এই ক্ষুদ্র শক্তি ব্যবধান অতিক্রম করে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহণ ব্যান্ডে গমন করে। ফলে যোজন ব্যান্ড ও পরিবহণ ব্যান্ডে সমসংখ্যক হোল ও ইলেকট্রনের উদ্ভব ঘটে [চিত্র ১০·৫]। এই ঘটনাকে হোল-ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি বলে।

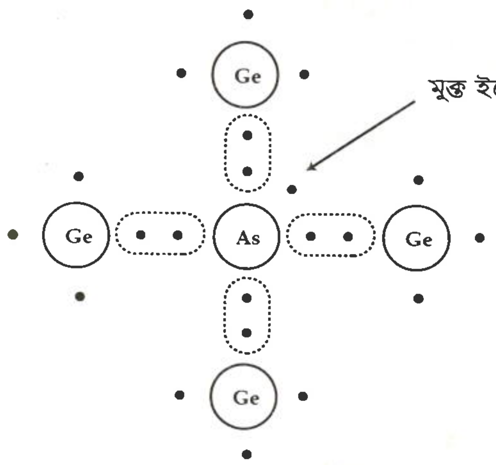
অন্যভাবে বলা যায় পরিবহণ ব্যান্ডে ইলেকট্রনের গমনের কারণে যোজন ব্যান্ডে সৃষ্টি হয় পজেটিভ চার্জযুক্ত হোল। পরম শূন্য তাপমাত্রার উপরে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলে পরিবহণ ইলেকট্রন অ্যানোডের দিকে এবং হোলগুলো ক্যাথোডের দিকে ধাবিত হয়। তাই বলা যায় অর্ধপরিবাহী প্রবাহ হলো পরিবহণ ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে যথাক্রমে ইলেকট্রন ও হোলের পরস্পরের বিপরীত দিকে চালিত হওয়া।

১০·৫ এন-টাইপ ও পি-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী
n-type and *p*-type semiconductors

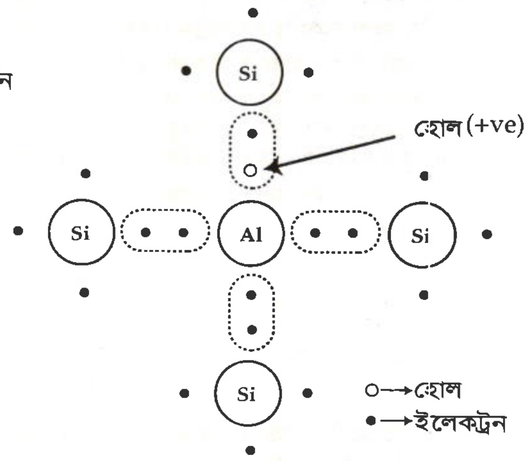
অবিশুদ্ধ কেলাস বা অর্ধপরিবাহী পদার্থ আবার দুই রকমের, যথা *n*-টাইপ ও *p*-টাইপ। Negative শব্দের আদ্যক্ষর '*n*' থেকে *n*-type এবং Positive এর '*p*' থেকে *p*-type অর্ধপরিবাহীর নামকরণ করা হয়েছে।

(i) এন-টাইপ অর্ধপরিবাহী : জার্মেনিয়াম বা সিলিকন অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে পঞ্চযোজী মৌল মিশিয়ে *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহী তৈরি করা হয়। পঞ্চযোজী এন্টিমনি বা আর্সেনিক বিশেষ প্রক্রিয়ায় উচ্চতাপে মেশানো হয়। মেশানোর সময় অপদ্রব্যের পরিমাণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন এর পরমাণুগুলো জার্মেনিয়াম বা সিলিকন কেলাসের মূল কাঠামোর (structure) কোনো পরিবর্তন না ঘটিয়ে কেলাস জাফরির (crystal lattice) অন্তর্ভুক্ত হয়ে যায়। এন্টিমনি বা আর্সেনিকের 5টি যোজন ইলেকট্রনের 4টি জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের 4টি যোজন (valence) ইলেকট্রনের অংশীদার হয়ে বা পাশাপাশি অবস্থানের মাধ্যমে সমযোজী বন্ধন তৈরি করে। প্রতিটি আর্সেনিক বা এন্টিমনি পরমাণুর একটি ইলেকট্রন উদ্বৃত্ত থাকে এবং ওই ইলেকট্রন কেলাসের মধ্যে স্বাধীনভাবে ঘুরে বেড়াতে পারে [চিত্র ১০·৬]। সুতরাং দেখা যাচ্ছে প্রতিটি অপদ্রব্য পরমাণু একটি করে মুক্ত ইলেকট্রন দান করে। তাই অপদ্রব্য পরমাণুকে এক্ষেত্রে দাতা (donor) পরমাণু বলা হয়। এছাড়া তাপীয় উত্তেজনার জন্য কিছু বন্ধন ভেঙে সমসংখ্যক ইলেকট্রন ও হোল তৈরি হয়। সুতরাং *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোল উভয়েরই উপস্থিতি থাকে। কিন্তু ইলেকট্রনের সংখ্যা হোলের তুলনায় বহুগুণ বেশি থাকে। এভাবে গঠিত কেলাসে প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে প্রায় 10^{17} সংখ্যক স্বাধীন ইলেকট্রন থাকে। তড়িৎ পরিবহণ ঋণাত্মক ইলেকট্রনই মুখ্য ভূমিকা পালন করে বলে এগুলোকে 'সংখ্যাগুরু বা গরিষ্ঠ বাহক' (majority carrier) বলে। ধনাত্মক হোল তড়িৎ পরিবহণে গৌণ ভূমিকা পালন করে এবং এগুলোকে 'সংখ্যালঘু বা লঘিষ্ঠ বাহক' (minority carrier) বলা হয়।

(ii) পি-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের সঙ্গে 3 যোজী মৌল যেমন গ্যালিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি অপদ্রব্য সামান্য পরিমাণে নিয়ন্ত্রিতভাবে মেশানো হলে *p*-টাইপ কেলাস তৈরি করা যায়। অ্যালুমিনিয়ামের যেহেতু তিনটি যোজনী ইলেকট্রন রয়েছে, এই পরমাণু তার চারপাশের জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুর তিনটি যোজন (valence) ইলেকট্রনের সঙ্গে সমযোজী বন্ধন তৈরি করে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুর চতুর্থ ইলেকট্রন কোনো সমযোজী বন্ধন তৈরি করে না। কারণ অ্যালুমিনিয়ামের একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি রয়েছে। ইলেকট্রনের এ ঘাটতির জন্য অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুতে একটি হোলের সৃষ্টি হবে [চিত্র ১০·৭]। সুতরাং কেলাস জাফরির (crystal lattice) মধ্যে প্রত্যেক অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুতে একটি করে হোলের



চিত্র ১০·৬ : *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহী।



চিত্র ১০·৭ : *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহী।

সৃষ্টি হবে এবং এভাবে সৃষ্ট হোলগুলো ইলেকট্রন গ্রহণে উদগ্রীব থাকবে। এজন্য অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুকে 'গ্রহীতা' (Acceptor) পরমাণু বলা হয়। ধনাত্মক তড়িৎধর্মী হোলের সংখ্যা তাপীয় উত্তেজনায় সৃষ্ট ইলেকট্রনের তুলনায় অনেক গুণ বেশি থাকে। সুতরাং *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িতাধানই মুখ্য ভূমিকা পালন করে। অর্থাৎ হোলই এক্ষেত্রে 'সংখ্যাগুরু বাহক' (majority carrier) এবং ইলেকট্রন 'সংখ্যালঘু বাহক' (minority carrier)।

ওপরের n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর আলোচনা থেকে জানা যায় যে বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকন অর্ধপরিবাহী কোন ধরনের কেলাসে পরিণত হবে তা নির্ভর করবে অপদ্রব্যের যোজন ইলেকট্রন সংখ্যার ওপর। **বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর যোজন ইলেকট্রনের চেয়ে অপদ্রব্যের যোজন ইলেকট্রন সংখ্যা বেশি হলে n-টাইপ কেলাস এবং কম হলে p-টাইপ কেলাস তৈরি হবে।** তবে n-টাইপ বা p-টাইপ কেলাসের কোনোটাই কিন্তু তড়িতাহিত হয় না। কারণ n-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত ইলেকট্রনের ঋণাত্মক আধান আর্সেনিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধান দ্বারা প্রশমিত হয়। আবার p-টাইপের সৃষ্ট হোলের ধনাত্মক আধান জার্মেনিয়াম, সিলিকন পরমাণুর ঋণাত্মক আধানের দ্বারা নিষ্ক্রিয় হয়। অর্থাৎ, n- এবং p-টাইপ পদার্থ বস্তুতপক্ষে তড়িৎ নিরপেক্ষ। অর্থাৎ ডোপিং-এর ফলে অর্ধপরিবাহী তড়িৎ নিরপেক্ষ হয়।

কাজ : সমান রোধের দুটি দণ্ড তোমাকে দেওয়া হলো। এর একটি অর্ধপরিবাহী এবং অপরটি পরিবাহী। পরীক্ষা দ্বারা কীভাবে তুমি চিহ্নিত করতে পারবে ?

আমরা জানি, তাপমাত্রা বাড়ালে পরিবাহীর রোধ বাড়ে এবং অর্ধপরিবাহীর রোধ কমে। সুতরাং, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে দণ্ড দুটিকে পরপর একই তড়িৎ উৎসের সঙ্গে যুক্ত করলে যেটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি হবে সেটি অর্ধপরিবাহী দণ্ড এবং অন্যটি পরিবাহী দণ্ড হিসেবে চিহ্নিত হবে।

ভর ক্রিয়া সূত্র
Law of mass action

n-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন সংখ্যাগুরু বাহক এবং হোল সংখ্যালঘু বাহক অন্যদিকে p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে হোল সংখ্যাগুরু বাহক এবং ইলেকট্রন সংখ্যালঘু বাহক। অতএব এক্সট্রিন্সিক পরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোলের ঘনত্ব সমান হয় না অর্থাৎ $n \neq p$।

একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে সংখ্যাগুরুর সংখ্যা ডোপিং এর দ্বারা যত বাড়তে থাকে অবশিষ্ট ইলেকট্রনের সাথে পুনঃসংযোগের ফলে হোলের বিনাশ ঘটে। অতএব, ইলেকট্রন ঘনত্ব (n)-এর বৃদ্ধির ফলে হোলের ঘনত্ব (p) ধীরে ধীরে হ্রাস পেতে থাকে। অনুরূপভাবে, p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে p-এর বৃদ্ধির সাথে সাথে n কমতে থাকে। উভয়ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থার শর্ত হলো, $np = n_i^2$ ... ... (10.1)

এখানে n_i হলো ইনট্রিন্সিক অর্ধপরিবাহীর ইলেকট্রন-হোল জোড়ার ঘনত্ব।

সমীকরণ (10.1) **ভর ক্রিয়া সূত্র নামে** পরিচিত।

সুতরাং, ভর ক্রিয়া সূত্র নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

সংজ্ঞা : তাপীয় সাম্যাবস্থায় মুক্ত ইলেকট্রন ঘনত্ব (n) এবং মুক্ত হোলের ঘনত্বের (p) গুণফল ধ্রুবক। এই ধ্রুবক ইনট্রিন্সিক অর্ধপরিবাহীর বাহক ঘনত্বের (n_i) বর্গের সমান।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১

১। একটি অর্ধপরিবাহীতে $3 \times 10^8\ m^{-3}$ ঘনত্বের সম সংখ্যক ইলেকট্রন হোল রয়েছে। বিশেষ ধরনের অপদ্রব্য মিশ্রণের ফলে অর্ধপরিবাহীর ইলেকট্রন ঘনত্ব বৃদ্ধি পেয়ে $6 \times 10^{12}\ m^{-3}$ হয়।

(ক) ডোপিং-এর ফলে কী ধরনের অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়?

(খ) অর্ধপরিবাহীর নতুন হোল ঘনত্ব নির্ণয় কর।

(ক) ডোপিং-এর ফলে যেহেতু সংখ্যাগুরু বাহক হিসেবে ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় অতএব n-টাইপ অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়।

এখানে,
$n = p = n_i = 3 \times 10^8\ m^{-3}$

(খ) n-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রনের ঘনত্ব $n = 6 \times 10^{12}\ m^{-3}$

আমরা জানি,

$$np = n_i^2$$

সুতরাং নতুন হোল ঘনত্ব,

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(2 \times 10^8)^2}{6 \times 10^{12}} = \frac{9 \times 10^{16}}{6 \times 10^{12}} = 1{\cdot}5 \times 10^4\ m^{-3}$$

১০.৬ জাংশন ডায়োড : গঠন ও কার্যক্রম
Junction diode : construction and working principle

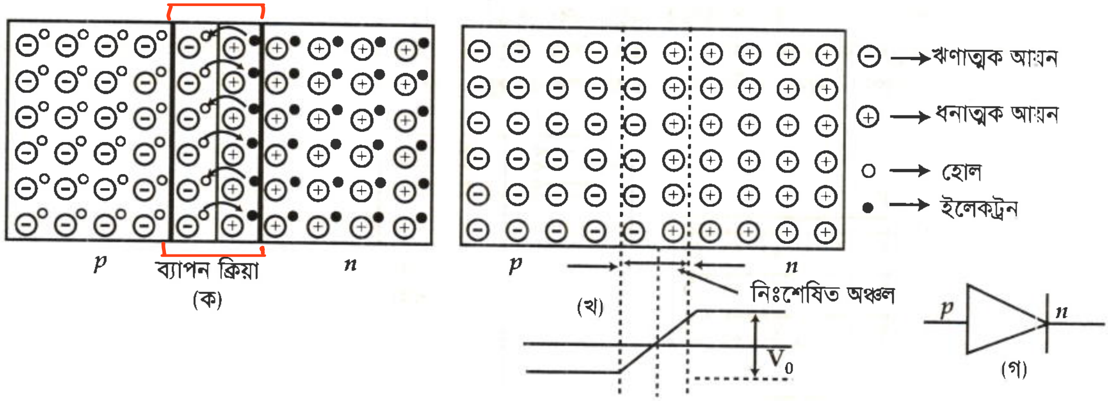
১০.৬.১ গঠন
Construction

একটি p-টাইপ ও একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে বিশেষ ব্যবস্থাধীনে সংযুক্ত করলে সংযোগ পৃষ্ঠকে p-n জাংশন বলে। একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী কেলাসের এক অর্ধাংশ p-টাইপ অর্ধপরিবাহী এবং অপর অর্ধাংশকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী উচ্চতাপে সুনিয়ন্ত্রিত পদ্ধতিতে মিশিয়ে p-n জাংশন তৈরি করা হয়।

RMDAC

p-n জাংশনের যে পাশে p-টাইপ অঞ্চল সেখানে সংখ্যাগুরু বাহক হোল এবং যে পাশে n-টাইপ অঞ্চল সেখানে ইলেকট্রনের আধিক্য অনেক বেশি। যখন n-টাইপ অঞ্চল এবং p-টাইপ অঞ্চল যুক্ত হয় তখন n-এর ইলেকট্রনগুলো p-এর হোল দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে ব্যাপন ক্রিয়ার মাধ্যমে জাংশনের দিকে ছুটে যায়। একইভাবে p-অঞ্চলের হোলগুলো n-এর ইলেকট্রন দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে ব্যাপনের মাধ্যমে সংযোগস্থলের দিকে ছুটে যায় [চিত্র ১০.৮(ক)]। p-n জাংশনস্থলে ইলেকট্রন ও হোল পরমাণু মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ হয়ে যায়। n-টাইপের যে পরমাণু থেকে ইলেকট্রন জাংশনের দিকে ছুটে যায় সেটি ধনাত্মক আয়নে এবং p-অঞ্চলের যে পরমাণু থেকে হোল ছুটে আসে সেটি ঋণাত্মক আয়নে রূপান্তরিত হয় [চিত্র ১০.৮ (খ)]। p–n জাংশন ডায়োডের সাংকেতিক চিত্র ১০.৮(গ)-এ দেখানো হলো।

এখন p-অঞ্চল থেকে ছুটে আসা হোল ধনাত্মক আয়ন এবং n-অঞ্চল থেকে আসা ইলেকট্রন ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা বিকর্ষিত হয়। এভাবে সংযোগস্থলে একটি পাতলা পর্দার মতো নিঃশেষিত অঞ্চল বা স্তর সৃষ্টি হয়। এ অঞ্চল বা স্তরের বেধ সাধারণত 10^{-6} m থেকে 10^{-8} m হয়। **p–n সংযোগের দুই পাশে যে সরু স্তর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানকে পৃথক করে রাখে, যেখানে গতিশীল আধান নিঃশেষ হয়ে যায় এবং কোনো গতিশীল আধান বাহকের অস্তিত্ব থাকে না, ওই স্তর বা অঞ্চলকে বলা হয় নিঃশেষিত স্তর বা অঞ্চল** (Depletion layer or region)। চিত্র ১০.৮-এ ব্যাপন ক্রিয়া এবং নিঃশেষিত অঞ্চল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.৮

এই নিঃশেষিত অঞ্চলকে জাংশন প্রাচীর (Junction barrier) বলা হয়। এই জাংশনে সামান্য পরিমাণ অভ্যন্তরীণ বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। ফলে এই অঞ্চলকে অনেক সময় বিভব পার্থক্য অঞ্চল বা বিভব পার্থক্য প্রাচীর বলে। এর মান সাধারণত 0.1 থেকে 0.3 V। Si-এর জন্য 0.6 V – 0.7 V এবং Ge-এর জন্য 0.2 V – 0.3 V হয়। চিত্র ১০.৮(খ) থেকে এটা পরিষ্কার যে বিভব পার্থক্য প্রাচীর V_0 বিদ্যুৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যা সংখ্যাগুরু বাহককে নিজ নিজ অঞ্চল থেকে প্রাচীর অতিক্রমে বাধা প্রদান করে। p-n অর্ধপরিবাহী কেলাস এভাবে সংযুক্ত হয়ে 'জাংশন ডায়োড' (সংক্ষেপে 'ডায়োড') তৈরি করে। তড়িৎ প্রবাহ একমুখীকরণ এবং অন্যান্য অনেক ইলেকট্রনিক ডিভাইস তৈরিতে ডায়োড বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

জাংশনের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ কোনো একদিকে খুব সহজেই যেতে পারে। কিন্তু উচ্চতর বহিঃভোল্টেজ প্রয়োগ ছাড়া বিপরীত দিকে যেতে পারে না। এ বিষয়ে পরবর্তীতে আমরা জানব।

জেনে রাখ : ডায়োড কি কেবল রেকটিফায়ার বর্তনীতে বা AC কে DC করার কাজে ব্যবহৃত হয় না অন্য কোথাও ব্যবহার করা হয় ?

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে টিভি, টেলিফোন, কম্পিউটার, মোবাইল ফোন ইত্যাদি স্বাভাবিক ব্যবহারিক উপাদানে ডায়োড ব্যবহৃত হয়। এছাড়া AC কে DC করাসহ বেতার ও টিভির মধ্যে সিগন্যাল ডিটেক্টর হিসেবে ডায়োড ব্যবহৃত হয়।

[MAT-20-21]

কাজ : ডোপিং করলে অর্ধপরিবাহীর পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় কেন ?

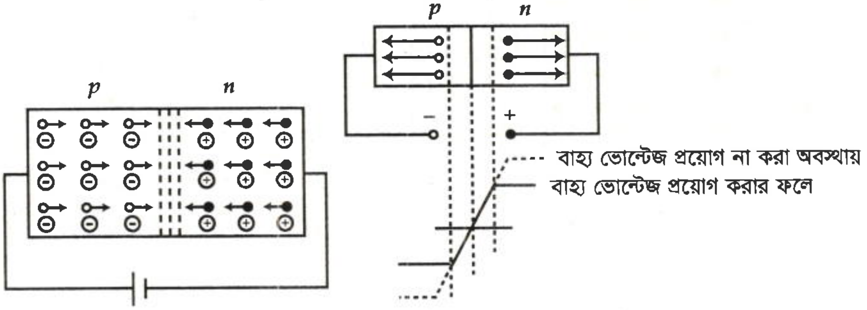
বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে সুবিধাজনক অপদ্রব্য অতি সামান্য পরিমাণে নিয়ন্ত্রিতভাবে মেশানোর প্রক্রিয়াকে ডোপিং বলে। ডোপিং এর ফলে অর্ধপরিবাহীর পরিবহণ ধর্ম বেড়ে যায়। কারণ অর্ধপরিবাহী কেলাসে তখন মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা বা হোল সংখ্যা অনেক বৃদ্ধি পায়।

১০.৬.২ কার্যক্রম
Working process

বাইরে থেকে p-n-জাংশন বরাবর দুভাবে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা যেতে পারে। যথা—সম্মুখবর্তী ঝোঁক বা ফরোয়ার্ড বায়াস ও বিপরীত ঝোঁক বা রিভার্স বায়াস প্রয়োগ।

ক. সম্মুখবর্তী ঝোঁক বা ফরোয়ার্ড বায়াস প্রয়োগ

যখন জাংশনে এমনভাবে বহিঃস্থ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয় যাতে এটি বিভব প্রাচীর হ্রাস করে তড়িৎ প্রবাহ চালু করে তখন একে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ (forward biasing) বুঝায়। সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগের ক্ষেত্রে ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপের প্রান্তের সঙ্গে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত n-টাইপ প্রান্তের সঙ্গে সংযোগ দেয়া হয়। চিত্র ১০.৯(ক) ও ১০.৯(খ)-এ সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ এবং এর ফলে বিভব প্রাচীরের হ্রাস দেখানো হয়েছে। প্রযুক্ত সম্মুখবর্তী বিভব বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যা বিভব প্রাচীরের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের বিপরীতে কাজ করে। সুতরাং লব্ধি ক্ষেত্র কমে যায় এবং প্রাচীরের উচ্চতা বা বিস্তার হ্রাস পায়। যেহেতু বিভব প্রাচীর ভোল্টেজের মান খুবই কম (0.1 থেকে 0.3 V), সুতরাং সামান্য সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে বিভব প্রাচীরের প্রশস্ততা হ্রাস পায়। ফলে জাংশনে বাধা দূরীভূত হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয়। সম্মুখ ঝোঁকে ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপ বস্তুর সাথে যুক্ত হওয়ায় ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত ইলেকট্রনগুলোকে বামে অর্থাৎ p-টাইপ বস্তুর দিকে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত n-টাইপের সাথে সংযুক্ত হওয়ায় ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত হোলগুলোকে ডানে অর্থাৎ n-টাইপ বস্তুর দিকে টানবে। ইলেকট্রন ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে p-টাইপের দিকে ধাবিত হয়। একইভাবে ধনাত্মক হোল (hole) ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত দ্বারা বিকর্ষিত



(ক) (খ)

চিত্র ১০.৯

হয়ে জাংশন অতিক্রম করে n-টাইপ বস্তুর দিকে ধাবিত হয়। জাংশনে ইলেকট্রন হোল পূর্ণ হয়। ইতোমধ্যে ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত n-টাইপ অর্ধ পরিবাহীতে ইলেকট্রনের নতুন সরবরাহ প্রদান করতে থাকে এবং ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপ অর্ধপরিবাহী হতে ইলেকট্রন টেনে নিয়ে নতুন হোল তৈরি করে। ফলে অবিরাম চার্জ তথা বিদ্যুৎ প্রবাহ চলতে থাকে। এই প্রবাহের মান mA মানের হয়। এই তড়িৎ প্রবাহকে 'সম্মুখবর্তী তড়িৎ প্রবাহ' (Forward current) বলে।

অনুসন্ধান I : সম্মুখ বায়াসের সময় নিঃশেষিত অঞ্চলে কী ঘটে?

যখন সংযোগটি সম্মুখ বায়াসে থাকে তখন আধান বাহকদের সংখ্যাগুরু অঞ্চল থেকে সংখ্যালঘু অঞ্চলে ব্যাপন হয়—ইলেকট্রন হোলের দিকে ব্যাপিত হয়। সুতরাং হোল ও ইলেকট্রনগুলো নিঃশেষিত অঞ্চলের কাছাকাছি কোথাও মিলিত হয়। ফলে নিঃশেষিত অঞ্চল ক্ষীণ হতে থাকে ও নী-ভোল্টেজের (Knee voltage) বেশি ভোল্টেজের অঞ্চলে প্রায় নিঃশেষিত হয়ে যায়।

সম্মুখবর্তী বায়াসের বৈশিষ্ট্য

১। জাংশন ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয় প্রকার সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়; কিন্তু বহিঃবর্তনীতে কেবলমাত্র ইলেকট্রন দ্বারা প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

২। সম্মুখবর্তী বায়াস প্রয়োগে সাধারণত কয়েক মিলি-অ্যাম্পিয়ারের তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়।

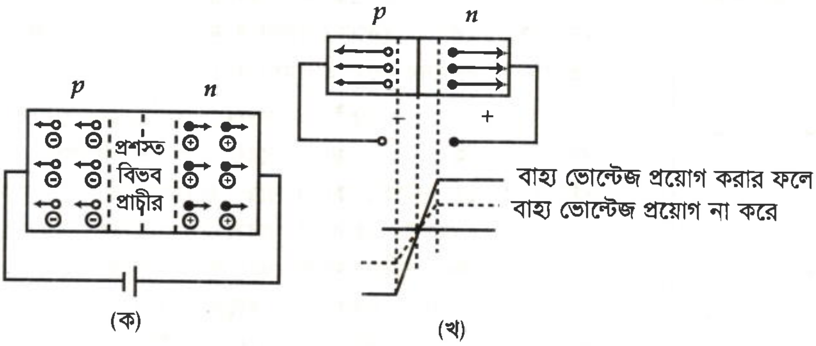
৩। প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

৪। প্রবাহমাত্রা এবং প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের লেখচিত্র অঙ্কন করলে সরলরেখা পাওয়া যায় না।

৫। সম্মুখবর্তী বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ ক্রমশ হ্রাস পায়।

খ. বিপরীত ঝোঁক বা রিভার্স বায়াস প্রয়োগ

এক্ষেত্রে বাহ্য ভোল্টেজ এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যাতে বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বা প্রশস্থতা বৃদ্ধি পায়। এ ধরনের ঝোঁক প্রয়োগকে বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ (reverse biasing) বলে। বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগের জন্য ব্যাটারির



চিত্র ১০.১০

ঋণাত্মক প্রান্ত p-টাইপ প্রান্তের সঙ্গে এবং ধনাত্মক প্রান্ত n-টাইপ প্রান্তের সঙ্গে সংযোগ দেয়া হয়। প্রযুক্ত বিপরীত ভোল্টেজের জন্য সৃষ্ট বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বিভব প্রাচীরের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের দিকে কাজ করে। ফলে জাংশনে লব্ধি ক্ষেত্র বৃদ্ধি পায় এবং বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বেড়ে যায়। চিত্র ১০.১০-এ বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ ও বিভব প্রাচীর বৃদ্ধি দেখানো হয়েছে। বিভব প্রাচীর বৃদ্ধির ফলে বাহকের চলাচলে বাধা বা রোধ অনেক বেড়ে যায় এবং বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ হয় না।

বিপরীত ঝোঁকে ব্যাটারি n-টাইপের ইলেকট্রনকে এবং p-টাইপের হোলকে আকর্ষণের জন্য জাংশন থেকে দূরে সরিয়ে নেয়। ফলে জাংশনের প্রশস্ততা বৃদ্ধি পায় এবং জাংশন বরাবর বিভব বৃদ্ধি পেতে থাকে। এই বৃদ্ধি অব্যাহত থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না জাংশনের এবং ব্যাটারির বিভব সমান হয়। বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ করলে জাংশনের ভেতর দিয়ে খুব সামান্য পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এ প্রবাহের কারণ হলো যে n-টাইপ ও p-টাইপে যথাক্রমে কিছু পরিমাণ হোল ও ইলেকট্রন থাকে। ওই সমস্ত ইলেকট্রন ও হোলের প্রবাহ সামান্য পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। এই প্রবাহের মান সাধারণত μA মানের হয়। এই তড়িৎ প্রবাহকে বিপরীতবর্তী তড়িৎ প্রবাহ (Reverse current) বলে।

কাজ : p–n জাংশনে বিপরীত ঝোঁকে প্রবাহ পাওয়া যায় না কেন ?

বিপরীতমুখী ঝোঁকে ব্যাটারি n-টাইপের ইলেকট্রনকে এবং p-টাইপের হোলকে আকর্ষণ করে জাংশন থেকে দূরে সরিয়ে দেয়। ফলে জাংশনের প্রশস্ততা বৃদ্ধি পায়। এই বৃদ্ধি অব্যাহত থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না জাংশন ও ব্যাটারির বিভব শূন্য হয়। এই প্রশস্ত বিভব প্রাচীরের জন্য বিপরীতমুখী ঝোঁকে কোনো প্রবাহ পাওয়া যায় না।

অনুসন্ধান II : বিপরীত বায়াসের সময় নিঃশেষিত অঞ্চলে কী ঘটে ?

যখন সংযোগটি বিপরীত বায়াসে থাকে তখন চার্জ বাহকদের ব্যাপন বন্ধ হয়। তাই নিঃশেষিত অঞ্চল প্রসারিত হয়। ইলেকট্রন ও হোলের চলাচলের মুখ্য প্রক্রিয়া প্রবাহ স্রোতও পরস্পর প্রায় বিলীন হয়।

বিপরীত বায়াসের বৈশিষ্ট্য

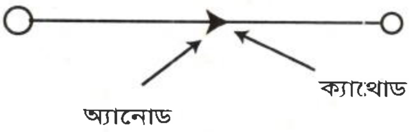
১। জাংশন ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয় ধরনের সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়; কিন্তু বহিঃ-বর্তনীতে কেবলমাত্র ইলেকট্রনের দ্বারা প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

২। বিপরীত বায়াসে সাধারণত কয়েক মাইক্রো-অ্যাম্পিয়ারের তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়।

৩। প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বৃদ্ধি করলে প্রবাহমাত্রায় উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না।

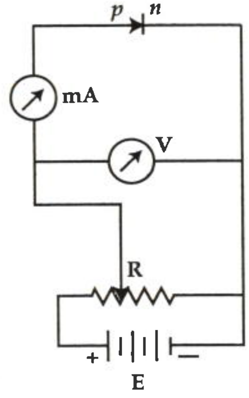
৪। বিপরীত বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়।

উপরের আলোচনা থেকে বুঝা যাচ্ছে যে p–n জাংশন একটি একমুখী যন্ত্র (device) যা একদিকে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। চিত্র ১০.১১-এ একটি অর্ধপরিবাহী বা জাংশন ডায়োডের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে। ডায়োডের p-টাইপ অঞ্চলকে বলা হয় অ্যানোড এবং n-টাইপ অঞ্চলকে বলা হয় ক্যাথোড। চিত্রে ত্রিভুজ সম্মুখ ঝোঁক প্রয়োগে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে।



চিত্র ১০.১১

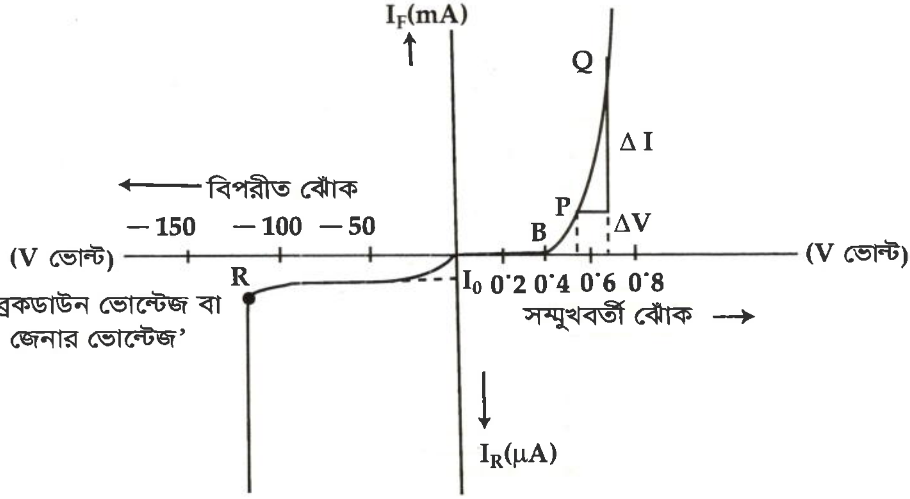
১০·৭ জাংশন ডায়োডের V—I বৈশিষ্ট্য লেখ
V—I characteristic curve of junction diode



চিত্র ১০.১২

p-n জাংশনকে কোনো বর্তনীর অংশ হিসেবে ব্যবহারের জন্য এর সম্মুখবর্তী ও বিপরীত ঝোঁক বৈশিষ্ট্য জানা দরকার। অর্থাৎ সম্মুখবর্তী বা বিপরীত ভোল্টেজ পরিবর্তনের সঙ্গে এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহেরও পরিবর্তন ঘটে।

চিত্র ১০.১২-এ একটি p-n জাংশন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁকে দেখানো হয়েছে। বর্তনীতে অ্যামিটার A ডায়োড কারেন্ট এবং ভোল্টমিটার V ডায়োড ভোল্টেজ পরিমাপের জন্য ব্যবহার করা হয়েছে। অ্যামিটারকে সব সময় বর্তনীতে শ্রেণি সংযোগ এবং ভোল্টমিটারকে সমান্তরাল সংযোগ দিতে হয়। ডায়োডে ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য পরিবর্তনশীল রোধ ব্যবহার করা হয়েছে। এখন সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ শূন্য থেকে ধাপে ধাপে বাড়ানো হলে ভোল্টেজ বৃদ্ধির সাথে সাথে বর্তনীতে কারেন্টও বৃদ্ধি পায়। এবার ব্যাটারির সংযোগ উল্টো করে দিলে ডায়োডে বিপরীত ঝোঁক প্রযুক্ত হবে। সম্মুখ ঝোঁকের ন্যায় এক্ষেত্রেও ভোল্টেজ পরিবর্তন করলে কারেন্টেরও পরিবর্তন হবে। সম্মুখবর্তী ঝোঁক এবং বিপরীত ঝোঁকের জন্য ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্র আঁকলে চিত্র ১০.১৩-এর লেখচিত্র পাওয়া যাবে।



চিত্র ১০.১৩

চিত্রে সম্মুখবর্তী V—I বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে নিম্নলিখিত বিষয় লক্ষণীয়—

সম্মুখ ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কারেন্ট বৃদ্ধি পায় না। জার্মেনিয়াম ডায়োডের জন্য 0.3V এবং সিলিকন ডায়োডের জন্য 0.7V পর্যন্ত সম্মুখ কারেন্ট I_F শূন্য থাকে। 0.3V এবং 0.7V হলো যথাক্রমে জার্মেনিয়াম ও সিলিকনের অভ্যন্তরীণ বিভব প্রাচীর ভোল্টেজ V_0। বিভব প্রাচীর অতিক্রম করার জন্য চার্জ বাহকের ন্যূনতম V_0 ভোল্টেজের প্রয়োজন হয়। একে অপারেটিং ভোল্টেজ বলে। চিত্রে B অপারেটিং ভোল্টেজ। এর পর ভোল্টেজ আরও বৃদ্ধি করলে কারেন্ট সূচকীয়ভাবে বাড়ে এবং পরবর্তীতে কিছু সময়ের জন্য ভোল্টেজ কারেন্ট বৃদ্ধি সমানুপাতে হয়। ডায়োডের এই নির্দিষ্ট প্রযুক্ত ভোল্টেজকে সূচন ভোল্টেজ (Threshold voltage) বা কাট-ইন ভোল্টেজ বলে।

(ii) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F এর মান অপারেটিং ভোল্টেজ V_0 অপেক্ষা বৃদ্ধি করা হলে অর্থাৎ $V_F > V_0$ হলে I_F দ্রুত বৃদ্ধি পায়। তাই I_F খাড়াভাবে ওপরে ওঠে। তখন এই V_F-কে নী (Knee) ভোল্টেজ বলে। চিত্রে P বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। এই বৈশিষ্ট্য লেখটি সর্বদা সরলরৈখিক নয়। অর্থাৎ V এবং I পরস্পরের সমানুপাতিক হয় না। সিলিকনের ক্ষেত্রে এই ভোল্টেজ এর মান 0.7 V এবং জার্মেনিয়ামের জন্য এই ভোল্টেজের মান 0.3 V।

(iii) B বিন্দু থেকে P বিন্দু পর্যন্ত প্রবাহ I_F এর মান ভোল্টেজ বৃদ্ধির সাথে সাথে সূচকীয়ভাবে বৃদ্ধি পায়। এজন্য BP অঞ্চলকে সূচকীয় অঞ্চল বলে।

বিপরীত ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) বিপরীত ঝোঁক V_R বৃদ্ধির সঙ্গে বিপরীত কারেন্ট I_R বৃদ্ধি পেয়ে I_0-তে পৌঁছায়। এরপর বিপরীত ভোল্টেজ বাড়ালেও কারেন্ট I_0 স্থির থাকে। I_0 কারেন্টকে 'বিপরীত সম্পৃক্ত কারেন্ট' (reverse saturation current) বা 'ক্ষরণ কারেন্ট' (leakage current) বলে। এই কারেন্ট *p*- এবং *n*-অঞ্চলে স্বল্পসংখ্যক 'সংখ্যালঘু বাহকের' দ্বারা তৈরি হয়। এর মান সাধারণত কয়েক μA। ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যা পরিবর্তন হয় না বলে ভোল্টেজ অনেক বাড়ালেও কারেন্ট স্থির থাকে। এই প্রবাহকে Reverse saturated current বলে। সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে এর মান 1 μA। শুধুমাত্র তাপমাত্রা পরিবর্তন হলে সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যার পরিবর্তন হয়।

(ii) বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে একটি ক্রান্তি (critical) মানে পৌঁছালে দেখা যায় যে বিপরীত কারেন্ট হঠাৎ করে অনেকগুণ বেড়ে যায়। এই সময় *p-n* জাংশনের রোধ সম্পূর্ণরূপে ভেঙ্গে যায় বা জাংশনের বিভব বাধা একেবারে বিলুপ্ত হয়ে গেছে বলে মনে হয়। তাই এই বিশেষ ভোল্টেজকে বলা হয় বিনাশী বোল্টেজ বা 'ব্রেকডাউন ভোল্টেজ' (breakdown voltage)। চিত্রে R বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজে পৌঁছে গেলে সাধারণত জাংশন ডায়োডের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয়ে যেতে পারে। এই অবস্থায় ডায়োড পরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে। এই ভোল্টেজকে জেনার ভোল্টেজ বলে। এই ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে। বিজ্ঞানী মি. জেনার এই ক্রিয়া প্রথমে লক্ষ করেন।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : *p–n* জাংশন ডায়োড রিভার্স বায়াসে ভোল্টেজ বৃদ্ধি করার সাথে সাথে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। কিন্তু ক্রমাগত ভোল্টেজ বৃদ্ধি করা হলে দেখা যায় হঠাৎ করে এক পর্যায়ে প্রবাহের মান দ্রুত বৃদ্ধি পায়। এক্ষেত্রে ডায়াডে কী ঘটে—ব্যাখ্যা কর।

রিভার্স বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করতে থাকলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সেমিকন্ডাক্টর (*p–n*) ডায়োডের পরমাণু থেকে ইলেকট্রন বেরিয়ে আসে। এ পর্যায়ে জাংশনে ইলেকট্রনের ধ্বস নামে ফলে প্রবাহ দ্রুত বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়। রিভার্স কারেন্ট বা প্রবাহ বৃদ্ধির ফলে ডিপলেশন লেয়ার অঞ্চলে বা *p–n* জাংশনের সংযোগস্থলে রোধের পতন ঘটে। এই পর্যায়কে অ্যাভালেন্স ব্রেকডাউন (avalence breakdown) বলে। এ পর্যায়ে ডায়োড তার কার্যকারিতা হারিয়ে ফেলে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজের পর জাংশন সাধারণত স্থায়ীভাবে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়।

আদর্শ ডায়োড : যেসব ডায়োড সম্মুখ ঝোঁকে থাকা কালে একটি নিখুঁত পরিবাহী এবং বিপরীত ঝোঁকে থাকা কালে অন্তরকের ন্যায় আচরণ করে তাকে আদর্শ ডায়োড বলে। সকল ক্ষেত্রে আমরা আদর্শ ডায়োড বিবেচনা করি।

গতীয় রোধ (Dynamic resistance) : *p–n* জাংশনে বহিস্থ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে তড়িৎ প্রবাহে যে প্রতিবন্ধকতা সৃষ্টি হয় তাকে গতীয় রোধ বলে। চিত্র ১০.১৩-এ লক্ষণীয় যে *p–n* জাংশনে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগে সামান্য বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে জাংশনে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অনেক বৃদ্ধি পায়। কিন্তু বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগে বিভব পার্থক্য অনেক বৃদ্ধির জন্যও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধি খুবই সামান্য। সুতরাং বোঝা যাচ্ছে, সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগে জাংশনের রোধ খুবই কম হয়। I—V লেখ বৈশিষ্ট্যের যেকোনো দুটি বিন্দু P ও Q-এ বিভব পার্থক্য ΔV-এর জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহের যে পরিবর্তন ΔI হয়, এর অনুপাতই জাংশনের রোধ। একে জাংশনের **গতীয় রোধ** বলে। সুতরাং

$$\text{গতীয় রোধ, } R = \frac{\Delta V}{\Delta I}\,\Omega \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (10.2)$$

ডায়োডের ক্ষেত্রে বিমুখী রোধের মান সম্মুখী রোধের মানের চেয়ে বহুগুণ বেশি। যেমন Ge এর ক্ষেত্রে বিমুখী ও সম্মুখী রোধের অনুপাত 40000 : 1 এবং Si এর ক্ষেত্রে 1000000 : 1।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.২

১। কোনো *p–n* জাংশনে 0·2 V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 5 mA বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের রোধ বের কর।

[দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$\text{জাংশনের রোধ, } R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$\text{বা, } R = \frac{0{\cdot}2}{5\times10^{-3}} = \frac{0{\cdot}2\times10^{3}}{5}$$

$$= \frac{200}{5} = 40\Omega$$

এখানে,

$\Delta V = 0{\cdot}2$ V

$\Delta I = 5$ mA $= 5\times10^{-3}$ A

$R = ?$

২। একটি ট্রানজিস্টর রেডিও 9V ব্যাটারি দ্বারা 10 mW এ চলে। রেডিওর মধ্যে দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয়? রেডিওর বৈদ্যুতিক রোধ কত? [BUET Admission Test, 2018–19]

আমরা জানি,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{0.01}{9}\ A$$

$$= 1.11 \times 10^{-3}\ A = 1.11\ mA$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{1.11 \times 10^{-3}} = 8108\ \Omega$$

এখানে,

$P = 10\ mW = 0.01\ W$

$V = 9\ volt$

৩। একটি p-n জাংশনে সম্মুখ বায়াস আছে। বিভব পার্থক্য 2.2 V থেকে বাড়িয়ে 2.38 V করলে, বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা 350 mA বৃদ্ধি পেল। জাংশনে গতীয় রোধ কত?

আমরা জানি গতীয় রোধ,

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$\therefore R = \frac{0.16}{350 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{0.16 \times 10^{3}}{350} = 0.457\Omega$$

এখানে,

$\Delta V = 2.38 - 2.2 = 0.16\ volt$

$\Delta I = 350\ mA = 350 \times 10^{-3}\ A$

৪। 1.8 eV শক্তি ব্যবধান সম্পন্ন একটি অর্ধপরিবাহী হতে একটি p-n ফটো ডায়োড তৈরি করা হলো। এটি কী 6000 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য চিনতে পারবে?

আমরা জানি λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের শক্তি,

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{6000 \times 10^{-9}}$$

$$= 0.33 \times 10^{-19}\ J = \frac{0.33 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0.206\ eV$$

এখানে,

$\lambda = 6000\ nm = 6000 \times 10^{-9}\ m$

$E_g = 1.8\ eV$

$c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

$h = 6.63 \times 10^{-34}\ Js$

এখানে অর্ধপরিবাহীর শক্তি ব্যবধান $= 1.8\ eV$। যেহেতু শক্তি ব্যবধান আলোর ফোটনের শক্তি অপেক্ষা বেশি সুতরাং, এটি চিহ্নিত করা যাবে না।

৫। একটি p-n জাংশন ডায়োডের বিভব প্রাচীর 0.5 V। যদি ডিপ্লিশন স্তরের বেধ 5.0×10^{-7} m হয় তবে,

(i) এই অঞ্চলে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য কত হবে?

(ii) একটি ইলেকট্রন n-অঞ্চল হতে $6 \times 10^{5}\ ms^{-1}$ বেগে p–n জাংশনের দিকে ধাবিত হলে p-অঞ্চলে প্রবেশের পর ওই ইলেকট্রনের বেগ কত হবে?

(i) আমরা জানি তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য,

$$E = \frac{V}{d}$$

$$\therefore E = \frac{0.5}{5 \times 10^{-7}} = 1 \times 10^{6}\ Vm^{-1}$$

এখানে,

$V = 0.5\ V$

$d = 5.0 \times 10^{-7}\ m$

(ii) ধরা যাক ডিপ্লিশন অঞ্চলে প্রবেশ করার সময় ইলেকট্রনের বেগ v_1 এবং ডিপ্লিশন অঞ্চল থেকে বের হয়ে আসার সময় ইলেকট্রনের বেগ v_2। ডিপ্লিশন অঞ্চলে বিভব শক্তি বৃদ্ধি ঘটে eV।

এখানে,

$v_1 = 6 \times 10^{5}\ ms^{-1}$

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

$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$v_2 = ?$

এখন শক্তির নিত্যতার সূত্র অনুসারে,

$$\frac{1}{2} m v_1^2 = eV + \frac{1}{2} m v_2^2$$

বা, $\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times (6 \times 10^{5})^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 0.5 + \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v_2^2$

বা, $1.64 \times 10^{-19} = 0.8 \times 10^{-19} + 4.55 \times 10^{-31} \times v_2^2$

বা, $4.55 \times 10^{-31} \times v_2^2 = (1.64 - 0.8) \times 10^{-19} = 0.84 \times 10^{-19}$

বা, $v_2^2 = \dfrac{0.84 \times 10^{-19}}{4.55 \times 10^{-31}} = 18.46 \times 10^{10}$

$\therefore \quad v_2 = \sqrt{18.46 \times 10^{10}} = 4.3 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$

কাজ : হোলের থেকে মুক্ত ইলেকট্রনের শক্তি বেশি থাকে কেন ?

হোলের মাধ্যমে তড়িৎ পরিবহণ হতে হলে ইলেকট্রনকে লাফিয়ে লাফিয়ে চলতে হয়। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনে সীমাবদ্ধ একটি পথ অনুসরণ করতে হয়। কিন্তু মুক্ত ইলেকট্রনের মাধ্যমে তড়িৎ পরিবহনের সময় ইলেকট্রন নিজের খুশিমতো আঁকাবাঁকা পথে চলার সুযোগ পায়। ইলেকট্রনের গতির এ পথ সীমাবদ্ধ নয়। তাই ইলেকট্রনের শক্তি হোলের চেয়ে বেশি থাকে।

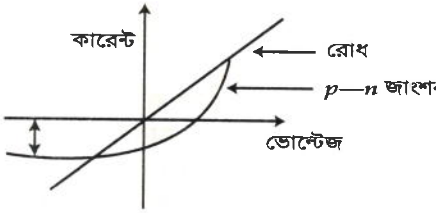
অনুধাবনমূলক কাজ : p–n জাংশনে ডিপ্লেশন লেয়ার চার্জ নিরপেক্ষ কেন ?

একটি p টাইপ ও একটি n টাইপ অর্ধপরিবাহীকে একত্রে যুক্ত করলে p–n জাংশন গঠিত হয়। p অঞ্চলে সংখ্যাগুরু বাহক হোল এবং n অঞ্চলে সংখ্যাগুরু বাহক ইলেকট্রন থাকে। যখন একত্রে সংযুক্ত করা হয় তখন n অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলো p অঞ্চলের হোল দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় জাংশনের দিকে ছুটে যায়। সংযোগস্থলে হোল-ইলেকট্রন একত্রে মিশে গিয়ে চার্জ নিরপেক্ষ হয়। এই কারণে p–n জাংশন ডায়োড-এর ডিপ্লেশন লেয়ার চার্জ নিরপেক্ষ।

তুলনা : একটি রোধের সাথে একটি p–n জাংশনের ভোল্টেজ-কারেন্ট বৈশিষ্ট্য তুলনা কর।

নিচের চিত্রে দুটি বৈশিষ্ট্য দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায়—

(i) সাধারণ রোধ ওহমের সূত্র অনুসরণ করে এবং এর বৈশিষ্ট্যমূলক লেখচিত্র একটি সরল রেখা। কিন্তু p–n জাংশন ওহমের সূত্র অনুসরণ করে না।



(ii) একটি সাধারণ রোধের মধ্য দিয়ে যেকোনো দিকে কারেন্ট প্রবাহিত হতে পারে। কিন্তু p–n জাংশনের বিপরীত বায়াসে কারেন্টের মান নগন্য।

১০·৮ একমুখীকরণ
Rectification

১০·৮·১ ধারণা
Concept

যে পদ্ধতিতে পরিবর্তী প্রবাহকে (A. C.) একমুখী প্রবাহে (D. C.) পরিবর্তন করা হয় তাকে **একমুখীকরণ বা রেকটিফিকেশন** (rectification) বলে এবং যে বর্তনী এই কাজে ব্যবহার করা হয় তাকে বলা হয় **একমুখীকারক বা রেকটিফায়ার** (rectifier)। জাংশন ডায়োডের বৈশিষ্ট্য আলোচনায় আমরা জেনেছি যে ডায়োড একটা বিশেষ দিকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। কিন্তু বিপরীত দিকে কোনো তড়িৎ প্রবাহ হয় না। জাংশন ডায়াডের এ বিশেষ ধর্মকে প্রবাহ একমুখীকরণ কাজে ব্যবহার করা হয়। AC প্রবাহের ধনাত্মক অর্ধচক্র যখন ডায়োডের ধনাত্মক প্রান্তের ভেতর দিয়ে যায় তখন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় আবার প্রবাহের ঋণাত্মক অর্ধচক্র যখন ডায়োডের ঋণাত্মক প্রান্তের ভেতর দিয়ে যায় তখন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। একমুখীকারক (rectifier) দুই ধরনের। যথা—(ক) অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক এবং (খ) পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক। AC তরঙ্গ সময়ের সাথে সাথে দিক পরিবর্তন করে কিন্তু ডায়োডের ভেতর দিয়ে যাওয়ার পর একমুখী তরঙ্গ বা DC উৎপন্ন হয়। পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণের বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। নিম্নে ব্রিজ রেকটিফিকেশন আলোচনা করা হলো।

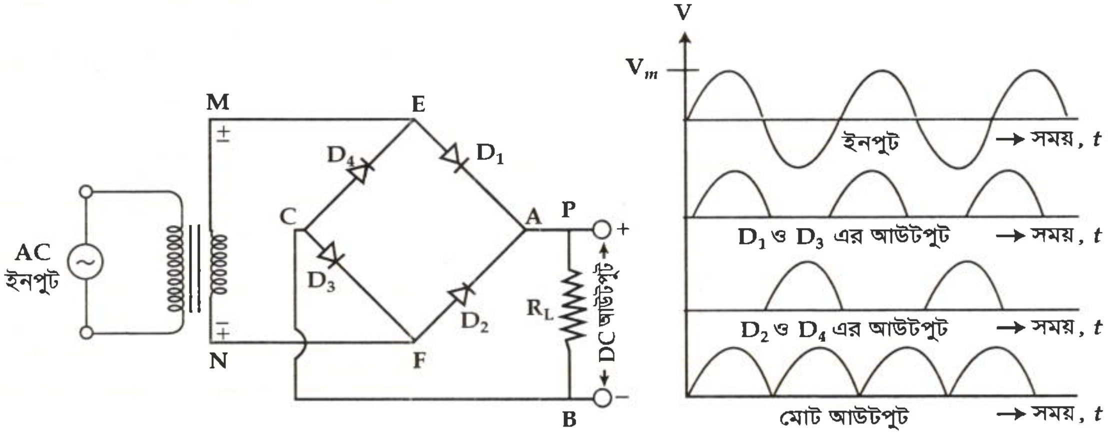
১০·৮·২ ব্রিজ রেকটিফিকেশন
Bridge rectification

পরিবর্তী প্রবাহকে পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ দুভাবে করা হয়। যথা— (ক) একটি ট্রান্সফরমার ও দুটি জাংশন ডায়োডের সাহায্যে এবং (খ) একটি ট্রান্সফরমার ও চারটি জাংশন ডায়োডের সাহায্যে। শেষোক্ত পদ্ধতিকে ব্রিজ রেকটিফিকেশন পদ্ধতি বলে। DC পাওয়ার সাপ্লাই-এর জন্য ব্রিজ রেকটিফায়ার বহুল ব্যবহৃত ও কার্যকর বর্তনী।

ইনপুটে ভোল্টেজ কমানোর জন্য ট্রান্সফরমার ব্যবহার করা হয়। এই ট্রান্সফরমারের সাথে চারটি ডায়োড D_1, D_2, D_3 ও D_4 সংযোগ দিয়ে ব্রিজ তৈরি করা হয়। চিত্রে ১০·১৪ এ MN প্রান্তের সঙ্গে এসি ইনপুট সংযোগ দেয়া

হয়েছে এবং P ও B জাংশনের সঙ্গে একটি রোধ R_L যুক্ত করা হয়েছে। একে লোড (Load) বলে। এই রোধের দুই প্রান্ত হতে আউটপুট পাওয়া যায়।

ইনপুটের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য (Positive half cycle) ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর M প্রান্ত ধনাত্মক (+ve) এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক (–ve) হয়। এই অবস্থায় ডায়োড D_1 ও D_3 সম্মুখ ঝোঁক (Forward bias) প্রাপ্ত হয়। অন্যদিকে ডায়োড D_2 ও D_4 বিপরীত ঝোঁক (Reverse bias) প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় বর্তনীতে বিদ্যুৎ MEABCFN পথে প্রবাহিত হয় [চিত্র ১০·১৪(ক)] এবং R_L এর দুই প্রান্তে ভোল্টেজ পাওয়া যায়।



(ক) (খ)

চিত্র ১০·১৪ : ব্রিজ রেকটিফায়ার।

আবার ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য (Negative half cycle) ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর N প্রান্ত ধনাত্মক এবং M প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। এই অবস্থায় ডায়োড D_2 ও D_4 সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় বর্তনীতে বিদ্যুৎ NFABCEM পথে প্রবাহিত হয় [চিত্র ১০·১৪(ক)]। সুতরাং AC প্রতিক্ষেত্রে ইনপুটের প্রত্যেক অর্ধচক্রের জন্য বিদ্যুৎ লোড রোধ R_L এর মধ্য দিয়ে একই দিক AB দিয়ে প্রবাহিত হয় এবং প্রতিক্ষেত্রে R_L-এ ভোল্টেজ ড্রপ হয়। অন্যভাবে বলা যায় ব্রিজ রেকটি-ফায়ারের A বিন্দু সর্বদা অ্যানোড এবং B বিন্দু ক্যাথোড হিসেবে ক্রিয়া করে। অন্তর্গামী AC এবং বহির্গামী DC সিগন্যালকে ১০·১৪(খ) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এভাবে প্রত্যেক AC সিগন্যালকে বহির্গামীতে DC হিসেবে পাওয়া যায়।

কাজ : পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে দুটি অনুরূপ ডায়োড ব্যবহার করা হয় কেন ?

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে দুটি অনুরূপ ডায়োড ব্যবহার করা হয়। কারণ দুটি ডায়োডের তড়িৎ প্রবাহ অনুরূপ না হলে রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের ওঠানামা বেশি হয়।

নিজে কর : রেকটিফায়ার বর্তনীতে ব্যবহৃত ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা অপেক্ষা কম রাখা হয় কেন ?

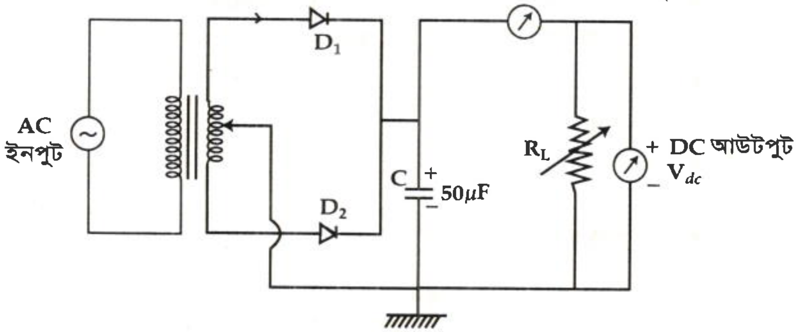
ট্রান্সফরমার দ্বারা ভোল্টেজ কমানোর জন্য গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা কম রাখা হয়। ভোল্টেজ কম না হলে ডায়োড পুড়ে যাবে। সাধারণত ডায়োডে ভোল্টেজের মান 15V এর নিচে রাখা হয়।

১০·৯ ব্যবহারিক
Experimental

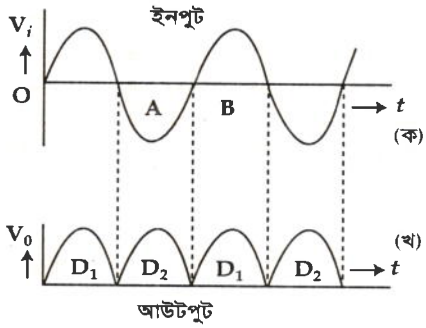
পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ (দুটি ডায়োড ব্যবহার করে)** **Full wave rectification** (using two diodes)

তত্ত্ব (Theory) : দুটি ডায়োড দ্বারা পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ করা যায়। $V = V_m \sin \theta$ হলো দিক পরিবর্তী বিভব। ধরি ডায়োডের রোধ R এবং লোড রোধ (রেজিস্ট্যান্স) R_L। সম্মুখ বায়াসের ক্ষেত্রে ডায়োডের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ

প্রবাহ চলে। কিন্তু বিপরীতমুখী বায়াসের সময় এর মধ্য দিয়ে খুব কম প্রায় (1μA) প্রবাহ চলে। AC প্রবাহকে শোধন (filter) করে DC প্রবাহ পাওয়ার জন্য রেকটিফায়ার ব্যবহার করা হয়। তরঙ্গের ধনাত্মক চক্রের সময় বর্তনীতে প্রবাহ



চিত্র ১০·১৫



চিত্র ১০·১৬

ঘটে। তরঙ্গের ঋণাত্মক চক্রের সময় বিপরীত বায়াস ঘটে এবং কোনো প্রবাহ পাওয়া যায় না। DC তরঙ্গকে মসৃণ করার জন্য বর্তনীতে ধারক C ব্যবহার করা হয়। তরঙ্গের ধনাত্মক চক্রের সময় ধারকটি চার্জ গ্রহণ করে চার্জিত হয় এবং তরঙ্গের ঋণাত্মক চক্রের সময় ধারকটি সঞ্চিত চার্জ হারায়। ফলে দুটি DC তরঙ্গের মাঝখানে ফাঁক অনেকটা মসৃণ হয়। ধারক (C) এর মধ্য দিয়ে তরঙ্গের AC অংশ সহজে বিভিন্ন পথে চলে বলে একে ফিল্টার বা ছাঁকনি বলে। ডিসি ভোল্টমিটার এর সাহায্যে R_L এর দুই প্রান্তে DC ভোল্টেজ পরিমাপ করা হয় এবং বর্তনীতে উল্লিখিত DC অ্যামিটার দ্বারা ডিসি প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করা হয়। R_L এর দুই প্রান্তের মাঝে Oscilloscope এর পর্দায় DC প্রবাহ প্রত্যক্ষ করা হয়। বর্তনী, সংযোগ যন্ত্র এবং ইনপুট ও আউটপুট সিগন্যালকে ১০.১৫ এবং ১০.১৬নং চিত্রে দেখান হলো।

যন্ত্রপাতি :

১। একটি স্টেপ ডাউন সেন্টার ট্যাপ্ট ট্রান্সফরমার

২। দুটি ডায়োড

৩। সংযোগকারী তার

৪। লোড রোধ R_L (10 — 1000 Ω)

৫। ডিসি ভোল্টমিটার

৬। AC মিলি অ্যামিটার

৭। ক্যাপাসিটর (50μF)

৮। প্রজেক্ট বোর্ড

৯। সংযোগকারী তার, ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি :

(১) ট্রান্সফরমারের বহিঃমুখের ওপরের ও নিচের প্রান্তের সাথে দুটি ডায়োডকে চিত্র অনুযায়ী সংযুক্ত করতে হবে।

(২) ডায়োডের নেগেটিভ প্রান্তদ্বয় একত্রে তার দ্বারা যুক্ত করতে হবে।

(৩) একটি ধারক (C), লোড রোধ (R_L), একটি ডিসি ভোল্টমিটার (V_{dc}) কে সমান্তরালে যুক্ত করে ওপরের প্রান্তে একটি অ্যামিটারকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয় এবং R_L, C এবং ভোল্টমিটারের নিচের প্রান্তের তার যুক্ত করে ট্রান্স-ফরমারের কেন্দ্রীয় বিন্দুর সাথে যুক্ত করা হয়। C, R_L এর নিচের প্রান্তকে ভূমি সংযোগে রাখা হয়।

(৪) ডায়োডের –ve প্রান্তদ্বয়ের মধ্যস্থল থেকে তার দিয়ে ধারকের সাথে যুক্ত করা হয়।

(৫) বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করে আউটপুট কারেন্ট-ভোল্টেজ পরিমাপ করা হয়।

(৬) Oscilloscope দ্বারা আউটপুট ডিসি পর্যবেক্ষণ করা হয়।

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ :

(ক) ধারকের ধারকত্ব, $C = \ldots \mu F$

(খ) ডায়োডের রোধ, $R = \ldots \Omega$

(গ) লোড রোড, $R_L = \ldots \Omega$

(ঘ) $I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$, I_m = প্রবাহের সর্বোচ্চ মান।

ছক-১

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লোড রোধ $R_L \Omega$	সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা I_{max}	$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$	V_{dc}
১				
২				
৩				

পর্যবেক্ষণ : Oscilloscope এর সাহায্যে আউটপুট ভোল্টেজ V_{dc} পর্যবেক্ষণ করা হলো এবং ভোল্টমিটার এর সাহায্যে V_{dc} পরিমাপ করা হলো।

সতর্কতা :

১। ধারকের, মিলি অ্যামিটারের এবং ভোল্টমিটারের ধনাত্মক (+ve) প্রান্ত এক সাথে যুক্ত করতে হবে।

২। ডায়োড D_1 ও D_2 একই মানের নিতে হবে।

৩। স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার ব্যবহার করতে হবে।

৪। মসৃণ (smooth) ডিসি পেতে ধারক ব্যবহার করতে হবে।

৫। তারের প্রান্তগুলো শক্তভাবে যুক্ত করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম :	ডায়োডের সাহায্যে একমুখীকরণ (ব্রিজ রেকটিফায়ার ব্যবহার করে)
পিরিয়ড : ২	**Rectification with the help of diode** (using bridge rectifier)

তত্ত্ব (Theory) : একমুখীকরণ বা রেকটিফিকেশন এমন একটি পদ্ধতি যা পর্যাবৃত্ত ভোল্টেজকে ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তরিত করে। অর্ধপরিবাহী ডায়োড ভালোভাবেই এ কাজ সম্পন্ন করে। দুই ধরনের একমুখীকারক রয়েছে, যথা—অর্ধ তরঙ্গ একমুখীকারক এবং পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারক। এখানে একটি পূর্ণচক্র একমুখীকারক বর্ণনা করা হলো।

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে ইনপুট এসি ভোল্টেজের উভয় অর্ধচক্রের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহ লোড (load) বা ভারের মধ্য দিয়ে একই দিকে প্রবাহিত হয়। পূর্ণ চক্র একমুখীকরণের ক্ষেত্রে সাধারণত দুই জোড়া ডায়োড ব্যবহার করা হয়। এসি ইনপুট ভোল্টেজের প্রথম অর্ধচক্রের জন্য একজোড়া ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়ে ক্রিয়াশীল হয়, তখন অপর জোড়া ডায়োড বিপরীত ঝোঁকে থাকে। আবার এসি ইনপুট ভোল্টেজের দ্বিতীয় অর্ধচক্রের জন্য এদের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। এভাবে এসি ইনপুটের উভয় অর্ধচক্রেই লোড বা ভারের বিপরীতে একই দিকে আউটপুট সৃষ্টি হয়। এই ডিসি আউটপুট মসৃণ না হয়ে স্পন্দনবিশিষ্ট (pulsating) হয়; অর্থাৎ এর মধ্যে এসি, ডিসি উভয় উপাদানই বিদ্যমান থাকে। বিশুদ্ধ ডিসি ভোল্টেজ পাওয়ার জন্য একটি ফিল্টার সার্কিট দ্বারা আউটপুটকে মসৃণ করা হয়।

যন্ত্রপাতি (Apparatus) :

১। স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার,

২। ব্রিজ রেকটিফায়ার,

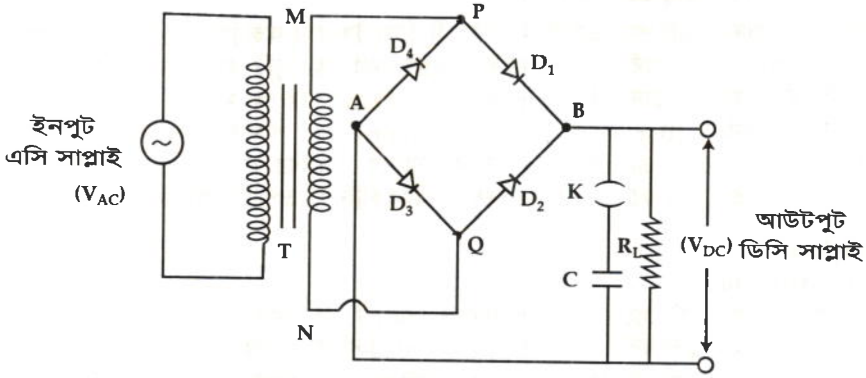
৩। ক্যাপাসিটর (330 μF বা 50 μF)

৪। রোধক,

৫। মাল্টিমিটার,

৬। অসিলোসকোপ ইত্যাদি।

বর্তনী সংযোগ (Circuit connection) : নিচের চিত্রের ন্যায় বর্তনী সংযোগ দিতে হয়।



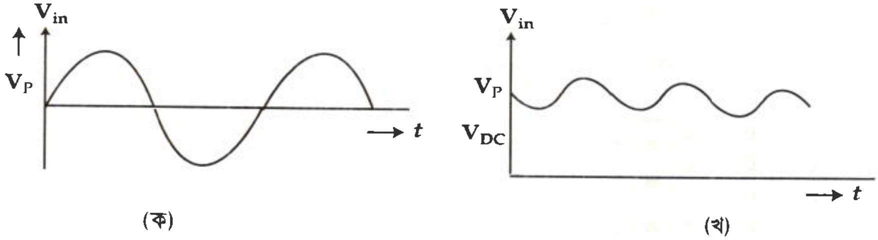
চিত্র ১০·১৭

ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীকে এসি সাপ্লাই-এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। গৌণ কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত ব্রিজ রেকটি-ফায়ারের বিপরীত প্রান্ত PQ এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। ব্রিজ রেকটিফায়ারের অপর দুই প্রান্ত AB ক্যাপাসিটর C ও লোড (load) R_L এর সাথে যুক্ত করা হয়।

কার্যপ্রণালি (Working procedure) :

(১) উপরের চিত্রের ন্যায় বর্তনী সংযোগ দেয়া হয়। সেকেন্ডারি ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রকালে ট্রান্সফরমার M প্রান্ত ধনাত্মক চার্জযুক্ত এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। এ অবস্থায় ডায়োড D_1 ও D_3 সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং ডায়োড D_2 ও D_4 বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং MPD_1BAD_3QN বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে এবং R_L-এর বিপরীতে বিভব পতন ঘটে। আবার ঋণাত্মক অর্ধচক্রকালে M প্রান্ত ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। ফলে NQD_2BAD_4PM পথে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে। লক্ষ করলে দেখা যাবে যে ভার বা লোড R_L-এর ভেতর দিয়ে একই দিকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

(২) অসিলোসকোপের সাহায্যে ইনপুট ও আউটপুট তরঙ্গরূপ পর্যবেক্ষণ করা হয়। চিত্র ১০.১৮ এর (ক) ও (খ) এর ন্যায় ইনপুট ও আউটপুট পাওয়া যাবে।



চিত্র ১০·১৮

(৩) অসিলোসকোপের সাহায্যে R_L-এর বিপরীত ফিল্টারকৃত ভোল্টেজ মাপা হয়।

(৪) অসিলোসকোপ না থাকলেও এসি/ডিসি ভোল্টমিটার দিয়ে ভোল্টেজ মাপা হয়।

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and Discussion) :

(১) ডায়োড সংযোগ সঠিক হওয়া প্রয়োজন।

(২) তারের প্রান্তগুলো শক্তভাবে যুক্ত করতে হবে।

(৩) অসিলোসকোপের পরিবর্তে এসি/ডিসি ভোল্টমিটার ব্যবহার করা যেতে পারে।

(৪) স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার ব্যবহার করতে হবে।

অনুসন্ধান : একমুখীকরণ বর্তনীতে ফিলটার ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা কী ?

একটি পূর্ণতরঙ্গের একমুখীকরণে প্রবাহ একমুখী হলেও সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনশীল, যা অধিকাংশ বৈদ্যুতিক যন্ত্রে ব্যবহারের অনুপযুক্ত। তাই একটি ফিলটার ব্যবহার করা হয়।

RMDAC

১০.১০ জাংশন ট্রানজিস্টর (পি-এন-পি ও এন-পি-এন)
Junction Transistor (*p-n-p* and *n-p-n*)

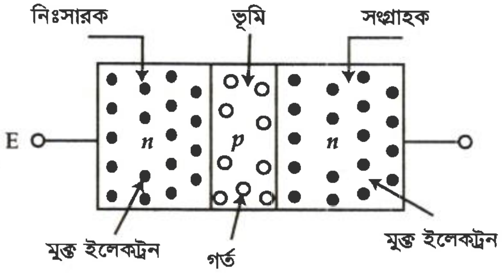
ট্রানজিস্টর হচ্ছে তিন প্রান্তবিশিষ্ট একটি অর্ধপরিবাহী ডিভাইস যার অন্তর্মুখী (Input) প্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে বহির্মুখী (Output) প্রবাহ, বিভব পার্থক্য এবং ক্ষমতা নিয়ন্ত্রণ করা হয়। দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে পাশাপাশি যুক্ত করে একটি অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। 1948 সালে আমেরিকার বেল টেলিফোন ল্যাবরেটরির তিনজন বিখ্যাত বিজ্ঞানী বার্ডিন (Bardeen), ব্র্যাটেন (Brattain) এবং শকলে (Shockley) ট্রানজিস্টর আবিষ্কার করেন। এই আবিষ্কারের জন্য 1966 সালে তাদেরকে নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়। আবিষ্কারের পর থেকেই ইলেকট্রনিক জগতে এক বিপ্লব সৃষ্টি করেছে এই ট্রানজিস্টর। ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতির অবিচ্ছেদ্য অঙ্গ হচ্ছে ট্রানজিস্টর।

১০.১০.১ গঠন
Construction

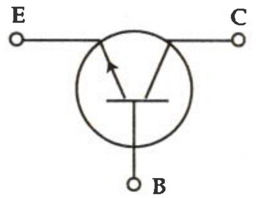
একখণ্ড বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী থেকে উচ্চতাপে বিশেষ নিয়ন্ত্রিত পদ্ধতিতে ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। সাধারণত পয়েন্ট কন্টাক্ট (Point contact) ট্রানজিস্টর ও জাংশন (Junction) ট্রানজিস্টর এই দুই ধরনের ট্রানজিস্টর তৈরি হয়।

তবে বর্তমানে ব্যবহৃত সমস্ত ট্রানজিস্টরই জাংশন ট্রানজিস্টর। ট্রানজিস্টর দুই ধরনের (ক) *n-p-n* ট্রানজিস্টর ও (খ) *p-n-p* ট্রানজিস্টর। ট্রানজিস্টরের ৩টি অংশ বা এলিমেন্ট (element) থাকে; যথা—**এমিটার (emitter) বা নিঃসারক (E), বেস (base) বা পীঠ (B)** এবং **কালেক্টর (collector) বা সংগ্রাহক (C)**। চিত্র ১০.১৯ (ক) ও (খ)-এ *n-p-n* ও *p-n-p* ট্রানজিস্টরের ব্লক (block) চিত্র এবং প্রতীক চিত্র দেখানো হলো।

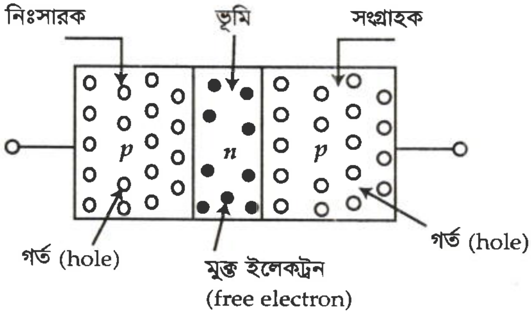
দুটি পৃথক *n*-টাইপ কেলাসের মাঝখানে একটি *p*-টাইপ কেলাস বিশেষ পদ্ধতিতে পাশাপাশি রেখে যুক্ত করলে *n-p-n* ট্রানজিস্টর গঠন করা হয়। আবার দুটি পৃথক *p*-টাইপ কেলাসের মাঝখানে একটি *n*-টাইপ কেলাস যুক্ত করলে



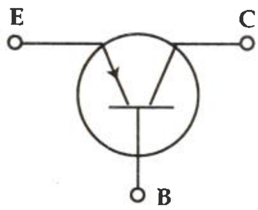
(ক) *n–p–n* টানজিস্টর (ব্লক চিত্র)



n–p–n টানজিস্টরের প্রতীক চিত্র



(খ) *p–n–p* টানজিস্টর (ব্লক চিত্র)



p–n–p টানজিস্টরের প্রতীক চিত্র

চিত্র ১০.১৯

p-n-p ট্রানজিস্টর গঠন করা হয়। এই জোড়া লাগানো আঠা বা সোল্ডার করে করা হয় না। দুটি *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহী এবং দুটি *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহীর মাঝে সুনিয়ন্ত্রিতভাবে যথাক্রমে *n*-টাইপ এবং *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহী ডোপিং করে বা মিশিয়ে *n-p-n* বা *p-n-p* ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। ট্রানজিস্টরের মাঝের বেস অংশ খুবই পাতলা এবং সামান্য পরিমাণে অপদ্রব্য মিশ্রণ করা হয়, যাতে এমিটার থেকে বাহক আধান (charge carrier) প্রবাহের সময় কম দূরত্ব অতিক্রম করতে হয় এবং বিপরীত আধানের সঙ্গে মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ না হয়। এমিটার অংশ বেশ পুরু (thick) এবং বেশি পরিমাণে ডোপ্ড (doped) বা ডোপায়িত করা হয়। কালেক্টর সবচেয়ে বেশি পুরু করা হয় যাতে উৎপন্ন তাপ তাড়াতাড়ি বিকিরিত হয়। ট্রানজিস্টরে দুটি জাংশন থাকে। যথা এমিটার-বেস জাংশন এবং অপরটি বেস-কালেক্টর জাংশন। পূর্বে বলা হয়েছে যে, দুটি *p-n* জাংশনের সমন্বয়ে একটি ট্রানজিস্টর গঠিত হয়। একটিকে সম্মুখ ঝোঁক বা বায়াস যুক্ত এবং

অপরটিকে বিপরীত ঝোঁক বা বায়াস যুক্ত করা হয়। সম্মুখ বায়াস যুক্ত জাংশনের রোধ বিপরীত বায়াস যুক্ত জাংশনের তুলনায় খুবই নগণ্য। দুর্বল সিগন্যাল (signal) বা সঙ্কেতকে কম রোধসমৃদ্ধ জাংশন বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয় এবং উচ্চ রোধযুক্ত জাংশন বর্তনী থেকে আউটপুট নেয়া হয়।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে একটি ট্রানজিস্টর একটি সিগন্যালকে স্বল্প রোধ থেকে উচ্চ রোধে ট্রান্সফার (transfer) করে। এটি রেজিস্ট্যান্সের (resistance) বা রোধের মাধ্যমে কারেন্ট ট্রান্সফার করে বলে এর নামকরণ ট্রান্সফার রেজিস্টর (transfer resistor) সংক্ষেপে ট্রানজিস্টর (transistor) করা হয়েছে। অন্যভাবে বলা যায় **তিন প্রান্তবিশিষ্ট যে ক্ষুদ্র অর্ধ-পরিবাহক পদার্থে বহির্মুখী প্রবাহ, ভোল্টেজ এবং ক্ষমতা অন্তর্মুখী প্রবাহ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাকে ট্রানজিস্টর বলে।** ট্রানজিস্টর আকারে অত্যন্ত ছোট হয় এবং ধাতব বা প্লাস্টিক আবরণের মধ্যে এটিকে সিল (seal) করে রাখা হয় যাতে বায়ু বা জলীয় বাষ্পের সংস্পর্শে না আসে।

ট্রানজিস্টরের ঝোঁক ব্যবস্থা :

নিঃসারক (Emitter) : ট্রানজিস্টরের একপাশের অংশ যা চার্জ সরবরাহ করে তাই একে নিঃসারক বলে। বর্তনীতে পীঠ এবং নিঃসারক সর্বদা সম্মুখী ঝোঁক বা বায়াসে সংযোগ দেওয়া হয়। ফলে নিঃসারক বর্তনীর রোধ কম হয়।

সংগ্রাহক (Collector) : ট্রানজিস্টরের অন্যপাশের অংশ যা চার্জ সংগ্রহ করে তাই একে সংগ্রাহক বলে। বর্তনীতে সংগ্রাহক এবং পীঠ সর্বদা বিপরীত ঝোঁকে সংযোগ দেওয়া হয়। ফলে সংগ্রাহক বর্তনীতে রোধ বেশি হয়।

পীঠ বা ভূমি (Base) : ইহা নিঃসারক ও সংগ্রাহকের মাঝের অংশ বলে একে পীঠ বা ভূমি বলে। ট্রানজিস্টরের পীঠ নিঃসারকের তুলনায় খুবই পাতলা হয়।

জেনে রাখ : ট্রানজিস্টরের উপযোগিতা কী ? এর কোনো অসুবিধা আছে কী ? কি কি কাজে ইহা ব্যবহার করা হয় ?

ট্রানজিস্টরের উপযোগিতা হলো : (১) আকার খুব ছোট; (২) এটি খুব সামান্য বিভবে কাজ করে; (৩) এর ক্রিয়া তাৎক্ষণিক; (৪) এটি দীর্ঘস্থায়ী; (৫) এটি যান্ত্রিক কম্পন সহ্য করতে পারে এবং (৬) এটি খুব সস্তা।

ট্রানজিস্টরের অসুবিধা : (১) এটি উষ্ণতায় খুব সুগ্রাহী এবং (২) এটি খুব কম উৎপাদন শক্তি দেয়।

ব্যবহার : তড়িৎ সংকেত বিবর্ধন করতে, উচ্চ গতি সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টর ব্যবহৃত হয়।

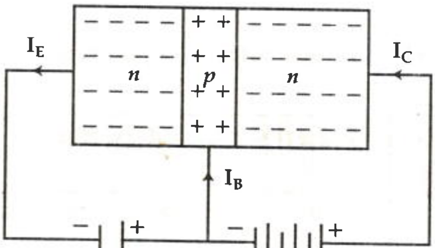
অনুসন্ধান : উচ্চ কম্পাঙ্কযুক্ত এবং কম্পিউটার বর্তনীতে *n–p–n* ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয় কেন ?

বাহক হিসেবে হোলের তুলনায় ইলেকট্রনের দ্রুতি বেশি। *n–p–n* ট্রানজিস্টরে সংখ্যাগুরু বাহক হলো ইলেকট্রন, তাই উচ্চ কম্পাঙ্কযুক্ত এবং কম্পিউটার বর্তনীতে *n–p–n* ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়।

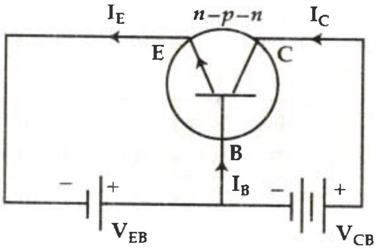
১০.১০.২ কার্যক্রম
Working process

***n-p-n* ট্রানজিস্টর :**

এখানে একটি *n-p-n* ট্রানজিস্টরের কার্যপ্রণালি ব্যাখ্যা করা হলো। চিত্র ১০.২০ (ক) ও (খ)-তে *n-p-n* ট্রানজিস্টরের বৈদ্যুতিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। চিত্রে বামদিকের এমিটার বেস জাংশনকে সম্মুখ ঝোঁকে রাখা হয়েছে। ফলে *p* অঞ্চল *n*-অঞ্চলের তুলনায় বেশি ধনাত্মক হচ্ছে। এর ফলে *n* অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলো সহজেই *p* অঞ্চলে চলে



(ক) *n–p–n*



(খ) *n–p–n*

চিত্র ১০.২০

আসতে পারে। অর্থাৎ এমিটার থেকে ইলেকট্রনগুলো বেসে চলে আসে। ফলে ইমিটার বা নিঃসারক প্রবাহ I_E সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনগুলো *p*-টাইপ বেসে বা পীঠে প্রবেশ করার ফলে সেখানকার হোল-এর সাথে মিলতে চায়। কিন্তু বেস খুব পাতলা হওয়ার কারণে সামান্য কিছু ইলেকট্রন (5% প্রায়) হোল-এর সাথে মিলিত হয়ে খুব ক্ষুদ্র বেস প্রবাহ I_B সৃষ্টি করে। ডানদিকের বেস কালেকটর জাংশনকে বিপরীত ঝোঁকে রাখায় কালেকটর অঞ্চল বেশি ধনাত্মক হয় এবং এমিটার থেকে

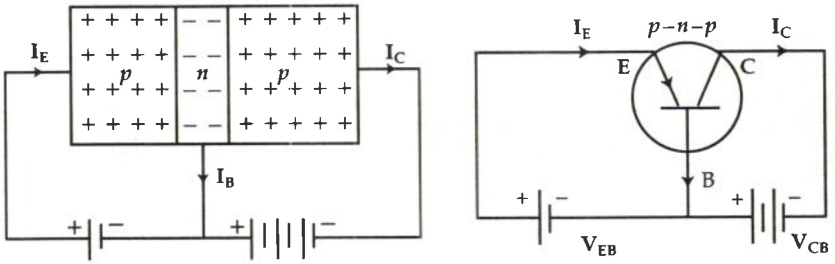
বেসে প্রবাহিত ইলেকট্রনগুলোকে তীব্রভাবে *n*-অঞ্চলের দিকে আকর্ষণ করে। অর্থাৎ *n*-স্তর বা কালেকটর (সংগ্রাহক) ইলেকট্রন সংগ্রহ করে। বেসের ভেতর দিয়ে আসার সময় কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বেস অঞ্চলের 'হোল' (hole) পূরণ করে; অবশিষ্ট ইলেকট্রন প্রায় 95% কালেক্টর অঞ্চলে ছুটে যায় এবং বেস থেকে কালেকটরে তড়িৎ প্রবাহ I_C সৃষ্টি হয়। বেস অঞ্চলে যাতে খুব সামান্য পরিমাণে ইলেকট্রন হোলের সঙ্গে মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ হয়, সে কারণে বেসকে হাল্কা ডোপিং করে হোলের সংখ্যা কম করা হয়। বেস বা পীঠ অঞ্চল পাতলা হওয়ার কারণে ইলেকট্রনের অবস্থান ও সংখ্যা সংরক্ষিত হয়।

এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ এমিটার বা নিঃসারক প্রবাহ কালেকটর বা সংগ্রাহক বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। সুতরাং দেখা যায় ইমিটার প্রবাহ হলো বেস প্রবাহ ও কালেকটর প্রবাহের সামষ্টি। অর্থাৎ

$$I_E = I_B + I_C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.3)$$

p-n-p ট্রানজিস্টর :

১০.২১ (ক) ও (খ) চিত্রে *p-n-p* ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে বায়াসিং কার্যক্রম দেখানো হয়েছে। *p* অঞ্চল বা এমিটার থেকে 'হোল' বেসের মধ্যে প্রবেশ করে এবং কালেকটর বেশি ঋণাত্মক হওয়ায় হোলগুলো বেস থেকে তীব্রভাবে কালেকটরের দিকে ছুটে যায় এবং একটা প্রবল তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে এমিটার-বেস জাংশন সম্মুখ ঝোঁকে এবং কালেকটর-বেস জাংশন বিপরীত ঝোঁকে রাখা হয়। সম্মুখ ঝোঁকের কারণে *p* অঞ্চলের ই মিটারের হোলগুলো



(ক) *p–n–p* (খ) *p–n–p*

চিত্র ১০·২১

বেসের দিকে প্রবাহিত হয়ে ইমিটার প্রবাহ I_E সৃষ্টি করে। আবার হোলগুলো *n*-অঞ্চলের বেসে প্রবেশ করে সেখানকার বিদ্যমান ইলেকট্রনগুলোর সাথে মিলতে চায়। বেস খুব পাতলা হওয়ায় প্রায় 5% হোল ইলেকট্রনের সাথে মিশে সামান্য বেস প্রবাহ I_B তৈরি করে। অবশিষ্ট হোল প্রায় 95% *p* অঞ্চলের কালেকটরে প্রবেশ করে এবং বেস থেকে কালেকটর প্রবাহ I_C তৈরি করে। এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ এমিটার বা নিঃসারক প্রবাহ কালেকটর বর্তনীতে প্রবাহিত হয়।

এমিটার অংশে চার্জের প্রবাহের জন্য সৃষ্ট কারেন্টকে এমিটার কারেন্ট বা নিঃসারক প্রবাহ (I_E), বেস অংশে ইলেকট্রন হোল মিলনের ফলে সৃষ্ট কারেন্টকে বেস কারেন্ট বা পীঠ বা ভূমি প্রবাহ (I_B) এবং কালেকটর অংশে চার্জের প্রবাহের জন্য কারেন্টকে কালেকটর কারেন্ট বা সংগ্রাহক প্রবাহ (I_C) বলা হয়। বেস কারেন্ট কালেকটর অংশে যায় না। এই কারেন্ট বেস প্রান্ত (Terminal) দিয়ে বেরিয়ে আসে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে এমিটার কারেন্টের সবটুকু কালেকটর অংশে যায় না; অর্থাৎ কালেকটর কারেন্টের মান এমিটার কারেন্টের চেয়ে কম হয়। এক্ষেত্রে I_E, I_B এবং I_C-এর নিম্নরূপ সম্পর্ক রয়েছে :

$$I_E = I_B + I_C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.4)$$

আবার, ΔI_E, ΔI_B এবং ΔI_C যথাক্রমে নিঃসারক প্রবাহ, পীঠ প্রবাহ এবং সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তন হলে,

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [10.4(a)]$$

হিসাব : একটি *p-n-p* ট্রানজিস্টরে 10^{-8} s সময়ে 10^8 টি ইলেকট্রন এমিটারে প্রবেশ করে। যদি 1% ইলেকট্রন বেসে নষ্ট হয়, তবে কালেকটরে প্রবাহের অংশ ও কালেকটর গেইন কত হবে ?

এমিটার, কালেক্টর ও বেস প্রবাহের মধ্যে সম্পর্ক থেকে হিসাব কর। সমাধানকৃত মান হবে যথাক্রমে 0·99 এবং 99।

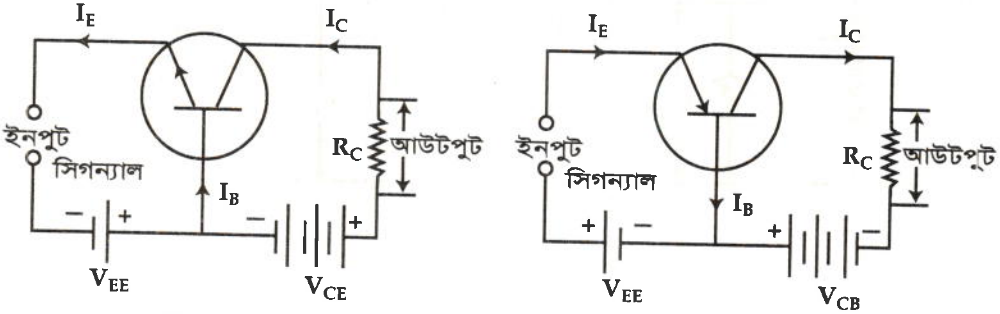
অনুসন্ধানমূলক কাজ : দুটি আলাদা *p–n* সংযোগ ডায়োডকে পিঠাপিঠি জোড়া লাগিয়ে *p–n–p* ট্রানজিস্টর তৈরি করা যাবে কী ?

না। কেননা আমরা জানি ট্রানজিস্টরের ভূমি খুবই পাতলা এবং কম ডোপিং করা হয়। কিন্তু দুটি *p–n* সংযোগকে পিঠাপিঠি যুক্ত করলে ভূমি অঞ্চলটি বেশ মোটা হবে এবং ডোপিং-এর পরিমাণও অনেক বেশি হবে। ফলে সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যাবে এবং ভূমি প্রবাহ বৃদ্ধি পাবে। তাই দুটি আলাদা *p–n* সংযোগ ডায়োডকে জোড়া লাগিয়ে *p–n–p* ট্রানজিস্টর তৈরি করা যাবে না।

১০.১১ ট্রানজিস্টর বর্তনীর মৌলিক বিন্যাস
Basic configuration of transistor circuits

বর্তনীতে ট্রানজিস্টরের সংযোগ অনুসারে তিন ধরনের ট্রানজিস্টর বর্তনীর বিন্যাস পাওয়া যায়। এই বিন্যাস-গুলোর নামকরণ করা হয়েছে সাধারণ উপাদান (element) এর নাম অনুসারে। যেমন সাধারণ পীঠ বিন্যাস, সাধারণ নিঃসারক বিন্যাস এবং সাধারণ সংগ্রাহক বিন্যাস।

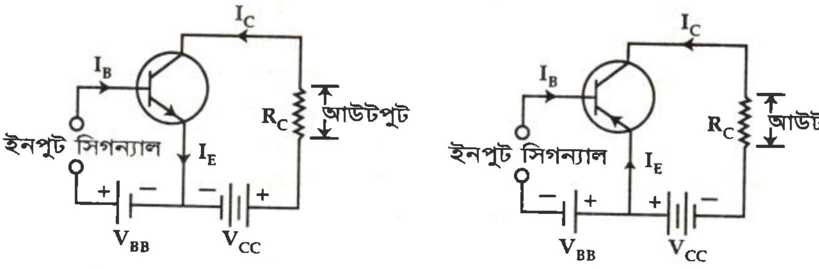
১। সাধারণ পীঠ বিন্যাস (Common base, CB) : এই বিন্যাসে পীঠ সাধারণ বাহু হিসেবে থাকে। বর্তনীতে পীঠ ও নিঃসারক সংযোগে ইনপুট (input) এবং পীঠ ও সংগ্রাহক সংযোগে আউটপুট (output) প্রান্ত গঠিত হয়। চিত্র ১০.২২-এ সাধারণ পীঠ বর্তনী দেখানো হলো। উভয় প্রান্তের সাথে পীঠ সংযুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ পীঠ বিন্যাস বলে।



(ক) *n–p–n* (খ) *p–n–p*

চিত্র ১০.২২

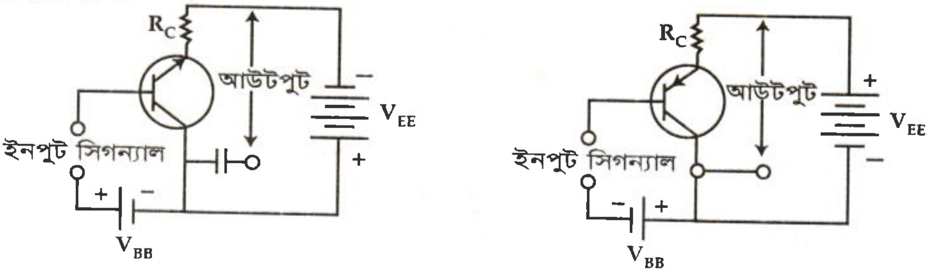
২। সাধারণ নিঃসারক (Common emitter, CE) : এই বিন্যাসে নিঃসারক সাধারণ বাহু হিসেবে থাকে। বর্তনীতে নিঃসারক ও পীঠ সংযোগে ইনপুট এবং নিঃসারক ও সংগ্রাহক সংযোগে আউটপুট প্রান্ত গঠিত হয়। চিত্র ১০.২৩-এ সাধারণ নিঃসারক বর্তনী দেখানো হলো। উভয় প্রান্তের সাথে নিঃসারক সংযুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ নিঃসারক বিন্যাস বলে।



(ক) *n–p–n* (খ) *p–n–p*

চিত্র ১০.২৩

৩। সাধারণ সংগ্রাহক (Common collector, CC) বিন্যাস : এই বিন্যাসে সংগ্রাহক সাধারণ বাহু হিসেবে থাকে। বর্তনীতে সংগ্রাহক ও পীঠ সংযোগে ইনপুট এবং সংগ্রাহক ও নিঃসারক সংযোগে আউটপুট প্রান্ত গঠিত হয়। চিত্র ১০.২৪-এ সাধারণ সংগ্রাহক বর্তনী দেখানো হলো। উভয় প্রান্তের সাথে সংগ্রাহক সংযুক্ত থাকে বলে একে সাধারণ সংগ্রাহক বিন্যাস বলে।



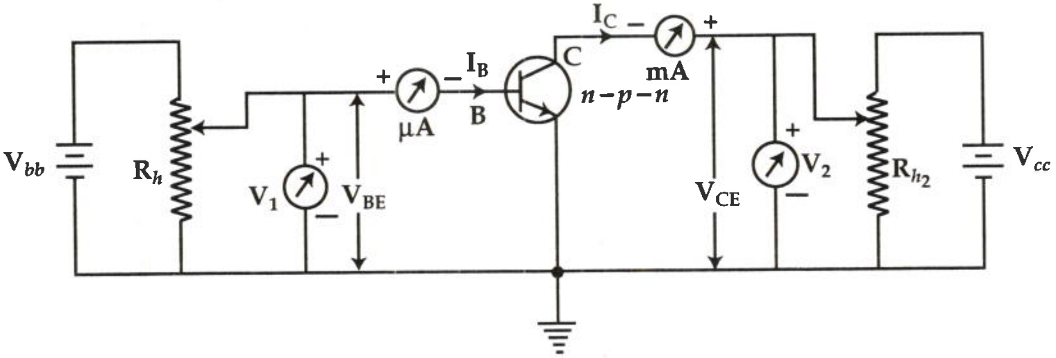
(ক) *n–p–n* (খ) *p–n–p*

চিত্র ১০.২৪

ট্রানজিস্টরের বৈশিষ্ট্য লেখ
Characteristic graphs of transistor

ট্রানজিস্টরের বিভিন্ন প্রবাহমাত্রা এবং ভোল্টেজের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ককে লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। এই লেখচিত্রগুলোকে ট্রানজিস্টরের বৈশিষ্ট্য লেখ বলে।

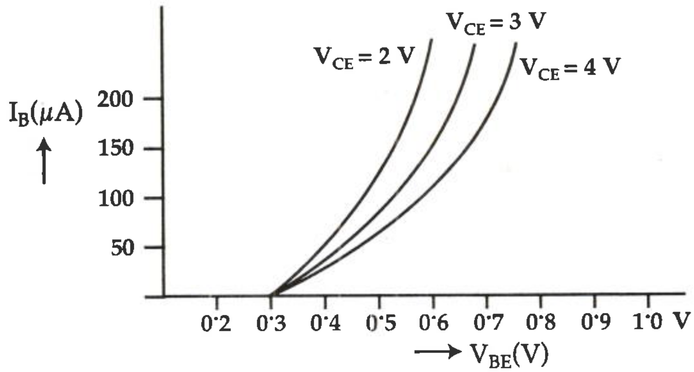
নিম্নে ট্রানজিস্টরের সাধারণ নিঃসারক বৈশিষ্ট্য বর্ণনা করা হবে। এখানে ইনপুট ও আউটপুট টার্মিনালের মধ্যে সাধারণ হিসেবে নিঃসারক থাকে। চিত্র ১০·২৫-এ একটি *n-p-n* সাধারণ নিঃসারক বর্তনী চিত্র দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·২৫

ব্যাটারি V_{bb}-এর সাহায্যে ভূমি-নিঃসারক সংযোগকে সম্মুখ বায়াসে এবং V_{cc} দ্বারা ভূমি-নিঃসারক সংযোগকে বিপরীত বায়াসে রাখা হয়। বর্তনীতে শ্রেণিতে একটি মাইক্রোঅ্যামিটার ও একটি মিলিঅ্যামিটার যুক্ত করা হয়েছে। মাইক্রোঅ্যামিটার দ্বারা ভূমি প্রবাহ I_B পরিমাপ করা হয় এবং মিলিঅ্যামিটার দ্বারা ভূমি-নিঃসারক প্রবাহ I_C মাপা হয়। ভোল্টমিটার V_1 ভূমি-নিঃসারক ভোল্টেজ এবং V_2 দ্বারা সংগ্রাহক-নিঃসারক ভোল্টেজ পরিমাপ করা হয়।

(ক) ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ (Input characteristics graph) : সংগ্রাহক-নিঃসারক ভোল্টেজ V_{CE}-কে স্থির মানে রেখে ভূমি-নিঃসারক ভোল্টেজ V_{BE}-এর পরিবর্তনের সাথে ভূমি প্রবাহ I_B-এর পরিবর্তন যে লেখচিত্রগুলো দ্বারা প্রকাশ করা হয় সেগুলোকে ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ বলে। চিত্র ১০·২৬-এ ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে ভূমি-নিঃসারক ভোল্টেজ $V_{BE} = 0{\cdot}3V$ পর্যন্ত ভূমি প্রবাহ $I_B = 0$ থাকে। এই ভোল্টেজকে প্রাচীর ভোল্টেজ (barrier voltage) বলা হয়। ভূমি-নিঃসারক ভোল্টেজ 0·3V অপেক্ষা বেশি হলে ভূমি প্রবাহ I_B বাড়তে থাকে। চিত্রে $V_{CE} = 2V$, $V_{CE} = 3V$ এবং $V_{CE} = 4V$ এর বৈশিষ্ট্য লেখগুলো দেখানো হয়েছে। এই লেখগুলো সম্মুখ বায়াস ডায়োডের V–I লেখচিত্রের মতো দেখায়। লেখগুলোর যেকোনো বিন্দুতে নতি থেকে ওই বিন্দুতে ট্রানজিস্টরের এসি ইনপুট রোধ (ac input resistance) বের করা যায়।

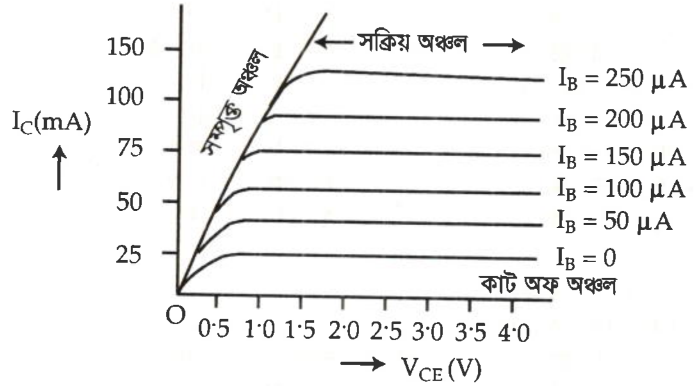


চিত্র ১০·২৬ : ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ।

অতএব, ট্রানজিস্টরের এসি ইনপুট রোধ,

$$R_{in} = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} = \frac{1}{\text{নতি (slope)}}$$

(খ) আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ (Output characteristics graph) : স্থির ভূমি প্রবাহের জন্য সংগ্রাহক-নিঃসারক ভোল্টেজের পরিবর্তনের সাথে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-এর পরিবর্তন যে লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয় তাকে আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ বলে। চিত্র ১০·২৭-এ এই বৈশিষ্ট্য লেখগুলো দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·২৭: আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ।

লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে V_{CE}-এর মান কম হলে V_{CE}-এর পরিবর্তনের সাথে I_C-এর মান দ্রুত বাড়তে থাকে; অতঃপর V_{CE} আরও বাড়াতে থাকলে I_C-এর পরিবর্তন খুব সামান্যই হয়। চিত্রে বিভিন্ন ভূমি প্রবাহ I_B-এর জন্য V_{CE}-এর পরিবর্তনের সাথে I_C-এর পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

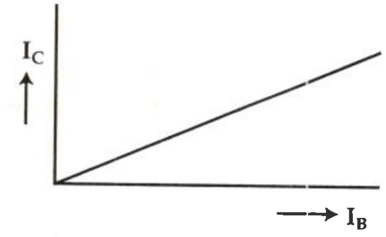
(গ) সম্পৃক্ত, সক্রিয় ও কাট অফ অঞ্চল (Saturation, active and cut off region) : চিত্র ১০·২৭ থেকে দেখা যায় যে V_{CE}-এর মান খুব কম হলে I_C-এর মান ক্রমশ বাড়তে থাকে। এই অংশকে সম্পৃক্ত অঞ্চল (saturation region) বলে। এই অঞ্চলে সংগ্রাহক-ভূমি ও নিঃসারক-ভূমি সংযোগ উভয়ই সম্মুখ বায়াসে থাকে। অতঃপর V_{CE}-এর মান বাড়লেও I_C-এর মান প্রায় স্থির থাকে। এই অংশকে সক্রিয় অঞ্চল (active region) বলে। এই অঞ্চলে নিঃসারক-ভূমি সংযোগ সম্মুখ বায়াসে এবং সংগ্রাহক-ভূমি সংযোগ বিপরীত বায়াসে থাকে। বিবর্ধক হিসেবে ট্রানজিস্টরটি ব্যবহারের সময় এটি এই অংশে ক্রিয়াশীল রাখা হয়। $I_B = 0$ অবস্থায় মূল সংগ্রাহক প্রবাহ I_C শূন্য হয়। এই অঞ্চলকে কাট অফ অঞ্চল (cut of region) বলে। এখানে ভূমি-নিঃসারক ও ভূমি-সংগ্রাহক উভয় সংযোগই বিপরীত বায়াসে থাকে।

বিভিন্ন বিন্দুতে এই লেখগুলোর নতি (slope) থেকে ট্রানজিস্টরের এসি আউটপুট রোধ (ac output resistance) পাওয়া যায়। অতএব, এসি আউটপুট রোধ,

$$R_{out} = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)_{I_B} = \frac{1}{\text{নতি (slope)}}$$

(ঘ) ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্য লেখ (Transfer characteristics graph) : নিঃসারক-সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CE}-কে স্থির মানে রেখে ভূমি প্রবাহ I_B-এর পরিবর্তনের সাথে সংগ্রাহক প্রবাহমাত্রা I_C-এর পরিবর্তনের যে লেখচিত্র পাওয়া যায় তাকে ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্য লেখ বলে। চিত্র ১০·২৮-এ একটি ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্য লেখ দেখানো হয়েছে। এটি একটি সরলরেখা। এর নতিকে প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (current amplification factor), β বলা হয়। অতএব,

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$$



চিত্র ১০·২৮

RMDAC

১০·১২ ট্রানজিস্টরের ব্যবহার
Use of a transistor

অ্যামপ্লিফায়ার বা বিবর্ধক হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার [MAT 23-24]
Use of a transistor as an amplifier

'অ্যামপ্লিফাই' (Amplify) শব্দের অর্থ হচ্ছে কোনো কিছুর মান বাড়ানো। যে যন্ত্র বা ডিভাইস (Device) এর অন্তর্গামীতে প্রদত্ত সংকেত বহির্গামীতে বিবর্ধিত করে তাকে এ্যামপ্লিফায়ার বলে। ইলেকট্রনিক্সে অ্যামপ্লিফায়ারের বা বিবর্ধকের কাজ হচ্ছে সিগন্যালের মাত্রা (level)-কে বাড়িয়ে দেওয়া। ট্রানজিস্টর সিগন্যালকে বহুগুণ বৃদ্ধি করতে পারে বলে বিবর্ধক হিসেবে এর ব্যাপক ব্যবহার হয়। বাস্তব ক্ষেত্রে বিবর্ধনের জন্য অনেকগুলো ট্রানজিস্টর একত্রে ব্যবহার

করা হয়। এক্ষেত্রে একটির বহির্গামী অপরটির অন্তর্গামী হিসেবে কাজ করে। মাইক, অ্যালার্ম, ইন্টারকম, রেডিও ইত্যাদি ক্ষেত্রে ট্রানজিস্টর অ্যাম্পিলিফায়ারকে ব্যবহার করা হয়।

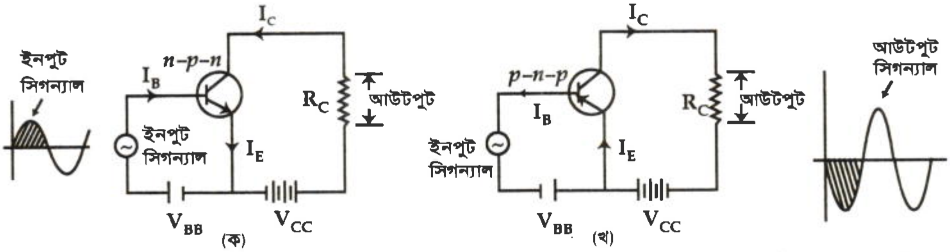
ট্রানজিস্টর সিগন্যালকে দুই ভাবে বৃদ্ধি করতে পারে— (১) বেস কারেন্টের সাহায্যে কালেকটর কারেন্টকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং (২) আউটপুট রোধকে ইনপুটের রোধের তুলনায় অনেক বেশি মানের ব্যবহার করে।

ট্রানজিস্টরকে অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহারের সময় এমিটারকে সম্মুখ ঝোঁক বা বায়াসযুক্ত এবং কালেকটরকে বিপরীত ঝোঁক বা বায়াসযুক্ত রাখা হয়। ট্রানজিস্টরকে তিনটি প্রাথমিক বর্তনীর মাধ্যমে অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা হয়। যথা—(১) কমন বেস (common base) বা সাধারণ পীঠ, (২) কমন এমিটার (common emitter) বা সাধারণ নিঃসারক এবং (৩) কমন কালেকটর (common collector) বা সাধারণ সংগ্রাহক অ্যামপ্লিফায়ার।

তিনটি বর্তনীর মধ্যে কমন এমিটার সার্কিটে ব্যবহৃত ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধন এবং ক্ষমতা বিবর্ধন অনেক বেশি হওয়ায় এর ব্যবহার সবচেয়ে বেশি। নিচের অনুচ্ছেদে আমরা একটি কমন এমিটার বিবর্ধকের কার্যপ্রণালি বর্ণনা করব।

১০.১২.১ কমন এমিটার বিবর্ধক
Common Emitter Amplifier

বর্তনী চিত্র ১০.২৯-এ একটি কমন এমিটার বিবর্ধকের বর্তনী সংযোগ দেখানো হয়েছে। চিত্র ১০.২৯ (ক) একটি *n-p-n* এবং ১০.২৯ (খ) একটি *p-n-p* বিবর্ধকের বর্তনী চিত্র। এখানে বেস ও এমিটারের মধ্যে একটি দুর্বল ইনপুট



(ক) *n-p-n* অ্যামপ্লিফায়ার বর্তনী। (খ) *p-n-p* অ্যামপ্লিফায়ার বর্তনী।

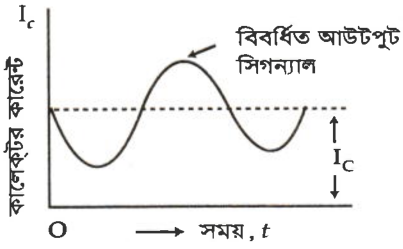
চিত্র ১০.২৯

সিগন্যাল প্রয়োগ করা হয় এবং কালেক্টর ও এমিটারের মধ্য থেকে আউটপুট নেয়া হয়। কালেক্টর বর্তনীতে সংযুক্ত রোধ R_C থেকে বহির্গামী সংকেত গ্রহণ করা হয়। যেহেতু ইনপুট এবং আউটপুট উভয় ক্ষেত্রে এমিটার কমন (common), তাই এর নামকরণ কমন এমিটার বিবর্ধক।

ভালো বিবর্ধন পাওয়ার জন্য এসি সিগন্যাল ভোল্টেজ ছাড়াও এখানে একটি ব্যাটারি (V_{BB}) সার্কিটে ব্যবহার করা হয়েছে। এই ডি. সি. ভোল্টেজকে বলা হয় বায়াস ভোল্টেজ; এবং এর মান এমন হয় যেন **এসি সিগন্যালের ঋণাত্মক অর্ধেকের সময় এমিটার বেস জাংশন সম্মুখ ঝোঁকে থাকে। তা না হলে এমিটার বেস জাংশন বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হবে এবং আউটপুট বর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকবে না, ফলে অ্যামপ্লিফায়ার বিশ্বস্ততা হারাবে।** নিঃসারক সংগ্রাহক বর্তনী অর্থাৎ বহির্গামী বর্তনীতে V_{CC} ব্যাটারির মাধ্যমে বিমুখী ঝোঁক প্রদান করা হয়।

n–p–n ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের কার্যপ্রণালি
Working principle of *n–p–n* transistor amplifier

এমিটার বেস জাংশনে প্রযুক্ত সিগন্যালের ধনাত্মক অর্ধাংশের সময় জাংশনটির সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। ফলে অধিক পরিমাণ ইলেকট্রন এমিটার থেকে বেসের মধ্য দিয়ে কালেকটরে প্রবাহিত হয় এবং কালেকটর প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। এই বর্ধিত কালেকটর প্রবাহ (I_C) কালেকটরের ভার রোধ (load resistance) R_c-তে অধিক পরিমাণে বিভব পতন (voltage drop) ঘটায়। অর্থাৎ বহির্গামীতে অধিক ভোল্টেজ পাওয়া যায়।



চিত্র ১০.৩০

সিগন্যালের ঋণাত্মক অর্ধাংশের জন্য এমিটার বেস জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক কমে যায় ফলে কালেকটর প্রবাহের মাত্রাও কমে যায়। কালেকটর প্রবাহ কম হওয়ায় বর্তনীর আউটপুট ভোল্টেজ (output voltage) কম হয় তবে তা ইনপুট সিগন্যাল থেকে বেশি হয়। এভাবে ট্রানজিস্টর দুর্বল ইনপুট সিগন্যালকে বিবর্ধিত আউটপুট সিগন্যালে পরিণত করে। **এই বিবর্ধিত আউটপুটের এবং ইনপুটের মধ্যে দশা পার্থক্য 180° হয়।** চিত্র ১০.৩০-এ কালেক্টরের সম্পূর্ণ প্রবাহ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

কমন এমিটার বিবর্ধকের বিভিন্ন ধরনের বিবর্ধন
Different gains in common emitter amplifier

কমন এমিটার বিবর্ধকের বিভিন্ন ধরনের বিবর্ধন রয়েছে। এগুলো নিম্নে আলোচনা করা হলো :

(i) প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (Current amplification factor) :

(ক) ডিসি প্রবাহ বিবর্ধন (dc current amplification, β_{dc}) : V_{CE} স্থির থাকলে, সংগ্রাহক প্রবাহ I_C ও ভূমি প্রবাহ I_B–এর অনুপাতকে DC প্রবাহ বিবর্ধন বলে। সুতরাং,

$$\beta_{dc} = \left(\frac{I_C}{I_B}\right)_{V_{CE}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.5)$$

(খ) এসি প্রবাহ বিবর্ধন (ac current amplification, β_{ac}) : V_{CE} স্থির থাকলে সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তন (ΔI_C) ও ভূমি প্রবাহের পরিবর্তন (ΔI_B)-এর অনুপাতকে এসি প্রবাহ বিবর্ধন বলা হয়। সুতরাং,

$$\beta_{ac} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.6)$$

(ii) এসি ভোল্টেজ বিবর্ধন (ac voltage amplification, A_V) : আউটপুট ভোল্টেজের পরিবর্তন এবং ইনপুট ভোল্টেজের পরিবর্তনের অনুপাতকে এসি ভোল্টেজ বিবর্ধন বলা হয়। একে A_V দ্বারা সূচিত করা হয়। অতএব,

$$A_V = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{in}} = \frac{\Delta I_C \times R_L}{\Delta I_B \times R_{in}}$$

$$= \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)\left(\frac{R_L}{R_{in}}\right)$$

$$= \beta_{ac} \times \left(\frac{R_L}{R_{in}}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.7)$$

এখানে R_L ও R_{in} যথাক্রমে আউটপুট ও ইনপুট রোধ।

(iii) এসি ক্ষমতা বিবর্ধন (ac power amplification, A_p) : আউটপুট ক্ষমতার পরিবর্তন ও ইনপুট ক্ষমতার পরিবর্তনের অনুপাতকে এসি ক্ষমতা বিবর্ধন বলা হয়। একে A_P দ্বারা সূচিত করা হয়। অতএব,

$$A_P = \frac{\Delta V_{CE} \times \Delta I_C}{\Delta V_{in} \times \Delta I_B} = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{in}}\right)\left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)$$

$$= A_V \times B_{ac} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.8)$$

আবার,

$$A_P = \frac{\Delta I_C^2 \times R_L}{\Delta I_B^2 \times R_{in}} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)^2 \times \left(\frac{R_L}{R_{in}}\right) = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_{in}}$$

$$= \beta^2_{ac} \times \text{রোধের বিবর্ধন} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [10.8(a)]$$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৩

১। একটি কমন এমিটার ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের আউটপুট রোধ 550 kΩ এবং প্রবাহ বিবর্ধন 55। যদি অ্যামপ্লিফায়ারের ইনপুট রোধ 250 Ω হয়, তবে অ্যামপ্লিফায়ারের ক্ষমতা বিবর্ধন কত?

আমরা জানি, ক্ষমতা বিবর্ধন,

$$A_P = \beta^2 \times \frac{R_{out}}{R_{in}}$$

$$\therefore A_P = (55)^2 \times \frac{550 \times 10^3}{250}$$

$$= 6.655 \times 10^6$$

এখানে,

$R_{out} = 550\ k\Omega = 550 \times 10^3\ \Omega$

$\beta = 55$

$R_{in} = 250\ \Omega$

$A_P = ?$

২। একটি সিলিকন ট্রানজিস্টরের ইনপুট রোধ 125 Ω। ভূমি প্রবাহ I_B = 30 μA পরিবর্তন করলে, সংগ্রাহক প্রবাহে পরিবর্তন 3·0 mA হয়। ওই ট্রানজিস্টরের লোড রোধ, R_L = 5 kΩ হলে, অ্যামপ্লিফায়ারটির ভোল্টেজ বিবর্ধন নির্ণয় কর। [JU-H (set-A) Admission Test, 2020-21 (মান ভিন্ন)]

এখানে,

$R_{in} = 125\ \Omega$

$\Delta I_B = 30\ \mu A = 30 \times 10^{-6}$ A

$\Delta I_C = 3{\cdot}0$ mA $= 3 \times 10^{-3}$ A

$R_L = 5\ k\Omega = 5 \times 10^{3}\ \Omega$

আমরা জানি,

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}}$$

আবার,

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{3 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}} = 100$$

এবং $A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}}$

$$\therefore\ A_V = 100 \times \frac{5 \times 10^{3}}{125} = 4000 = 4 \times 10^{3}$$

৩। একটি কমন এমিটার অ্যামপ্লিফায়ারে 2 kΩ সংগ্রাহক রোধের দুই প্রান্তে ভোল্টেজের মান 3V পাওয়া গেল। যদি প্রবাহ বিবর্ধন গুণক β এবং ভূমির রোধ যথাক্রমে 150 ও 500 Ω হয়, তবে ইনপুট ভোল্টেজ ও ভূমি প্রবাহ কত?

এখানে,

$V_0 = 3V$

$\beta = 150$

$R_C = 2\ k\Omega = 2 \times 10^{3}\ \Omega$

$R_B = 500\ \Omega$

$\alpha = ?$

$I_B = ?$

আমরা জানি,

ভোল্টেজ বিবর্ধন গুণক,

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = \beta \frac{R_L}{R_{in}} = \beta \frac{R_C}{R_B}$$

$$\therefore\ V_i = \frac{V_0 R_B}{\beta R_C} = \frac{3 \times 500}{150 \times 2 \times 10^{3}}$$

$$= 5 \times 10^{-3}\ V$$

এবং $I_B = \frac{V_i}{R_B} = \frac{5 \times 10^{-3}}{500} = 1 \times 10^{-5}\ A = 10\ \mu A$

৪। একটি সাধারণ নিঃসারক বিবর্ধকের প্রবাহ লাভ 70 হয় যদি নিঃসারক প্রবাহ 8·8 mA হয়। তাহলে সংগ্রাহক এবং পীঠ প্রবাহের মান নির্ণয় কর। ট্রানজিস্টরটি যখন সাধারণ পীঠ বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে, তখন প্রবাহ বিবর্ধন গুণক কত ? [রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2016-17]

আমরা জানি,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 70$$

আবার, $I_C = I_E - I_B = I_E - \frac{I_C}{\beta}$

বা, $I_C\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = I_E$

বা, $I_C\left(1 + \frac{1}{70}\right) = 8{\cdot}8 \times 10^{-3}$

বা, $I_C = \frac{8{\cdot}8 \times 10^{-3} \times 70}{71}$

$= 8{\cdot}676 \times 10^{-3}\ A = 8{\cdot}676$ mA

এবং $I_B = I_E - I_C = 8{\cdot}8 - 8{\cdot}676 = 0{\cdot}124$ mA

আবার, প্রবাহ বিবর্ধক গুণক,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{8{\cdot}676}{8{\cdot}8}$$

$= 0{\cdot}986$

৫। কোনো ট্রানজিস্টর 8·0 mA নিঃসারক প্রবাহ পরিবর্তনের জন্য 7·9 mA সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলো। প্রবাহ বিবর্ধক গুণক α এবং কারেন্ট গেইন β বের কর। [KUET Admission Test, 2003–04]

আমরা জানি,

$$\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C = 8 - 7\cdot9 = 0\cdot1 \text{ mA}$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{7\cdot9}{8} = 0\cdot9875$$

এবং $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{7\cdot9}{0\cdot1} = 79$

এখানে,

$\Delta I_E = 8\cdot0 \text{ mA}$

$\Delta I_C = 7\cdot9 \text{ mA}$

$\alpha = ?$

$\beta = ?$

৬। কোনো কমন বেস ট্রানজিস্টরের বেস কারেন্ট ও অ্যামিটার কারেন্ট যথাক্রমে 5×10^{-4} Amp ও 10^{-3} Amp। কালেকটর কারেন্ট ও কারেন্ট গেইন ফ্যাক্টর α নির্ণয় কর।

[ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); RUET Admission Test, 2008–09]

আমরা জানি,

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = I_E - I_B$$

$$= 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$$

$$= 5 \times 10^{-4} \text{ amp}$$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{5 \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 0\cdot5$$

এখানে,

$I_B = 5 \times 10^{-4}$ A

$I_E = 10^{-3}$ A

$I_C = ?$

$\alpha = ?$

৭। কোনো ট্রানজিস্টরের কমন বেস সার্কিটে এমিটার কারেন্ট 110 μA থেকে 160 μA এ উন্নীত করায় কালেক্টর কারেন্ট 96 μA থেকে 148 μA এ উন্নীত হলো। কারেন্ট অ্যামপ্লিফিকেশন ফ্যাক্টর এবং কারেন্ট গেইন নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); Admission Test : RUET 2018-19; CKRUET 2020-21 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি, কারেন্ট অ্যামপ্লিফিকেশন ফ্যাক্টর,

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{50 \text{ μA}}{52 \text{ μA}}$$

$$= 0\cdot96$$

এবং কারেন্ট গেইন বা প্রবাহ লাভ,

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C}$$

$$= \frac{50}{52 - 50} = \frac{50}{2} = 25$$

এখানে,

$\Delta I_E = (160 - 110)$ μA = 50 μA

$\Delta I_C = (148 - 96)$ μA = 52 μA

৮। সাধারণ এমিটার বিন্যাসে একটি ট্রানজিস্টরের $\beta = 75$ এবং ইনপুট রোধ $2k\Omega$। যদি ইনপুট ভোল্টেজের শীর্ষ মান 0·01V হয় কালেক্টর কারেন্টের শীর্ষ মান কত?

আমরা জানি কারেন্ট গেইন,

$$\beta = \frac{i_c}{i_b}$$

বা, $i_c = \beta \times i_b$

এখানে, $i_b = \frac{V_{BE}}{R_B} = \frac{0\cdot01}{2000}$

$$= 5 \times 10^{-6} \text{ A} = 5 \text{μA}$$

সুতরাং, কালেক্টর কারেন্টের শীর্ষ মান, $i_c = \beta \times i_b = 75 \times 5 \times 10^{-6}$

$$= 375 \times 10^{-6} = 0\cdot375 \text{ mA}$$

এখানে,

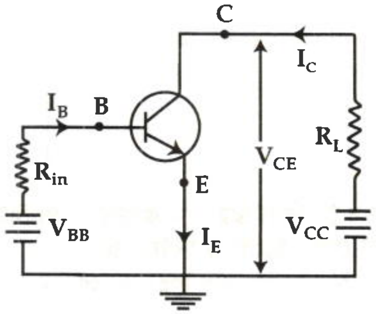
$\beta = 75$

$R_B = 2\ k\Omega = 2000\Omega$

$V_{BE} = 0\cdot01$ V

৯। সাধারণ নিঃসারক সংযোগ বর্তনীতে ব্যবহৃত একটি *n-p-n* ট্রানজিস্টরের সংগ্রাহককে প্রযুক্ত ভোল্টেজ 9 V এবং সংগ্রাহক বর্তনীতে লোড রোধ (Load resistance) 900Ω-এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য 0·9 V। যদি প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক $\alpha = \frac{49}{50}$ হয়, তাহলে সংগ্রাহক–নিঃসারক বিভব (V_{CE}) এবং ভূমি প্রবাহ (I_B) নির্ণয় কর। যদি

ট্রানজিস্টরের ইনপুন রোধ 225Ω হয় তবে ভোল্টেজ বিবর্ধন (voltage gain) এবং ক্ষমতা বিবর্ধন (power gain) কত হবে ? [কু. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]



এখানে,
$V_{CC} = 9$ V
$R_L = 900\Omega$
$V_L = 0·9$ V
$R_{in} = 225\Omega$
$\alpha = \frac{49}{50}$

এখানে, সংগ্রাহক প্রবাহ,

$$I_C = \frac{V_L}{R_L} = \frac{0·9}{900} \text{ A} = 1 \times 10^{-3} \text{ A}$$

সংগ্রাহক–নিঃসারক বর্তনী থেকে পাই,

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_L$$

বা, $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_L$

$\therefore$ $V_{CE} = 9 - 0·9 = 8·1$ V

আবার, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{\frac{49}{50}}{1-\frac{49}{50}} = \frac{\frac{49}{50}}{\frac{1}{50}} = 49$

আমরা জানি,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \text{ or, } I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \times 10^{-3}}{49} = 0·02 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$\therefore$ ভোল্টেজ বিবর্ধন,

$$A_V = \beta \frac{R_L}{R_{in}} = 49 \times \frac{900}{225} = 196$$

এবং ক্ষমতা বিবর্ধন, $A_P = \beta^2 \frac{R_L}{R_{in}} = \frac{(49)^2 \times 900}{225} = (49)^2 \times 4 = 9604$

প্রবাহ লাভ
Current gain

সাধারণ নিঃসারক বিন্যাসের বেলায় বা কমন এমিটার বিবর্ধকে ইনপুট কারেন্ট হলো I_B এবং আউটপুট কারেন্ট I_C। I_B এর সামান্য পরিবর্তনের জন্য I_C-এর যে পরিবর্তন হয় তাকে প্রবাহ লাভ (β) বলে। অর্থাৎ V_{CE} ধ্রুব থাকলে I_C এর পরিবর্তন ΔI_C এবং I_B এর পরিবর্তন ΔI_B এর অনুপাতকে বলা হয় প্রবাহ লাভ। সুতরাং

$$\text{প্রবাহ লাভ, } \beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (10.9)$$

ভোল্টেজ লাভ
Voltage gain

অ্যামপ্লিফায়ারের বহির্গামী ভোল্টেজের (ΔV_{CE}) পরিবর্তন এবং অন্তর্গামী ভোল্টেজের (ΔV_{BE}) পরিবর্তনের অনুপাতকে ভোল্টেজ লাভ বলে। অর্থাৎ

$$\text{ভোল্টেজ লাভ, } V_A = \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{BE}}$$

$$= \frac{\Delta I_C \times R_L}{\Delta I_B \times R_i}$$

$$= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \times \frac{R_L}{R_i} = \beta \times \frac{R_L}{R_i} \quad \left(\because \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)$$

ক্ষমতা লাভ
Power gain

বহির্গামী সিগন্যালের ক্ষমতা ও অন্তর্গামী সিগন্যালের ক্ষমতার অনুপাতকে অ্যামপ্লিফায়ারের ক্ষমতা লাভ বলে। অর্থাৎ,

ক্ষমতা লাভ, $P_A = \frac{P_0}{P_i}$

আবার, $P = I^2R$

$\therefore \quad P_0 = (\Delta I_C)^2 \times R_L$

এবং $\quad P_i = (\Delta I_B)^2 \times R_i$

$$\therefore \quad P_A = \frac{(\Delta I_C)^2 \times R_L}{(\Delta I_B)^2 \times R_i} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)^2 \times \frac{R_L}{R_i} = (\beta)^2 \times \frac{R_L}{R_i}$$

$$= \beta \times \beta \times \frac{R_L}{R_i}$$

$\therefore$ ক্ষমতা লাভ = প্রবাহ লাভ × ভোল্টেজ লাভ।

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক
Current amplification factor

সাধারণ পীঠ বা কমন বেস বিবর্ধকের ক্ষেত্রে ইনপুট কারেন্ট হলো I_E এবং আউটপুট কারেন্ট I_C। I_E-এর সামান্য পরিবর্তনের জন্য I_C-এর যে পরিবর্তন হয় তাকে প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (α) বলে। সংগ্রাহক পীঠ ভোল্টেজ V_{CB} ধ্রুব থাকলে I_C ও I_E এর অনুপাতকে কারেন্ট বিবর্ধন গুণক বলে।

অর্থাৎ $\alpha = \left(\frac{I_C}{I_E}\right)_{V_{CB}}$

$$= \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right)_{V_{CB}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.10)$$

α এবং β-এর মধ্যে সম্পর্ক

সমীকরণ (10.3) হতে পাই,

$I_E = I_B + I_C$

বা, $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$

বা, $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.11)$

সমীকরণ (10.8) অনুসারে,

$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

বা, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C}$

$= \frac{\Delta I_C / \Delta I_E}{1 - \Delta I_C / \Delta I_E}$

$$= \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad [\because \alpha = \Delta I_C / \Delta I_E] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.12)$$

জানার বিষয় : সাধারণ ভূমি সংযোগে ব্যবহৃত ট্রানজিস্টরের চেয়ে সাধারণ নিঃসারক সংযোগে ব্যবহৃত ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধন এবং ক্ষমতা বিবর্ধন অনেক বেশি হওয়ায় সাধারণ নিঃসারক সংযোগই বেশি গ্রহণযোগ্য।

কাজ : ট্রানজিস্টরের বেস অংশ পাতলা করে তৈরি করা হয় কেন ?

ট্রানজিস্টরের মাঝে থাকে বেস আর দুই পাশে থাকে ইমিটার ও কালেকটর। বেস অংশ হালকা করে তৈরি করা হয় যাতে ইমিটার থেকে আসা অধিকাংশ চার্জ বাহক এ অংশ ভেদ করে কালেকটর অংশে চলে যেতে পারে।

হিসাব : একটি কমন বেস সংযোগে কারেন্ট বিবর্ধন ফ্যাক্টর হলো 0·9 এবং এমিটার কারেন্ট 1 mA হলে বেস কারেন্ট কত?

এখানে, $\alpha = 0·9,\ I_E = 1\ mA$

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ থেকে I_C নির্ণয় করতে হবে।

এরপর $I_E = I_B + I_C$ সমীকরণে $I_E = 1\ mA$ ও ওপরের প্রাপ্ত I_C এর মান বসিয়ে I_B নির্ণয় করা হয়।

১০·১২·২ ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের ব্যবহার

(১) ইন্টারকমে ব্যবহার করা হয়।
(২) অ্যালার্ম সার্কিটে ব্যবহার করা হয়।
(৩) রেডিওতে ব্যবহার করা হয়।
(৪) মাইকে ব্যবহার করা হয়।

১০·১২·৩ অন্তর্গামী ও বহির্গামী রোধ

ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের কর্মক্ষমতা মূলত নির্ভর করে অন্তর্গামী রোধ (R_i); বহির্গামী রোধ (R_0), ভার রোধ (R_L), প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক (α), প্রবাহ লাভ (β), ভোল্টেজ লাভ (V_A) এবং ক্ষমতা লাভ P_A এর ওপর।

অন্তর্গামী রোধ (Input resistance) : ধ্রুব কালেক্টর ইমিটারে ভোল্টেজে (V_{CE}) বেস–ইমিটার ভোল্টেজের সামান্য পরিবর্তন (ΔV_{BE}) এবং এর ফলে বেস প্রবাহের পরিবর্তনের (ΔI_B) অনুপাতকে অন্তর্গামী রোধ বা গতীয় রোধ (R_D) বলে। অর্থাৎ

অন্তর্গামী রোধ $R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$, অ্যামপ্লিফায়ারের ইমিটার-বেস ΔI_B সম্মুখী ঝোঁকে থাকার কারণে অন্তর্গামী রোধের মান খুব কম হয়।

বহির্গামী রোধ (Output resistance) : ধ্রুব বেস প্রবাহে কালেক্টর–ইমিটার ভোল্টেজের পরিবর্তন (ΔV_{CE}) এবং এর ফলে কালেক্টর প্রবাহের পরিবর্তনের (ΔI_C) অনুপাতকে বহির্গামী রোধ বলে। অর্থাৎ

বহির্গামী রোধ, $R_0 = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$

অ্যামপ্লিফায়ারের বেস – কালেক্টর বিপরীত ঝোঁকে থাকার জন্য বহির্গামী রোধ উচ্চ মানের হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৪

১। ট্রানজিস্টর-এর সাধারণ পীঠ সংযোগে রয়েছে। এর নিঃসারক প্রবাহ 0·85 mA এবং পীঠ প্রবাহ 0·05 mA। প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α ও β-এর মান বের কর। [দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১০, ২০০৫; সি. বো. ২০০৬; রা. বো. ২০০৪; কু. বো. ২০০২; RUET Admission Test, 2007-08]

আমরা জানি,

$I_E = I_C + I_B$

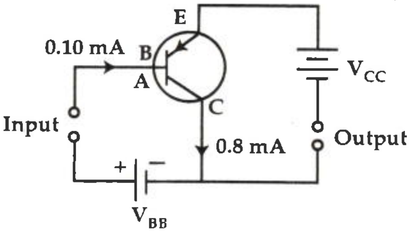
$I_C = I_E - I_B = (0·85 - 0·05)\ mA = 0·80\ mA$

এখানে,
$I_B = 0·05\ mA$
$I_E = 0·85\ mA$

এখন, $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0·80}{0·85} = 0·94$

এবং $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0·80}{0·05} = 16$

২। নিচের চিত্রের প্রবাহ বিবর্ধক গুণক এবং প্রবাহ লাভ নির্ণয় কর।



আমরা জানি,

$I_E = I_C + I_B = 0·8 + 0·1 \times 10^{-3}$

$= 0·8 + 0·0001 = 0·8001$

$\therefore\ \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0·8}{0·8001} = 0·9876$

এখানে,
$I_C = 0·8\ A$
$I_B = 0·10\ mA$
$= 0·1 \times 10^{-3}\ A$

আবার, $\beta = \frac{I_C}{I_\beta} = \frac{0·8}{0·1 \times 10^{-3}} = \frac{0·8 \times 10^3}{0·1} = 8 \times 10^3$

৩। একটি ট্রানজিস্টরের নিম্নলিখিত রাশিগুলি পরিমাপ করা হলো। $I_C = 5$ mA ; $I_B = 100$ μA। ট্রানজিস্টারের α, β এবং I_E-এর মান বের কর। [ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০১২১ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০০৭; CKRUET Admission Test, 2021-22]

দেওয়া আছে,

$I_C = 5\text{ mA} = 5 \times 10^{-3}$ A

$I_B = 100\ \mu$A $= 0{\cdot}1 \times 10^{-3}$ A

আমরা জানি, $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

সুতরাং, প্রশ্নানুসারে, $\beta = \frac{5 \times 10^{-3}\text{ A}}{100 \times 10^{-6}\text{ A}} = \frac{5 \times 10^{-3}\text{ A}}{0{\cdot}1 \times 10^{-3}\text{ A}} = 50$

আবার, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

বা, $50 = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

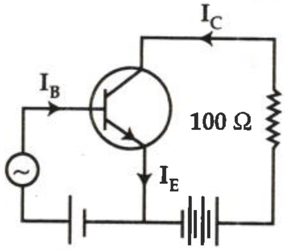
বা, $50 - 50\alpha = \alpha$

বা, $-51\alpha = -50$

$\therefore \alpha = \frac{50}{51} = 0{\cdot}98$

এখন, $I_E = I_B + I_C = 100\ \mu\text{A} + 5\text{ mA} = 0{\cdot}1\text{ mA} + 5\text{ mA} = 5{\cdot}1\text{ mA}$

৪। একটি *n–p–n* ট্রানজিস্টরকে কমন অ্যামিটার সংযোগ করে বেস অ্যামিটার জাংশনে 0·75V বিভব প্রয়োগে বেস প্রবাহ 8 mA এবং 1·15V বিভব প্রয়োগে বেস প্রবাহ 22 mA পাওয়া গেল। এজন্য বহিঃবর্তনীতে 100 Ω লোড রোধের বিপরীতে অ্যামিটার প্রবাহের পরিবর্তন 16 mA পাওয়া গেল। প্রবাহ বিবর্ধক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।



এখানে,

বেস প্রবাহের পরিবর্তন,

$\Delta I_B = (22 - 8) \times 10^{-3}\text{ A} = 14 \times 10^{-3}$ A

অ্যামিটার প্রবাহের পরিবর্তন,

$\Delta I_E = 16\text{ mA} = 16 \times 10^{-3}$ A

আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধক গুণাঙ্ক

$\alpha = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right)_{V_{CB}}$ এবং

$\Delta I_C = \Delta I_E - \Delta I_B = (16 - 14) \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-3}$ A

$\therefore \alpha = \left(\frac{2 \times 10^{-3}}{16 \times 10^{-3}}\right) = 0{\cdot}125$

৫। একটি *n–p–n* ট্রানজিস্টরকে সাধারণ নিঃসারক বর্তনীতে রাখা আছে। ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ, β=100। সংগ্রাহক প্রবাহ 1 mA পরিবর্তিত হলে নিঃসারক প্রবাহের পরিবর্তন কত হবে ?

এখানে,

$\beta = 100$

$\Delta I_C = 1$ mA

আমরা জানি,

প্রবাহ লাভ, $\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$

অর্থাৎ, $\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\beta} = \frac{1}{100} = 0{\cdot}01$ mA

$\therefore \Delta I_E = \Delta I_C + \Delta I_B = 1 + 0{\cdot}01 = 1{\cdot}01$ mA

৬। একটি ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে $\alpha = 0{\cdot}95$ এবং $I_E = 1$ mA হলে I_C, I_B ও β এর মান কত হবে ?

[DU (প্রযুক্তি) Admission Test, 2021-22 (মান ভিন্ন)]

এখানে
$\alpha = 0{\cdot}95$
$I_E = 1\,mA$
$\beta = ?$

আমরা জানি,

$\beta = \frac{I_C}{I_B}$ এবং

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

$\therefore \quad I_C = \alpha \times I_E = 0{\cdot}95 \times 1 = 0{\cdot}95\,mA$

আবার, $I_B = I_E - I_C = 1 - 0{\cdot}95 = 0{\cdot}05\,mA$

$\therefore \quad \beta = \frac{0{\cdot}95}{0{\cdot}05} = 19$

৭। একটি CE ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের জন্য কালেক্টর রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য 3V। ধরা যাক, ট্রানজিস্টরের তড়িৎ বিবর্ধন গুণক 100। যদি পীঠ রোধ 1 $k\Omega$ হয়, তবে ইনপুট সিগনাল ভোল্টেজ এবং পীঠ প্রবাহ নির্ণয় কর।

এখানে
$V_0 = 3V$
$R_C = 3\,k\Omega = 3 \times 10^3\,\Omega$
$\beta = 100$
$R_B = 1\,k\Omega = 1 \times 10^3\,\Omega$

আমরা জানি,

$A_V = \frac{V_0}{V_i} = \beta \frac{R_C}{R_B}$

$\therefore \quad V_i = \frac{V_0 R_B}{\beta R_C} = \frac{3 \times 1 \times 10^3}{100 \times 3 \times 10^3}$

$= 0{\cdot}01\,V$

এবং $I_B = \frac{V_i}{R_B} = \frac{0{\cdot}01}{1 \times 10^3} = 1 \times 10^{-5} A = 10\mu A$

৮। একটি সাধারণ এমিটার অ্যামপ্লিফায়ারের ভোল্টেজ গেইন 60, ইনপুট রোধ 150Ω এবং বহিঃ রোধ 30Ω। অ্যামপ্লিফায়ারের ক্ষমতা লাভ কত ?

এখানে
$R_i = 150\Omega$
$R_0 = 300\,\Omega$
$A_V = 60$

আমরা জানি ক্ষমতা লাভ,

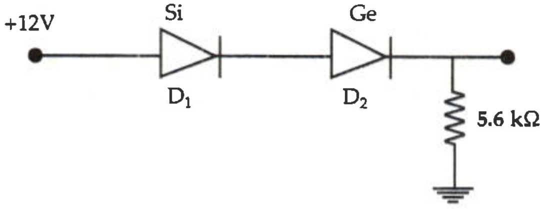
$$A_P = \beta \times \beta \frac{R_0}{R_i} = \beta^2 \frac{R_0}{R_i} = \frac{\left(\frac{\beta R_0}{R_i}\right)^2}{\frac{R_0}{R_i}}$$

$$= A_V^2 \times \frac{R_i}{R_0} \qquad \left[\because A_V = \beta \frac{R_0}{R_i}\right]$$

$$= 60^2 \times \frac{150}{300} = 1800$$

৯। নিচের চিত্রে Si ও Ge ডায়োড দুটির নি-ভোল্টেজ যথাক্রমে 0·7V এবং 0·3V। 5·6 kΩ রোধের মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহিত হবে ? Ge ডায়োডটি উল্টো করে সংযোগ দিলে রোধটির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত হবে?

[ব. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৫]



১ম অংশ :

যেহেতু D_1 এবং D_2 সম্মুখ ঝোঁকে সংযুক্ত, সুতরাং বর্তনীর মোট ভোল্টেজ, $V = 12 - 0{\cdot}7V - 0{\cdot}3\,V = 11$ Volt

আবার, বর্তনীর রোধ, $R = 5{\cdot}6\,k\Omega = 5{\cdot}6 \times 10^3\,\Omega$

$\therefore$ R রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ, $I = \frac{V}{R} = \frac{11}{5{\cdot}6 \times 10^3} = 1{\cdot}96\,mA$

২য় অংশ :

Ge কে উল্টো করে লাগালে বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হবে। তখন বর্তনী তথা $5{\cdot}6\ k\Omega$ রোধের মধ্য দিয়ে কোনো প্রবাহ চলে না।

∴ রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য $V' = IR = 0 \times 5{\cdot}6 \times 10^3 = 0$ Volt

১০। একটি n–p–n ট্রানজিস্টরের সংগ্রাহক প্রবাহ 8 mA। যদি নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলির 99·6% সংগ্রাহকে পৌঁছায়, তাহলে নিঃসারক প্রবাহ, ভূমি প্রবাহ ও বিবর্ধন গুণাঙ্ক (β) নির্ণয় কর।

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{\text{সংগ্রাহক প্রবাহ, } I_C}{\text{নিঃসারক প্রবাহ, } I_E} = 99{\cdot}6\% = \frac{966}{1000}$$

অর্থাৎ $I_E = I_C \times \frac{1000}{996} = 8 \times \frac{1000}{996} = 8{\cdot}032$ mA

আমরা জানি,

ভূমি প্রবাহ, $I_B = I_E - I_C = 8{\cdot}032 - 8 = 0{\cdot}032$ mA

এখানে
$I_C = 8$ mA

বিবর্ধন গুণাঙ্ক, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{8}{0{\cdot}032} = 250$

১১। একটি সিলিকন ট্রান্সজিস্টরের ইনপুট রোধ 150Ω। পীঠ প্রবাহ 50 μA পরিবর্তনের জন্য কালেক্টর প্রবাহের পরিবর্তন হয় 2·5 mA। ট্রানজিস্টরটি সাধারন এমিটার অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা হয়েছে যার ভার রোধ 5kΩ। অ্যামপ্লিফায়ারের ভোল্টেজ লাভ নির্ণয় কর।

আমরা জানি ভোল্টেজ লাভ,

$$A_V = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} = \frac{\Delta I_C R_L}{\Delta I_B R_B} = \beta \frac{R_L}{R_B}$$

এবং তড়িৎ লাভ, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2{\cdot}5 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} = 50$

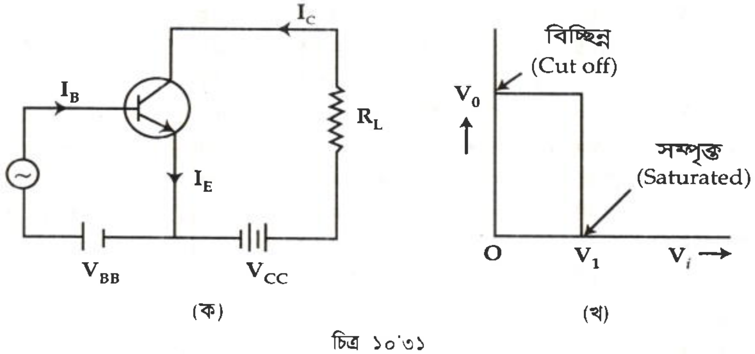
∴ ভোল্টেজ লাভ $A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_B} = 50 \times \frac{5 \times 10^3}{150} = 1666{\cdot}67$

এখানে
$\Delta I_B = 50\mu A = 50 \times 10^{-6}$ A
$\Delta I_C = 2{\cdot}5$ mA $= 2{\cdot}5 \times 10^{-3}$ A
$R_i = 150\Omega$
$R_L = 5\ k\Omega = 5 \times 10^3\ \Omega$

১০·১৩ সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার
Use of Transistor as switch

যেকোনো আদর্শ সুইচকে 'অন' (On) করলে সেটি একটি সর্ট সার্কিট (short circuit) এবং 'অফ' (Off) করলে একটি ওপেন সার্কিট (Open circuit) তৈরি হয়। এছাড়া নিমিষেই এই আদর্শ সুইচ 'অফ' অবস্থা থেকে 'অন' অবস্থায় বা 'অন' অবস্থা থেকে 'অফ' অবস্থায় চলে যেতে পারে।

একটি ট্রানজিস্টর আদর্শ সুইচের শর্তগুলো সঠিকভাবে পূরণ না করলেও সুইচ হিসেবে বিভিন্ন ইলেকট্রনিক বর্তনীতে এর বহুল ব্যবহার রয়েছে। ট্রানজিস্টরে বেস বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ না চালালে কালেক্টর বর্তনীতে কোনো



চিত্র ১০·৩১

তড়িৎ প্রবাহ চলে না। সুতরাং ট্রানজিস্টরকে সুইচ হিসেবে ব্যবহার করা যায় যা বেস প্রবাহের পরিবর্তন ঘটিয়ে 'অন' 'অফ' করা যেতে পারে। চিত্র নং ১০·৩১(ক)-এ একটি n–p–n ট্রানজিস্টর সাধারণ এমিটার সংযোগে দেখানো হয়েছে।

এটি একটি সুইচ বর্তনী হিসেবে কাজ করে। ট্রানজিস্টর ব্যবহার করে বিভিন্ন ধরনের সুইচ তৈরি করা সম্ভব। যেমন—(ক) আলোক চালিত সুইচ (খ) শব্দ চালিত সুইচ (গ) তাপ চালিত সুইচ।

কার্যনীতি : চিত্রে V_i = ইনপুট ভোল্টেজ, V_0 = আউটপুট ভোল্টেজ = V_{CE} = কালেক্টর ও এমিটারের মধ্যে বিভব পার্থক্য।

(i) যখন $V_i = 0$, তখন বেস এমিটার জাংশনে কোনো ভোল্টেজ থাকে না, অর্থাৎ $V_{BE} = 0$ হয়। ফলে বেস কারেন্ট $I_B = 0$ হয়। এখন যেহেতু $I_B = 0$, সুতরাং কালেক্টর কারেন্ট $I_C = 0$। চিত্র ১০·৩১(ক) হতে আমরা পাই,

$$V_0 = V_S - I_C R_L \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.13)$$

এখন যেহেতু $I_C = 0$, যখন $V_i = 0$

$\therefore \quad V_0 = V_S$, V_S = সরবরাহ ভোল্টেজ

(ii) V_i কে আস্তে আস্তে বৃদ্ধি করলে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত $V_i > V_1$ অর্থাৎ $V_i \leq V_1$, ততক্ষণ বেস কারেন্ট I_B খুবই সামান্য বৃদ্ধি পায়; I_Cও সামান্য বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় ট্রানজিস্টরটি বিচ্ছিন্ন বা অফ (Cut-off) রয়েছে বলা হয়। তখন $I_C = 0$।

(iii) এখন V_i বৃদ্ধি পেয়ে V_2 হলে, কালেক্টর কারেন্ট উল্লেখযোগ্য পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং সে অবস্থায় R_L এর মধ্যে বিভব পতন প্রায় সরবরাহ ভোল্টেজ V_S এর সমান হয়। সমীকরণ (10.12) অনুসারে তখন $V_0 = 0$ হয়। ইনপুট ভোল্টেজ V_i এর মান V_2 এর বেশি হলে I_C এর তেমন একটা পরিবর্তন ঘটে না বিধায় আউটপুট ভোল্টেজ V_0 এর ওপর কোনো প্রভাব পড়ে না। এই অবস্থায় ট্রানজিস্টরটি সম্পৃক্ত (Saturated) হয়েছে বলা হয়।

সুতরাং দেখা যায় যে ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরটি দুটি অবস্থানে পরিবর্তন করা যায়। একটি বিচ্ছিন্ন (cut off) অবস্থা ($V_0 = V_S$) এবং অন্যটি সম্পৃক্ত (saturated) অবস্থা ($V_0 = 0$)। ট্রানজিস্টরের এই চালু এবং বন্ধ (on and off) অবস্থা ডিজিটাল কম্পিউটারে ব্যবহৃত হয়। একটি ট্রানজিস্টর প্রতি সেকেন্ডে বহু লক্ষবার অবস্থা পরিবর্তন করতে পারে। এক সুইচের আউটপুটকে অন্য সুইচের ইনপুট হিসেবে ব্যবহার করা যায় এবং বহু সংখ্যক সুইচকে যুক্ত করে অতি দ্রুততার সঙ্গে জটিল গাণিতিক হিসাব সম্পন্ন করা যায়।

সম্প্রসারিত কাজ : আলোক চালিত ডায়োড বা Light operated switch কীভাবে কাজ করে ?

প্রত্যেকটি সুইচ সার্কিটে পীঠ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের জন্য একটি বিভব বিভাজক ব্যবহার করা হয়। এই সুইচ সার্কিটে সংযুক্ত বাল্বটি আলোর উপস্থিতিতে জ্বলে এবং অন্ধকারে নিভে যায়। এই কাজটি LDR (Light Dependent Resistor) বা ফটো রেজিস্টারের দ্বারা করা হয়। যখন আলো থাকে না তখন এটি 1 μΩ রোধ প্রাপ্ত হয় ফলে উৎস ভোল্টেজের সামান্য অংশ বর্তনীতে যুক্ত রোধক R এর দুই প্রান্তে পাওয়া যায়। ফলে বেস কারেন্ট খুব কম হয় এবং ট্রানজিস্টর অফ অবস্থায় থাকে। আবার আলোর উপস্থিতিতে LDR এর রোধ কয়েক শত ও'ম হয়। ফলে R এর দুই প্রান্তের ভোল্টেজ বৃদ্ধি পায় এবং বেস কারেন্টও বৃদ্ধি পায় ফলে ট্রানজিস্টর অন হয় এবং আলো জ্বলে ওঠে। এভাবে ট্রানজিস্টর সুইচ হিসেবে কাজ করে।

১০·১৪ সংখ্যা বা নম্বর পদ্ধতি
Number System

সভ্যতার শুরু থেকেই মানুষের মাঝে হিসাব বা গণনা করার ধারণা জন্মায়। তখন থেকেই প্রয়োজন ও সুবিধা অনুযায়ী বিভিন্ন ধরনের গণনা পদ্ধতি সৃষ্টি হতে থাকে। গণনা প্রক্রিয়ার মধ্যে ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক ব্যবহৃত হয়, যেমন হাত, আঙ্গুল, ডিজিট (0, 1, 2, 3 …………) ইত্যাদি। এই একক বা ইউনিটগুলো এককভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে কোনো পূর্ণ সংখ্যা প্রকাশ করা যায়।

কোনো সংখ্যা লেখা বা প্রকাশ করার পদ্ধতিকেই সংখ্যা বা নম্বর পদ্ধতি বলে। সংখ্যা তৈরি করার বিভিন্ন প্রতীকই হলো অঙ্ক। সংখ্যা পদ্ধতির সাহায্যে অঙ্ক ব্যবহার করে যে কোনো পরিমাণ (quantity) প্রকাশ করা যায়, যেমন দশমিক পদ্ধতিতে 507 সংখ্যাটি 5, 0 ও 7 আলাদা তিনটি অঙ্কের দ্বারা গঠিত হয়েছে। সংখ্যা পদ্ধতিতে কিছু নির্দিষ্ট অঙ্ককে নিয়ম অনুসরণ করে সাজালে বিভিন্ন সংখ্যা পাওয়া যায়। এসব সংখ্যাকে বিভিন্ন গাণিতিক নিয়ম, যেমন যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ ইত্যাদি দ্বারা গণনার কাজ সম্পন্ন করা যায়।

সংখ্যা পদ্ধতির ভিত
Base of number system

কোনো সংখ্যা পদ্ধতির ভিত বা বেস হচ্ছে ওই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মৌলিক চিহ্নসমূহের মোট সংখ্যা। যেমন দশমিক পদ্ধতিতে দশটি মৌলিক চিহ্ন আছে; যথা— 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9। সুতরাং এর ভিত্তি বা বেস 10।

RMDAC

সংখ্যা পদ্ধতির বেস বা ভিতের উপর নির্ভর করে পজিশনাল সংখ্যা পদ্ধতি বিভিন্ন ধরনের হতে পারে। ডিজিটাল সার্কিটে চার ধরনের গাণিতিক সিস্টেম ব্যবহৃত হয়। এগুলি হলো :

১। দশমিক বা 10 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি

২। বাইনারি বা 2 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি

৩। অক্টাল বা 8 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি

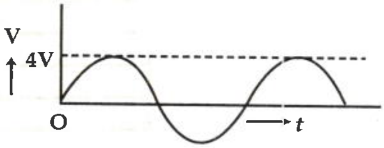
৪। হেক্সাডেসিমেল বা 16 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি ইত্যাদি।

ইলেকট্রনিকস বর্তনীর শ্রেণিবিভাগ
Types of electronic circuits

ইলেকট্রনিকস বর্তনীকে মোটামুটি দুইভাগে ভাগ করা যায়। যথা–

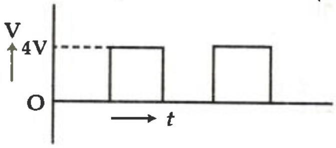
(i) এনালগ ইলেকট্রনিক বর্তনী (Analogue electronic circuit) এবং (ii) ডিজিটাল ইলেকট্রনিক বর্তনী (Digital electronic circuit)

(i) এনালগ বর্তনী : এই ধরনের বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা এবং ভোল্টেজ সংকেত (signal) সময়ের সঙ্গে নিরবচ্ছিন্নভাবে পরিবর্তিত হয়। এই সংকেতগুলোকে এনালগ বা নিরবচ্ছিন্ন (continuous) সংকেত বলে। চিত্র ১০·৩২-এ একটি এনালগ সংকেতের প্রকৃতি দেখানো হয়েছে। স্পষ্টতই এটি সময়ের সাথে সাইন তরঙ্গারূপে পরিবর্তিত দেখানো হয়েছে। এর সর্বোচ্চ মান 4V। ভোল্টমিটার, অ্যামিটার, মাল্টিমিটার, গ্যালভানোমিটার ইত্যাদি এনালগ বর্তনীর উদাহরণ।



চিত্র ১০·৩২

(ii) ডিজিটাল বর্তনী : এই ধরনের বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা এবং ভোল্টেজের সংকেতের মাত্র দুটি অবস্থা বা স্তর (level) থাকে; যথা— অন (ON) বা অফ (OFF) অথবা 0 বা 1। এই ধরনের সংকেতগুলোকে ডিজিটাল সংকেত বলে। অর্থাৎ ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক বা ডিজিট (0, 1) ব্যবহৃত হয়। এই একক বা ইউনিটগুলো এককভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে পূর্ণ সংখ্যা প্রকাশ করা হয়।



চিত্র ১০·৩৩

চিত্র ১০·৩৩-এ একটি ডিজিটাল সংকেত দেখানো হয়েছে। এই বর্তনীতে বাইনারি সংখ্যা ব্যবহার করা হয়। ডিজিটাল বর্তনীতে এক ভোল্টেজ স্তর থেকে অন্য ভোল্টেজ স্তরে যেতে সুইচ হিসেবে ডায়োড বা ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়। ইলেকট্রনিক ক্যালকুলেটর, কম্পিউটার ইত্যাদি ডিজিটাল বর্তনীর উদাহরণ। যোগাযোগ ব্যবস্থায় এনালগ ও ডিজিটাল উভয় পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

কাজ : ডিজিটাল ও এনালগ পদ্ধতির মধ্যে পার্থক্য কী ? ডিজিটাল ও এনালগ সিগনাল অঙ্কন করে দেখাও।

১। ডেসিমাল বা দশমিক সংখ্যা পদ্ধতি (Decimal Number System) :

দশমিক পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস হচ্ছে 10। কারণ এই পদ্ধতিতে মোট 10টি মৌলিক চিহ্ন আছে। যথা 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9।

স্থানীয় মান : আমাদের প্রয়োজনীয় গাণিতিক কাজগুলো সাধারণত দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে করা হয়। দশমিক পদ্ধতির একটি সংখ্যা যেমন 528 ধরা যাক। এই সংখ্যাটির 5 অঙ্কটির নিজের মান 5, এই সংখ্যাটি তৃতীয় অবস্থানে (অর্থাৎ শতকের ঘরে) রয়েছে। এখানে সংখ্যা পদ্ধতির বেস বা ভিত 10। সংখ্যাটিকে গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়,

$$528 = 5 \times 100 + 2 \times 10 + 8 \times 1$$

বা, $5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 8 \times 10^0$

উল্লেখ্য, শূন্য ছাড়া যে কোনো সংখ্যার ঘাত (Power) শূন্য হলে তার মান 1 হয়।

কোনো একটি দশমিক সংখ্যা প্রকাশের জন্য একক, দশক, শতকের ঘর অর্থাৎ 10^0, 10^1, 10^2 ইত্যাদির ঘর আছে। এখানে প্রত্যেকটি স্থানকেই 10 এর পাওয়ার (Power) হিসেবে দেখানো হয়েছে। যেমন 432·45-কে ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে নিম্নলিখিত উপায়ে লেখা যায়।

$$432{\cdot}45_{10} = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

২। বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি (Binary Number System) :

বাইনারি পদ্ধতিতে 0 এবং 1 এই দুটি মাত্র অঙ্ক ব্যবহার করা হয়। এজন্য এই পদ্ধতিকে দ্বিমিক সংখ্যা পদ্ধতিও বলা হয়। এ সংখ্যা পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস 2। এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত 0 বা 1 অঙ্ককে বিট বলা হয়। সাধারণত ৪টি বিট সমন্বয়ে 1টি বাইট (byte) গঠিত হয়।

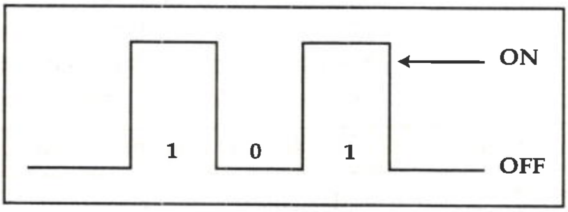
দশমিক পদ্ধতিতে 0 থেকে 9 পর্যন্ত গণনার জন্য একটি স্থান প্রয়োজন এবং তার পরে দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থান ব্যবহার করা হয়। যেমন 9 এর পরে 10 হয়। তেমনি বাইনারি পদ্ধতির 0 এবং 1 গণনার জন্য একটি স্থান, তারপরে দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থান প্রয়োজন হয়। নিচের সারণিতে দশমিক ও সমকক্ষ বাইনারি নিয়মে গণনা দেখানো হয়েছে।

সারণি-১

দশমিক পদ্ধতি	বাইনারি পদ্ধতি
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

বাইনারি পদ্ধতি হলো সরলতম গণনা পদ্ধতি। বাইনারি বা 2 ভিত্তিক পদ্ধতি কম্পিউটারের জন্য প্রযোজ্য। 0 এবং 1 কে বিভিন্নভাবে সাজিয়ে সকল সংখ্যাকে বাইনারি সংখ্যায় লেখা যায়। এই পদ্ধতির বিট দুটিকে সহজে ইলেকট্রনিক উপায়ে নির্দেশ করা সম্ভব। কম্পিউটার বা ইলেকট্রনিক যন্ত্র দুটি অবস্থা সহজেই অনুধাবন করতে পারে। একটি হলো লজিক লেভেল 0, একে OFF, LOW, FALSE কিংবা NO-ও বলা হয়। অন্যটি হলো লজিক লেভেল 1, একে ON, HIGH, TRUE কিংবা YES-ও বলা হয়।

নিচের চিত্রে ডিজিটাল সংকেত (digital signal) দ্বারা ON ও OFF বা 1 ও 0 কে দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.৩৪

১০.১৪.১ বাইনারি নম্বর থেকে ডেসিমেল নম্বরে রূপান্তর
Conversion of binary number to decimal number

বাইনারি থেকে ডেসিমেলে রূপান্তর করতে প্রত্যেকটি ডিজিটের স্থানীয় মানকে 2 এর সূচক হিসেবে লিখতে হয়। কোনো ডিজিটের ডান পার্শ্বে 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 ক্রমানয়ে গুণ করে গুণফলকে যোগ করে ডেসিমেলের মান পাওয়া যায়।

উদাহরণ I : বাইনারি 101011_2-কে ডেসিমেলে প্রকাশ কর।

বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতিতে,

$101011_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 10^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

$= 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 43$

$\therefore 101011_2 = 43_{10}$ (ডেসিমেলে প্রকাশিত)

উদাহরণ II : $(1100\cdot11)_2$-কে ডেসিমেলে প্রকাশ কর।

$$
\begin{aligned}
(1100\cdot11)_2 &= 1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+0\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}\\
&= 8+4+0+0+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\\
&= 12+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=12+\frac{2+1}{4}\\
&= 12+\frac{3}{4}=12+0\cdot75\\
&= (12\cdot75)_{10}
\end{aligned}
$$

১০·১৪·২ ডেসিমেল নম্বরকে বাইনারি নম্বরে রূপান্তর
Conversion of decimal number to binary number

কোনো ডেসিমেল পদ্ধতির বেস হলো 10 এবং বাইনারি পদ্ধতির বেস হলো 2। ডেসিমেল পদ্ধতি থেকে বাইনারি পদ্ধতিতে রূপান্তরের দুটি ধারা হলো—

(১) ডেসমিল নম্বরকে 2 দ্বারা বার বার ভাগ করতে হবে যতক্ষণ না ভাগফল শূন্য হয়।

(২) ভাগশেষ বা অবশিষ্টকে উল্টো দিক থেকে পরপর পাশাপাশি সাজিয়ে বাইনারি নম্বর পাওয়া যাবে।

উদাহরণ I : ডেসিমেল 25_{10}কে বাইনারিতে প্রকাশ কর।

2	25	ভাগশেষ
2	12 —	1
2	6 —	0
2	3 —	0
2	1 —	1
	0 —	1

$\therefore\ 25_{10} = 11001_2$

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 শূন্য হয়। একই ভগ্নাংশ দুবার হলে আর গুণ করতে হবে না। এরপর হাতে রাখা পূর্ণ সংখ্যা ওপর থেকে নিচের দিকে পাশাপাশি সাজাতে হবে।

উদাহরণ II : 0·75 এর বাইনারিতে রূপান্তর কর।

	0·75 × 2
1	·50 × 2
1	·00

$\therefore\ (0\cdot75)_{10} = (0\cdot11)_2$

উদাহরণ III : ডেসিমেল $25\cdot625_{10}$-কে বাইনারিতে প্রকাশ কর।

পূর্ণসংখ্যার ক্ষেত্রে (↑)	**দশমিকের ক্ষেত্রে** (↓)
$25\div2=12+1$	$0\cdot625\times2=1\cdot25=0\cdot25+1$
$12\div2=6+0$	$0\cdot25\times2=0\cdot5=0\cdot5+0$
$6\div2=3+0$	$0\cdot5\times2=1\cdot0=0\cdot0+1$
$3\div2=1+1$	
$1\div2=0+1$	

$\therefore\ 25_{10} = 11001_2$ $\qquad\therefore\ 0\cdot625_{10} = \cdot101_2$

সুতরাং, $25\cdot625_{10} = 11001\cdot101_2$

বিট (Bit) : বাইনারি সংখ্যা পদ্দতির 0 এবং 1 এই দুটি মৌলিক ডিজিটকে বিট বলে।

বাইট (Byte) : আটটি বিটের গ্রুপ নিয়ে গঠিত শব্দকে বাইট বলা হয়। এক বাইটকে এক কারেক্টরও বলে।

8 bit = 1 byte
1024 byte = 1 kilobyte (kB)
1024 kilobyte = 1 megabyte (MB)
1024 megabyte = 1 gigabyte (GB)

উদাহরণ IV : $0{\cdot}3_{10}$ ডেসিমেলকে বাইনারিতে প্রকাশ কর।

$2 \times 0{\cdot}3 = 0{\cdot}6$
$2 \times 0{\cdot}6 = 1{\cdot}2$
$2 \times 0{\cdot}2 = 0{\cdot}4$
$2 \times 0{\cdot}4 = 0{\cdot}8$
$2 \times 0{\cdot}8 = 1{\cdot}6$ 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1
$2 \times 0{\cdot}6 = 1{\cdot}2$
$2 \times 0{\cdot}2 = 0{\cdot}4$
$2 \times 0{\cdot}4 = 0{\cdot}8$
$2 \times 0{\cdot}8 = 1{\cdot}6$

এক্ষেত্রে আমরা দেখি যে গুণফল কখনো 1 হবে না এবং 1001 পুনঃপুন পুনরাবৃত্তি ঘটে। সুতরাং 0·3 কে বাইনারি অংশকে পূর্ণ সংখ্যায় প্রকাশ করা যায় না। যেহেতু 1001 পুনরাবৃত্তি ঘটে। তাই অংশ বিশেষ 0·010011001 ……, ত্রটি লেখা যায় (0, 0) $(1001)^2$।

$\therefore (0{\cdot}3)_{10} = (0{\cdot}0)\ (1001)_2$

এটা উল্লেখ করা প্রয়োজন যে যেকোনো হিসাবের ক্ষেত্রে শুধু বিন্দুর পরে সে সমস্ত সার্থক সংখ্যা প্রয়োজন সেগুলোই বিবেচনা করা হয়। যদি তুমি সাতটি সার্থক সংখ্যা প্রয়োজন মনে কর তবে বিন্দুর পরে লিখবে,

$(0{\cdot}3)_{10} = (0{\cdot}0100110)_2$

৩। অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতি (Octal Number System) :

অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 8। এই পদ্ধতির আটটি অঙ্ক হলো 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ও 7। আধুনিক কম্পিউটার উন্নয়নের প্রাথমিক অবস্থায় এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হতো। সারণিতে অক্টাল পদ্ধতিতে গণনার রীতি দেখানো হয়েছে।

সারণি-২

দশমিক পদ্ধতি	অক্টাল পদ্ধতি
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	10
9	11
10	12
11	13

উদাহরণ I : 56_{10} সংখ্যাকে অক্টাল বা 8 ভিত্তিক সংখ্যায় রূপান্তর কর।

8	56	— ভাগশেষ
8	7	— 0
	0	— 7

$\therefore\ 56_{10} = 70_8$

উদাহরণ II : $0{\cdot}15_{10}$ কে 8 ভিত্তিক সংখ্যায় রূপান্তর কর।

$0{\cdot}15 \times 8 = 1{\cdot}20 = 0{\cdot}20 + 1$
$0{\cdot}20 \times 8 = 1{\cdot}60 = 0{\cdot}60 + 1$
$0{\cdot}60 \times 8 = 4{\cdot}80 = 0{\cdot}80 + 4$

$\therefore\ 0{\cdot}15_{10} = 0{\cdot}114_8$

উদাহরণ III : 352_8-কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

প্রথমে প্রত্যেক ডিজিটের অবস্থান মান (Position value) জানতে হবে যা ৪ এর বিভিন্ন পাওয়ার দ্বারা নির্দেশিত হয় যেমন—

$$\longleftarrow 8^3 \quad 8^2 \quad 8^1 \quad 8^0 \quad \cdot \quad 8^{-1} \quad 8^{-2} \quad 8^{-3} \longrightarrow$$

↑ অক্টাল পয়েন্ট

3	5	2
8^2	8^1	8^0
64	8	1

$$\therefore \quad 352_8 = 3\times 8^2 + 5\times 8^1 + 2\times 8^0$$
$$= 3\times 64 + 5\times 8 + 2\times 1$$
$$= 192 + 40 + 2 = 234_{10}$$

উদাহরণ IV : $206\cdot104_8$-কে ডেসিমেলে রূপান্তর কর।

প্রথমে প্রত্যেক ডিজিটের অবস্থান মান (Position value) জানতে হবে যা ৪ এর বিভিন্ন পাওয়ার দ্বারা নির্দেশিত হয় যেমন—

2	0	6	1	0	4
8^2	8^1	8^0	8^{-1}	8^{-2}	8^{-3}

$$206 = 2\times 8^2 + 0\times 8^1 + 6\times 8^0 \qquad 0\cdot104 = \frac{1}{8} + \frac{4}{8^3} = \frac{17}{128}$$
$$= 134$$

$$\therefore \quad 206\cdot104_8 = \left(134 + \frac{17}{128}\right)_{10}$$

৪। হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি (Hexadecimal Number System) :

হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 16। এই পদ্ধতির গণনার জন্য 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F এই 16টি চিহ্ন ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিতে গণনার রীতি সারণি-৩ এ দেখানো হয়েছে। ছোট বড় প্রায় সকল কম্পিউটারে এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

সারণি ৩ : বিভিন্ন সংখ্যা পদ্ধতির গণনা

দশমিক পদ্ধতি	বাইনারি পদ্ধতি	অক্টাল	হেক্সাডেসিমেল
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11

বাইনারি থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর করতে প্রাপ্ত সংখ্যাকে 4 বিট গ্রুপে বিভক্ত করে নিতে হবে।

উদাহরণ I : 1011010111_2-কে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর কর।

0010 1101 0111

2 D 7

$\therefore\ 1011010111_2 \rightarrow 2D7_{16}$

উদাহরণ II : 10001100_2-কে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর কর।

1000 1100

8 C

$\therefore\ 10001100_2 = 8C_{16}$

উদাহরণ III : $EACF_{16}$-কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

E — 1110, A — 1010, C — 1100, F — 1111

$\therefore\ EACF_{16} = 1110\ 1010\ 1100\ 1111_2$

উদাহরণ IV : $22A_{16}$-কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

2 2 A

0010 0010 1010

$\therefore\ 22A_{16} = 001000101010_2$

উদাহরণ V : ABC ও DEF যোগ কর এবং ফলাফল হেক্সাডেসিমেলে প্রকাশ কর।

$(ABC)_{16} \longrightarrow$ 1010 1011 1100

$(DEF)_{16} \longrightarrow$ 1101 1110 1111

18 AB ⟵ 0001 1000 1010 1011

1 8 A B

৫। অক্টাল-হেক্সাডেসিমেল রূপান্তর (Octal-hexadecimal conversion) :

অক্টাল-হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পারস্পরিক রূপান্তরের ক্ষেত্রে প্রথম সংখ্যাটিকে দশমিকে অথবা বাইনারিতে রূপান্তর করে তারপর কাঙ্খিত সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তর করা হয়। এই দুই পদ্ধতির মধ্যে বাইনারি পদ্ধতির মধ্যস্থতায় রূপান্তরই সহজতম পদ্ধতি।

উদাহরণ I : $(12\ A)_{16}$ কে অক্টালে রূপান্তর কর।

1 2 A

↙ ↓ ↘

0001 0010 1010

000 100 101 010

0 4 5 2

$\therefore\ (12\ A)_{16} = 0452 = (452)_8$

উদাহরণ II : $(127)_8$ কে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর কর।

1 2 7

↙ ↓ ↘

001 010 111

0 0 1 0 1 0 1 1 1

5 7

$\therefore\ (127)_8 = (057) = (57)_{16}$

সংখ্যা পদ্ধতির রূপান্তর
Conversion of Number System

দৈনন্দিন জীবনে আমরা ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহার করি; কিন্তু কম্পিউটারে বাইনারি, অক্টাল কিংবা হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এখন আমরা বিভিন্ন সংখ্যা পদ্ধতির রূপান্তর আলোচনা করব।

দশমিক সংখ্যা পদ্ধতি হতে অন্য যেকোনো সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তরের নিয়ম : কোনো সংখ্যার দুটি অংশ থাকতে পারে, যথা—পূর্ণাংশ ও ভগ্নাংশ। পূর্ণাংশ ও ভগ্নাংশ রূপান্তরের নিয়ম ভিন্নতর।

পূর্ণাংশের ক্ষেত্রে রূপান্তর :

যে দশমিক পূর্ণ সংখ্যাকে পরিবর্তন করতে হবে তাকে কাঙ্ক্ষিত পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস দ্বারা ভাগ করতে হবে। যেমন বাইনারির ক্ষেত্রে 2 দ্বারা, অক্টালের ক্ষেত্রে 8 এবং হেক্সাডেসিমেলের ক্ষেত্রে 16 দ্বারা ভাগ করতে হবে। ভাগশেষকে সংরক্ষণ করতে হবে।

উপরের ধাপে প্রাপ্ত ভাগফলকে বেস দ্বারা ভাগ করতে হবে এবং ভাগশেষকে সংরক্ষণ করতে হবে। এভাবে ভাগফলকে বেস বা ভিত্তি দ্বারা ভাগ করার প্রক্রিয়া ততক্ষণ পর্যন্ত চলতে থাকবে যতক্ষণ না ভাগফল শূন্য হয়। প্রাপ্ত ভাগশেষগুলোকে নিচের দিক থেকে উপরের দিকে সাজিয়ে লিখলেই রূপান্তরিত সংখ্যার পূর্ণাংশ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ : $(198)_{10} = (?)_2$

2	198 ভাগশেষ		(অবশিষ্ট)
2	99 — 0		
2	49 — 1		
2	24 — 1		
2	12 — 0		
2	6 — 0		
2	3 — 0		
2	1 — 1		
	0 — 1		

$\therefore \quad (198)_{10} = (11000110)_2$

ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে রূপান্তর :

এক্ষেত্রে যে ভগ্নাংশকে পরিবর্তন করা হবে সেটিকে কাঙ্ক্ষিত পদ্ধতির বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করতে হবে। যেমন বাইনারির ক্ষেত্রে 2 দ্বারা, অক্টালের ক্ষেত্রে 8 দ্বারা এবং হেক্সাডেসিমেলের ক্ষেত্রে 16 দ্বারা গুণ করতে হবে। প্রাপ্ত গুণফলের পূর্ণাংশকে সংরক্ষণ করতে হবে।

উপরের ধাপে প্রাপ্ত গুণফলের ভগ্নাংশকে পুনরায় কাঙ্ক্ষিত বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করে প্রাপ্ত পূর্ণাংশকে সংরক্ষণ করতে হবে এবং প্রাপ্ত ভগ্নাংশকে বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করার প্রক্রিয়া অব্যাহত রাখতে হবে যতক্ষণ না গুণফল শূন্য হয়।

র‍্যাডিক্স (Radix) পয়েন্টের পরে প্রাপ্ত ভগ্নাংশগুলোকে উপরের প্রাপ্ত পূর্ণকের দিক থেকে নিচের প্রাপ্ত পূর্ণকের দিকে সাজিয়ে লিখলেই রূপান্তরিত সংখ্যার ভগ্নাংশ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ : $(0.375)_{10} = (?)_2$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0·375 × 2
0	0·750 × 2
1	0·500 × 2
1	·000

$\therefore \quad (0.375)_{10} = (011)_2$

দশমিক থেকে অক্টালে রূপান্তর :

দশমিক সংখ্যাকে পর্যায়ক্রমে 8 দিয়ে ভাগ করে ভাগশেষগুলোকে নিচের দিক থেকে একত্র করে দশমিক সংখ্যাটির অক্টাল সংখ্যা পাওয়া যায়।

পূর্ণাংশের ক্ষেত্রে—

উদাহরণ : $(669)_{10} = (?)_8$

8	669 ভাগশেষ	(অবশিষ্ট)
8	83 — 5	
8	10 — 3	
8	1 — 2	
	0 1	

∴ $(669)_{10} = (1235)_8$

ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে—

দশমিক ভগ্নাংশকে অক্টালে রূপান্তরের জন্য গুণফল 0 না হওয়া পর্যন্ত সংখ্যাটিকে অনবরত 8 দিয়ে গুণ করতে হবে।

উদাহরণ : $(0{\cdot}046875)_{10} = (?)_8$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0·046875 ×8
0	0·375 ×8
3	000

∴ $(0{\cdot}046875)_{10} = (0{\cdot}03)_8$

দশমিক থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর :

দশমিক থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তরের জন্য পূর্ণ সংখ্যাকে 16 দ্বারা ভাগ এবং ভগ্নাংশকে 16 দ্বারা গুণ করতে হয়।

পূর্ণাংশের ক্ষেত্রে—

উদাহরণ : $(886)_{10} = (?)_{16}$

16	886 ভাগশেষ	(অবশিষ্ট)
16	55 — 6	
16	3 — 7	
	0 — 3	

∴ $(886)_{10} = (376)_{16}$

ভগ্নাংশ : উদাহরণ $(0.850)_{10} = (?)_{16}$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0·850 × 16
(13)	0·60 × 16
9	0·60 × 16
9	0·60 × 16
9	0·60

∴ $(0{\cdot}850)_{10} = (0{\cdot}0999)_{16}$

যেকোনো সংখ্যা পদ্ধতি থেকে দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তর

বাইনারি অথবা অক্টাল বা হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি থেকে দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তরের জন্য নিম্নের পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়। এক্ষেত্রে পূর্ণাংশ এবং ভগ্নাংশের জন্য একই নিয়ম ব্যবহৃত হয়।

রূপান্তরের সাধারণ নিয়ম : প্রদত্ত সংখ্যাটির বেস বা ভিত্তি শনাক্ত করে সংখ্যাটির অন্তর্গত প্রত্যেকটি অঙ্কের স্থানীয় মান বের করতে হয়। এরপর সংখ্যায় অন্তর্গত প্রত্যেকটি অঙ্কের নিজস্ব মানকে তার স্থানীয় মান দিয়ে গুণ করতে হয়। সবশেষে গুণফলের যোগফলই হবে সমতুল্য দশমিক সংখ্যা।

উদাহরণ : $(10101{\cdot}101)_2 = (?)_{10}$

সমাধান : 10101·101 এর দশমিক বিন্দুর বামের অংশ = 10101 এবং দশমিক বিন্দুর ডানের অংশ = 101

দশমিক বিন্দুর বামের অংশ 10101	দশমিক বিন্দুর ডানের অংশ 101
$1\times2^0 = 1$ $0\times2^1 = 0$ $1\times2^2 = 4$ $0\times2^3 = 0$ $1\times2^4 = 16$	$1\times2^{-1}=\frac{1}{2}=0{\cdot}500$ $0\times2^{-2}=0\times\frac{1}{4}=000$ $1\times2^{-3}=\frac{1}{8}=0{\cdot}125$
যোগফল = 21	যোগফল = 0·625

দশমিক বিন্দুর বামের ও ডানের সংখ্যাগুলো মানের যোগফল = 21 + 0·625 = 21·625

$\therefore\ (10101{\cdot}1011)_2 = (21{\cdot}625)_{10}$

অক্টাল থেকে দশমিকে রূপান্তর :

অক্টাল সংখ্যার প্রতিটি স্থানীয় মান যোগ করে সংখ্যাটির সমতুল্য দশমিক মান নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ : $(123{\cdot}540)_8 = (?)_{10}$

সমাধান :

$$\begin{aligned}(123{\cdot}540)_8 &= 1\times8^2+2\times8^1+3\times8^0+5\times8^{-1}+4\times8^{-2}+0\times8^{-3}\\ &= 64+16+3+5\times\frac{1}{8}+4\times\frac{1}{(8)^2}+0\\ &= 83+0{\cdot}625+0{\cdot}0625 = 83{\cdot}6875\end{aligned}$$

$\therefore\ (123{\cdot}540)_8 = (83{\cdot}6875)_{10}$

হেক্সাডেসিমেল থেকে দশমিকে রূপান্তর :

হেক্সাডেসিমেল থেকে দশমিকে রূপান্তর করতে প্রথমে প্রদত্ত সংখ্যার প্রতিটি অঙ্ককে তার নিজস্ব স্থানীয় মান দ্বারা গুণ করতে হয়। পরে ওই সমস্ত গুণফলকে যোগ করে হেক্সাডেসিমেল সংখ্যাটির দশমিক সংখ্যার মান পাওয়া যায়।

উদাহরণ : $(B5D{\cdot}44)_{16} = (?)_{10}$

সমাধান :

$$\begin{aligned}(B5D{\cdot}44)_{16} &= B\times16^2+5\times16^1+D\times16^0+4\times16^{-1}+4\times16^{-2}\\ &= 11\times256+80+13+0.25+0{\cdot}016\\ &= 2816+80+13+0{\cdot}25+0{\cdot}016 = (2909{\cdot}266)_{10}\end{aligned}$$

কাজ : হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে সর্বোচ্চ চার বিট কেন দরকার হয় ?

হেক্সাডেসিমেল সংখ্যাকে সমতুল্য বাইনারিতে রূপান্তরের জন্য হেক্সাডেসিমেল সংখ্যার প্রতিটি ডিজিটকে আলাদাভাবে চার বিটের বাইনারি গ্রুপে রূপান্তরিত করা হয় এবং প্রাপ্ত গ্রুপগুলোকে পরপর সাজালে উক্ত হেক্সাডেসিমেল সংখ্যার সমতুল্য বাইনারি সংখ্যা পাওয়া যায়। এজন্য হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে সর্বোচ্চ চার বিট দরকার হয়।

১০·১৫ বাইনারি অপারেশন
Binary operation

দশমিক পদ্ধতির যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ প্রক্রিয়া বহুল পরিচিত। এ ধরনের গাণিতিক প্রক্রিয়া বাইনারি পদ্ধতিতেও বর্তমানে রয়েছে। বাইনারি পদ্ধতিতে গাণিতিক কাজ করা অনেক সহজ, কেননা এক্ষেত্রে মাত্র দুটি সংখ্যা 0 এবং 1 জড়িত। এখন আমরা বাইনারি যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ আলোচনা করব।

১০·১৫·১ বাইনারি যোগ
Binary Addition

যেভাবে দশমিক সংখ্যা যোগ করা হয়, সেভাবেই বাইনারি সংখ্যার যোগ করা হয়।

বাইনারি সংখ্যা যোগের সময় নিম্নের ধাপগুলো অনুসরণ করা হয়।

ধাপ-১ : প্রথমে সর্ব ডানের কলাম যোগ করতে হয়।

ধাপ-২ : প্রথম কলাম যোগ করে যোগফল প্রথম কলামের নিচে লিখতে হয়। যদি carry উৎপন্ন হয় তবে তা পরের কলামে বসাতে হয়।

ধাপ–৩ : দ্বিতীয় ধাপে carry উৎপন্ন হলে তা পরের কলামে লিখতে হবে বা পরের কলামে কোনো ডিজিট থাকলে তার সাথে যোগ করতে হবে। এই প্রক্রিয়া চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত বাম দিকে কোনো কলাম না থাকে।

দুটি বাইনারি অঙ্ক যোগের চারটি অবস্থা নিম্নরূপ হয় :

$0 + 0 = 0$

$0 + 1 = 1$

$1 + 0 = 1$

$1 + 1 = 0$ এবং এর সাথে হাতে 1 থাকবে। এই হাতে থাকাকে carry বলে।

বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির যোগ খুবই গুরুত্বপূর্ণ গাণিতিক প্রক্রিয়া। কম্পিউটার এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রে যোগের সাহায্যে বিয়োগ, গুণ ও ভাগ করা হয়।

উদাহরণ ১। 1101001 এর সাথে 1010101 যোগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 1101001 \\ 1010101 \\ \hline 10111110 \end{array}$$

উদাহরণ ২। $(111{\cdot}11)_2$ এবং $(101{\cdot}10)_2$ যোগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 111{\cdot}11 \\ 101{\cdot}10 \\ \hline 1101{\cdot}01 \end{array}$$

$111{\cdot}11 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 4 + 2 + 1 + 0{\cdot}5 + 0{\cdot}25 = 7{\cdot}75$

$101{\cdot}10 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} = 4 + 0 + 1 + 0{\cdot}5 + 0 = 5{\cdot}50$

$\overline{\quad 13{\cdot}25}$

এখন, $1101{\cdot}01 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 8 + 4 + 1 + 0{\cdot}25 = 13{\cdot}25$

১০·১৫·২ বাইনারি বিয়োগ
Binary subtraction

ধাপ–১। বাইনারি বিয়োগের সময় বিয়োজক এর LSD (Least Significant Digit) থেকে বিয়োজ্য (Subtracted) এর LSD বিয়োগ করে বিয়োগের LSD বসাতে হবে।

ধাপ–২। LSD দ্বারা বিয়োগ করে যদি carry থাকে তা পরের কলামের বিয়োজ্যের সাথে যোগ করে বিয়োজক থেকে বিয়োগ করতে হবে।

ধাপ–৩। যদি দ্বিতীয় ধাপে carry থাকে তা পরবর্তী কলামের বিয়োজ্যের সাথে যোগ করে বিয়োগ করতে হবে।

ধাপগুলো নিম্নরূপ :
(১) $0 - 0 = 0$
(২) $1 - 0 = 1$
(৩) $1 - 1 = 0$
(৪) $0 - 1 = 1$ হাতে থাকে 1

উদাহরণ ১ : 1001 থেকে 101 বিয়োগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 1001 \\ -\,0101 \\ \hline 0100 \end{array}$$

সুতরাং বিয়োগফল = 100

উদাহরণ ২ : 1011 থেকে 100 বিয়োগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 1011 \\ -\,0100 \\ \hline 0111 \end{array}$$

সুতরাং বিয়োগফল = 111

কম্পিউটারে এই নিয়মে বিয়োগ করা হয় না। বিশেষ পদ্ধতিতে যোগের সাহায্যে বিয়োগ করা হয়।

উদাহরণ ৩ : একটি বড় সংখ্যা থেকে ছোট সংখ্যা বিয়োগ করতে আমরা ছোট সংখ্যাকে বড় সংখ্যা থেকে বিয়োগ করে ফলাফলের পূর্বে একটি (—) সংকেত বসাই। যেমন— 11111 কে 11001 থেকে বিয়োগ করার জন্য আমরা দ্বিতীয় সংখ্যাকে প্রথম সংখ্যা থেকে বিয়োগ করি।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 11111 \\ -\ 11001 \\ \hline 110 \end{array}$$

উত্তর : 11001 < 11111; সুতরাং 11001 — 11111 = —110

১০·১৫·৩ বাইনারি গুণ
Binary multiplication

যেভাবে ডেসিমেল সংখ্যার গুণ করা হয় অনুরূপভাবে বাইনারি সংখ্যার গুণ করা হয়। তবে ডেসিমেল গুণ করার চেয়ে বাইনারি গুণ করা অনেক সহজ। কারণ বাইনারি গুণের ক্ষেত্রে চারটি গুণফল জানলেই যথেষ্ট। বাইনারি গুণের চারটি অবস্থা নিম্নে দেখানো হলো :

$0 \times 0 = 0$

$0 \times 1 = 0$

$1 \times 0 = 0$

$1 \times 1 = 1$

উদাহরণ ১ : বাইনারি সংখ্যা 0111 এবং 1110 গুণ কর।

$$\begin{array}{r} 0111 \\ \times\ 1110 \\ \hline 0000 \\ 0111 \\ 0111 \\ 0111 \\ \hline 1100010 \end{array}$$

উদাহরণ ২ : 100·1 এবং 1·11 গুণ কর।

$$\begin{array}{r} 100\cdot1 \\ \times 1\cdot1\ 1 \\ \hline 1\cdot00\ 1 \\ 1001\ \times \\ 1001\times \\ \hline 111\cdot111 \end{array}$$

১০·১৫·৪ বাইনারি ভাগ
Binary Division

ডেসিমেল সংখ্যার ভাগের নিয়মেই বাইনারি সংখ্যার ভাগ করা হয়। বাইনারি পদ্ধতিতে 0 দিয়ে ভাগ করা অর্থহীন। বাইনারি ভাগ পদ্ধতিতে চারটি অবস্থার সৃষ্টি হয়। যথা—

0/0 = অর্থহীন

1/0 = অর্থহীন

0/1 = 0

1/1 = 1

উদাহরণ : বাইনারি সংখ্যা 1001 কে 110 দ্বারা ভাগ কর।

```
                  0110 ←— result
divisor 110  /  100100 ←— dividend
                 110
                 110
                 110
               -----
                 000
                 000
               -----
                   0
```

RMDAC

১০·১৬ লজিক গেট
Logic gate

লজিক গেট আলোচনার পূর্বে বুলিয়ান বীজগণিত (Boolean algebra) সম্বন্ধে ধারণা থাকা দরকার। George Boole (1815–1864) সর্বপ্রথম বুলিয়ান বীজগণিতের ধারণা দেন।

George Boole (1815-1864)

বুলিয়ান বীজগণিত (Boolean Algebra) : বুলিয়ান বীজগণিত মূলত লজিকের সত্য এবং মিথ্যা এই দুই স্তরের উপর ভিত্তি করে তৈরি হয়েছে। কম্পিউটারে যখন বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির ব্যবহার শুরু হয়, তখন বুলিয়ান বীজগণিতের সত্য এবং মিথ্যাকে 1 এবং 0 দ্বারা পরিবর্তন করা হয়। কম্পিউটারের সমস্ত গাণিতিক ও যুক্তিমূলক সমস্যা বুলিয়ান অ্যালজেবরার সাহায্যে সমাধান করা সম্ভব। বুলিয়ান বীজ-গণিতে শুধুমাত্র যোগ এবং গুণ-এর সাহায্যে সমস্ত কাজ করা হয়।

বুলিয়ান বীজগণিতের নিয়ম :

(i) যোগ চিহ্ন '+' দ্বারা OR বুঝানো হয়। $Y = A + B$, এটা পড়তে হয় Y, A অথবা B।

(ii) গুণ চিহ্ন ($\times$ বা $\cdot$) দ্বারা AND বোঝানো হয়। $Y = A . B$ পড়তে হয় Y, A এবং B এর মান সমান।

(iii) বার চিহ্ন (¯) দ্বারা NOT বোঝানো হয়, $Y = \bar{A}$, একে Y, NOT A হিসেবে পড়তে হয়। Y এর মান A এর মানের সমান।

বুলিয়ান বীজগণিতের তিনটি সূত্র (Three laws of Boolean algebra) :

১। **বিনিময় সূত্র (Commutative law) :** $A + B = B + A$

$AB = BA$

২। **সংযোগ সূত্র (Associative law) :**

$A + (B + C) = (A + B) + C$

$A . (B . C) = (A . B) . C$

৩। **বণ্টন সূত্র (Distributive law) :**

$A . (B + C) = A . B + A . C$

বুলিয়ান বীজগণিতের কয়েকটি সম্পর্ক (Some relation of Boolean algebra) :

নিচের সম্পর্কগুলোতে A হচ্ছে সংকেত। এর দুটি সম্ভাব্য মান রয়েছে; যথা 0 এবং 1। প্রতিটি সম্পর্কে একবার 0 এবং একবার 1 বসিয়ে সম্পর্কগুলো যাচাই করা যায়।

সম্পর্ক	সত্যতা যাচাই	
	যখন A = 0	যখন A = 1
1. $A + 0 = A$	$0 + 0 = 0$	$1 + 0 = 1$
2. $A + 1 = 1$	$0 + 1 = 1$	$1 + 1 = 1$
3. $A + A = A$	$0 + 0 = 0$	$1 + 1 = 1$
4. $A + \bar{A} = 1$	$0 + 1 = 1$	$1 + 0 = 1$
5. $A . 0 = 0$	$0 . 0 = 0$	$1 . 0 = 0$
6. $A . 1 = A$	$0 . 1 = 0$	$1 . 1 = 1$
7. $A . A = A$	$0 . 0 = 0$	$1 . 1 = 1$
8. $A . \bar{A} = 0$	$0 . 1 = 0$	$1 . 0 = 0$
9. $\bar{\bar{A}} = A$	$\bar{\bar{0}} = \bar{1} = 0$	$\bar{\bar{1}} = \bar{0} = 1$

লজিক গেট : বুলিয়ান অ্যালজেবরার ব্যবহারিক প্রয়োগের জন্য ডিজিটাল ইলেকট্রনিক সার্কিট ব্যবহার করা হয়। লজিক গেট হলো এক ধরনের ইলেকট্রনিক বর্তনী যার দ্বারা যৌক্তিক সিদ্ধান্ত গঠন করা যায়। এসব ডিজিটাল ইলেকট্রনিক সার্কিটকে লজিক গেট বলে। **লজিক গেট বলতে সাধারণত লজিক সার্কিটকে বুঝায় যাতে এক বা**

একাধিক ইনপুট এবং কেবল একটি আউটপুট থাকে। লজিক গেটগুলো মূলত একটি ডিজিটাল পদ্ধতির জন্য মৌলিক ব্লক হিসেবে কাজ করে যা বাইনারি '0' (Zero) ও '1' (One) দ্বারা অপারেট হয়। তথ্য প্রবাহ (Flow of information) নিয়ন্ত্রণ করে বলেই একে গেট বলা হয়।

লজিক গেটের প্রকারভেদ : ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে তিনটি মৌলিক লজিক গেট ব্যবহার করা হয়। এগুলো হলো (১) OR গেট, (২) AND গেট এবং (৩) NOT গেট। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে এই তিনটি মৌলিক গেট ছাড়া আরও কিছু গেট ব্যবহার করা হয়। যথা NAND গেট, NOR গেট, XOR গেট, XNOR গেট। এই গেটগুলো মৌলিক গেট দ্বারা তৈরি করা হয়।

সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল (Truth table) : ইনপুট ও আউটপুট সিগনাল বা ভোল্টেজের বিভিন্ন মানের মধ্যে সম্পর্ক একটি টেবিলের সাহায্যে প্রকাশ করলে ওই টেবিলকে সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল বলে।

লজিক গেটের ডি মরগানের তত্ত্ব : ফরাসি বিজ্ঞানী ডি মরগান (De Morgan) দুটি বিশেষ গাণিতিক উপপাদ্য আবিষ্কার করেন। সেগুলো তাঁর নাম অনুসারে ডি মরগান উপপাদ্য নামে পরিচিত।

(ক) উপপাদ্য-১ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NOR গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি AND গেটের আউটপুট সিগনালের সমান হয়।

অর্থাৎ $\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$

(খ) উপপাদ্য-২ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NAND গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি OR গেটের আউটপুট সিগনালের সমান।

অর্থাৎ $\overline{A.B} = \overline{A} + \overline{B}$

De Morgan (1806-1881)

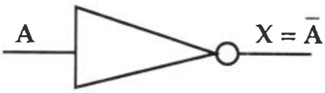
জেনে রাখ : লজিক গেট কী ? বুলিয়ান বীজগণিতের মৌলিক কার্যক্রমগুলো কী কী ?

যেসব ডিজিটাল (digital) ইলেকট্রনিক বর্তনী এক বা একাধিক ইনপুট গ্রহণ করে বুলিয়ান বীজগণিত অনুযায়ী প্রক্রিয়াজাত করে একটিমাত্র আউটপুট প্রদান করে তাকে লজিক গেট বলে। বুলিয়ান বীজগণিতের মৌলিক কার্যক্রমগুলো হলো (ক) লজিক যোগ বা OR যোগ (খ) লজিক গুণ বা AND গুণ (গ) লজিক সম্পূরক বা NOT কার্যক্রম।

❖ **NOT গেট :** NOT গেটে একটি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। একে ইনভার্টারও বলে। NOT গেটের ইনপুট '1' হলে আউটপুট '0' এবং ইনপুট '0' হলে আউটপুট '1' হয়। NOT গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = \overline{A}$

এখানে A এর উপর প্রদর্শিত বার দ্বারা NOT অপারেশন বুঝানো হয়। এই সমীকরণকে "X equals Not A." এভাবে পড়া হয় অথবা "X equals the complement of A" এভাবে পড়া হয়। নিচের চিত্র ১০·৩৫(ক)-এ NOT গেটের প্রতীক এবং ১০·৩৫(খ)-এ ট্রুথ টেবিল (সত্য সারণি) দেখানো হয়েছে।

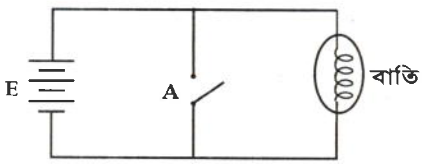


চিত্র ১০·৩৫(ক) : NOT গেটের প্রতীক।

A	$X = \overline{A}$
0	1
1	0

চিত্র ১০·৩৫(খ) : NOT গেটের ট্রুথ টেবিল।

চিত্র ১০·৩৫(গ)-এ NOT গেটের একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। বর্তনী থেকে প্রতীয়মান হয় যে সুইচ A বন্ধ থাকলে বাতিটি জ্বলবে না; কেননা বাতিটির দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য শূন্য হবে এবং কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হবে না। সুইচ A খোলা থাকলে বাতিটি জ্বলবে।



চিত্র ১০·৩৫(গ)

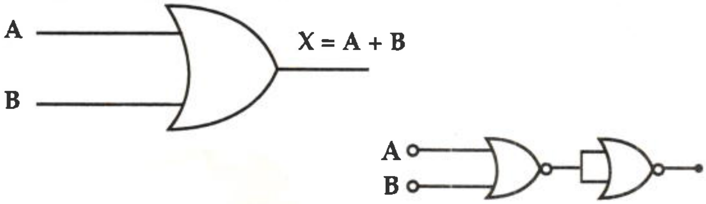
❖ **OR গেট :** OR গেট এমন এক ধরনের গেট যার দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে।

ব্যাখ্যা : একটি OR গেট-এর দুটি ইনপুট যথাক্রমে A ও B হলে এবং আউটপুট X হলে OR গেট-এর বুলিয়ান সমীকরণ হবে,

$X = A + B$

এখানে + চিহ্ন দ্বারা সাধারণত যোগ বুঝানো হয় না। এই + চিহ্নের অর্থ OR অপারেশন।

নিম্নে একটি দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের প্রতীক চিত্র ১০·৩৬(ক) এবং ট্রুথ টেবিল (Truth table) চিত্র ১০·৩৬(খ)-এ দেখানো হয়েছে।

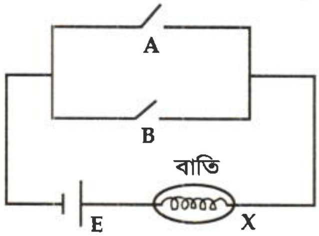


চিত্র ১০·৩৬(ক) : দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের সংকেত।

A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

চিত্র ১০·৩৬(খ) : দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেট-এর ট্রুথ টেবিল।

চিত্র ১০·৩৭ এ OR গেটের একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। এই সমান্তরাল সুইচ বর্তনীর যেকোনো একটি সুইচ 'অন' করলে অথবা দুটি সুইচ একসঙ্গে অন করলে বাতিটি জ্বলবে।



চিত্র ১০·৩৭

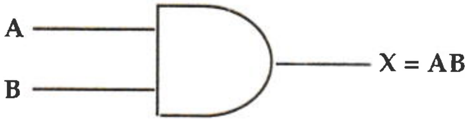
❖ **AND গেট :** AND গেটে দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। AND গেটের সকল ইনপুট '1' হলেই কেবলমাত্র আউটপুট '1' হবে। অন্যথায় আউটপুট '0' হবে। অর্থাৎ **যে লজিক গেটের সবগুলো ইনপুট 1 হলে আউটপুট 1 হয় তাকে AND গেট বলে।** ১০·৩৮ নং চিত্রে দুই ইনপুটবিশিষ্ট একটি AND গেট-এর প্রতীক এবং ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে। এর ইনপুট দুটি A এবং B এবং আউটপুট X। AND গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = A.B$

এই সমীকরণে '.' চিহ্নটি বুলিয়ান AND অপারেশন বুঝায়, এটি সাধারণ গুণ বুঝায় না।

X = A.B সমীকরণটি পড়ার নিয়ম হলো "X equals A and B"। এর অর্থ X-এর মান 1 হবে যখন A এবং B উভয়ই 1 হবে। AND অপারেশনের জন্য বুলিয়ান সমীকরণ লেখতে সাধারণত '.' চিহ্ন বাদ দিয়ে লেখা হয়, $X = AB$.

চিত্র ১০·৩৮(ক)-এ একটি AND গেটের প্রতীক এবং চিত্র ১০·৩৮(খ) এ AND গেটের ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।

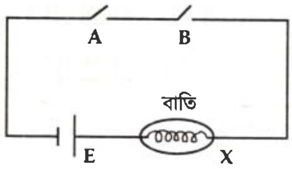


চিত্র ১০·৩৮(ক) : AND গেটের প্রতীক।

A	B	X = AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

চিত্র ১০·৩৮(খ) : AND গেটের ট্রুথ টেবিল।

১০.৩৮(গ) চিত্রে AND গেটের সমতুল্য একটি শ্রেণি সমবায়ে দুটি সুইচ সার্কিট দেখানো হয়েছে। এই সুইচ দুটির যেকোনো একটি সুইচ অন করলে বাতিটি জ্বলবে না। কেবলমাত্র দুটি সুইচ অন করলেই বাতিটি জ্বলবে।



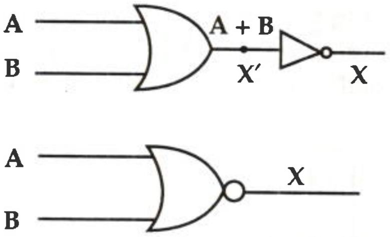
চিত্র ১০.৩৮(গ)

গেটের সমন্বয় : তিনটি মৌলিক গেট OR, AND এবং NOT এর সমন্বয়ে বিভিন্ন প্রকার জটিল বর্তনী তৈরি হয়। সেগুলো হলো— ১. NOR গেট ২. XOR গেট, ৩. XNOR গেট, ৪. NAND গেট

❖ **NOR গেট :** OR গেটের আউটপুট X-কে NOT গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NOR গেট তৈরি হয়। NOR গেটের দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকতে পারে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে। এখানে আউটপুট X-এর সমীকরণ হলো :

$$X = NOT\,(A + B) = \overline{A + B}$$

OR গেট ও NOT গেটের ট্রুথ টেবিলকে একত্রিত করে NOR গেটের ট্রুথ টেবিল পাওয়া যায়। চিত্র ১০.৩৯(ক)-এ বুলিয়ান সমীকরণসহ দুটি ইনপুটবিশিষ্ট NOR গেটে প্রতীক চিহ্ন এবং চিত্র ১০.৩৯(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.৩৯(ক) : NOR গেটের প্রতীক।

A	B	A + B	$X = \overline{A + B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

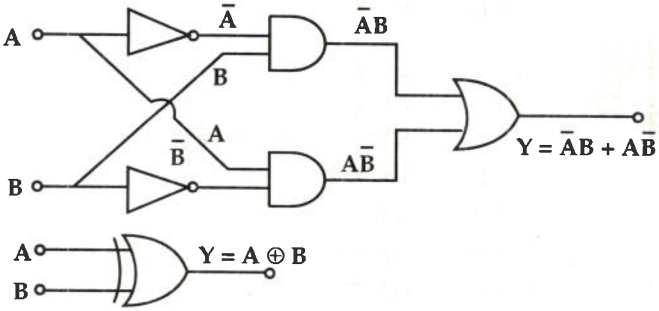
চিত্র ১০.৩৯(খ) : NOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

❖ **XOR গেট :** Exclusive-OR (XOR) গেট এমন এক ধরনের গেট যা এর ইনপুটে বিজোড় সংখ্যা আছে কি না চিহ্নিত করে। XOR গেটের ইনপুটে বিজোড় সংখ্যক 1 হলে আউটপুট 1 হয়। দুটি বিটের অবস্থা তুলনা করার জন্য এই গেট ব্যবহার করা হয়। OR গেট, AND গেট এবং NOT গেট যুক্ত করে XOR গেট পাওয়া যায় চিত্র ১০.৪০]। XOR গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো—

$X = A \oplus B$, এখানে ⊕ দ্বারা XOR ক্রিয়া বোঝানো হয়েছে।

$$= \bar{A}B + A\bar{B}$$

চিত্র ১০.৪০(ক)-এ XOR গেটের প্রতীক চিহ্ন এবং ১০.৪০(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.৪০(ক) : XOR গেটের প্রতীক চিহ্ন।

A	B	A + B	X = A ⊕ B
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

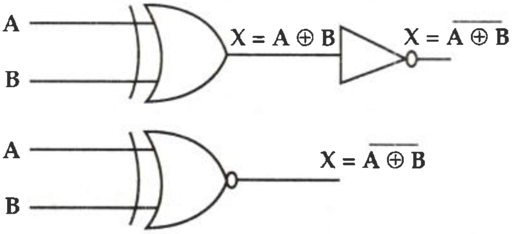
চিত্র ১০.৪০(খ) : XOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

❖ **X-NOR গেট :** XOR গেটের আউটপুটকে NOT গেট এর ইনপুটে যুক্ত করলে X-NOR গেট পাওয়া যায়। যে লজিক গেটের বিজোড় সংখ্যক ইনপুট হলে আউটপুট 0 হয় এবং জোড় সংখ্যক ইনপুট বা ইনপুট দুটি সমান হলে আউটপুট 1 হয় তাকে X-NOR গেট বলে।

X-NOR গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$$X = \overline{A \oplus B} = \overline{\bar{A}B + A\bar{B}} = AB + \overline{AB}$$

চিত্র ১০·৪১(ক)-এ X-NOR গেটের প্রতীক চিহ্ন এবং ১০·৪১(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·৪১(ক) : X-NOR গেটের প্রতীক চিহ্ন।

A	B	$X = \overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

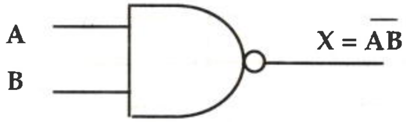
চিত্র ১০·৪১(খ) : X-NOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

❖ **NAND গেট :** AND গেটের আউটপুটে X′ কে NOT গেটের ইনপুট এর সাথে যুক্ত করে NAND গেট তৈরি করা হয়। AND গেট হতে নির্গত সংকেতটি NOT গেটের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করলে NAND গেটের কাজ হয়। লজিক সার্কিট তৈরির জন্য NAND গেটের বহুল প্রচলন রয়েছে।

চিত্র ১০·৪২(ক)-এ NAND গেটের প্রতীক এবং ১০·৪২(খ)-এ এর সমতুল্য সার্কিট দেখানো হয়েছে। দুই ইনপুটবিশিষ্ট NAND গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

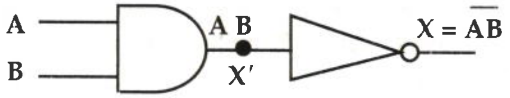
$X = \overline{A.B}$

AND এবং NOT গেটের ট্রুথ টেবিলকে একত্রিত করে NAND গেটের ট্রুথ টেবিল পাওয়া যায়। চিত্র ১০·৪২(গ) তে NAND গেটের ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে। ট্রুথ টেবিল থেকে দেখা যায় যে, AND গেটের আউটপুটকে ইনভারশন করলে যা হয় NAND গেটের আউটপুট তাই। অর্থাৎ AND গেটের আউটপুটকে উল্টালে NAND গেটের আউটপুট পাওয়া যায়।



চিত্র ১০·৪২(ক) : NAND গেটের প্রতীক।

RMDAC



চিত্র ১০·৪২(খ) : NAND গেটের সমতুল্য সার্কিট।

A	B	AB	$X = \overline{AB}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

চিত্র ১০·৪২ (গ) : NAND গেটের ট্রুথ টেবিল।

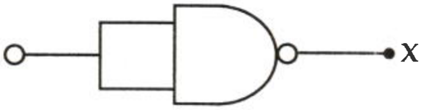
NAND গেট এর ব্যবহার : Car interior লাইটিং ডিজাইনে ব্যবহৃত হয়। যখন দুটি দরজা বন্ধ করা হয় তখন লাইট এর সুইচ বন্ধ করার কাজে NAND গেট ব্যবহৃত হয় [চিত্র ১০·৪৩]।

চিত্র ১০·৪৩

NAND গেট ব্যবহার করে বিভিন্ন সংযোগের মাধ্যমে NOT গেট, AND গেট এবং OR গেট পাওয়া যায়। আবার NOR গেট এবং NAND গেট ব্যবহার করে যেকোনো মৌলিক বা যৌগিক গেট তৈরি করা যায় বলে NOR ও NAND গেটকে সার্বজনিন গেট বলে।

NAND গেট ব্যবহার করে অন্যান্য গেট : NAND গেট ব্যবহার করে (ক) NOT গেট (খ) AND গেট এবং (গ) OR গেট পাওয়া যায়।

(ক) NAND গেট ব্যবহার করে NOT গেট : NAND গেটের দুটি ইনপুটকে সংযুক্ত করে একটিতে রূপান্তরিত করে NOT গেট পাওয়া যায়। এই গেটের লজিক সংকেত [চিত্র ১০·৪৪(ক)] ও ট্রুথ টেবিল ১০·৪৪(খ) তে দেখানো হলো।



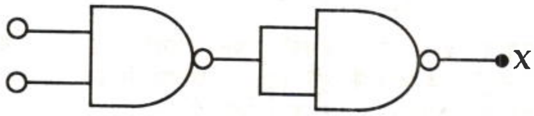
চিত্র : ১০·৪৪(ক)

NAND গেটের ট্রুথ টেবিল

A	B = A	X
0	0	1
1	1	0

চিত্র : ১০·৪৪(খ)

(খ) NAND গেট ব্যবহার করে AND গেট : NAND গেটের আউটপুটকে NAND গেট হতে তৈরি NOT গেটের ইনপুটের সাথে যুক্ত করে AND গেট বর্তনী তৈরি করা হয় [চিত্র ১০.৪৫(ক)]। এই গেটের ট্রুথ টেবিল [চিত্র ১০.৪৫(খ)] তে দেখানো হলো।



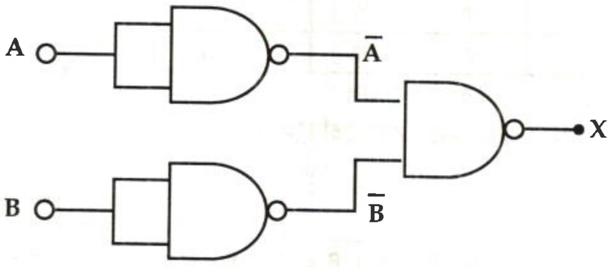
চিত্র : ১০.৪৫(ক)

AND গেটের ট্রুথ টেবিল

A	B	X′	X
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

চিত্র : ১০.৪৫(খ)

(গ) NAD গেট ব্যবহার করে OR গেট : A ও B ইনপুটদ্বয়কে NAND গেট থেকে তৈরি দুটি পৃথক NOT গেটের সাথে যুক্ত করে এবং ইনপুটকে বিপরীত করে $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ করা হয়। এই বিপরীত আউটপুট দুটিকে NAND গেটের আউটপুটে যুক্ত করে OR গেট তৈরি করা হয় [চিত্র ১০.৪৬(ক)]। দেখা যায় যে, সংযুক্ত বর্তনীর আউটপুট ও OR গেটের আউটপুট এক রকম।



চিত্র : ১০.৪৬(ক)

ট্রুথ টেবিল

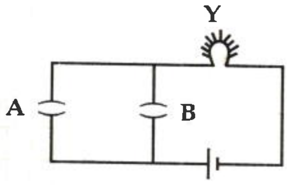
A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	X
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1

চিত্র : ১০.৪৬(খ)

বিভিন্ন প্রকার গেট তৈরিকরণ-এর সচিত্র উদাহরণ

১। একটি ব্যাটারি, দুটি সুইচ ও একটি বৈদ্যুতিক বাতি ব্যবহার করে একটি (i) OR ও একটি (ii) AND গেট তৈরি কর।

(ক) চিত্র ১-এর বর্তনীটি হলো একটা OR গেট বর্তনী। এখানে A অথবা B অথবা উভয় সুইচ অন করলে বাতিটি জ্বলবে। এর ট্রুথ টেবিল সারণি ১-এ দেখানো হয়েছে।

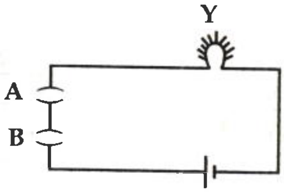


চিত্র ১

সারণি ১

A	B	Y
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(খ) চিত্র ২-এর বর্তনীটি হচ্ছে একটি AND গেট বর্তনী। কেননা, A এবং B উভয় সুইচ অন করলেই কেবল বাতিটি জ্বলবে। এর ট্রুথ টেবিল সারণি ২-এ দেখানো হয়েছে।

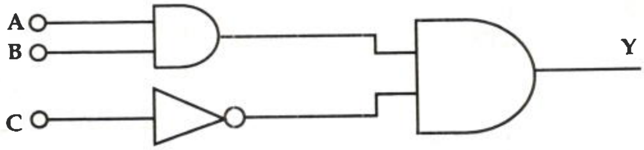


চিত্র ২

সারণি ২

A	B	Y
0	1	0
1	0	0
1	1	1

২। নিচের লজিক বর্তনীটির আউটপুট Y কোন অবস্থায় 1 হবে?



এখানে দুটি AND গেট ও একটি NOT গেট রয়েছে। Y = 1 হবে তখনই যখন শেষের AND গেটের উভয় ইনপুটেই 1 হবে। এখন শুরুর AND গেটে A ও B উভয় ইনপুট 1 হলে আউটপুট হবে 1। আবার নিচের NOT গেটের ইনপুট C = 0 হলে এর আউটপুট 1 হবে। সে অবস্থায় শেষের AND গেট অন হবে অর্থাৎ তখন Y = 1 পাওয়া যাবে। সুতরাং, A = 1, B = 1, এবং C = 0 হলে Y = 1 হবে। এর ট্রুথ টেবিল সারণি ৩-এ দেখানো হলো।

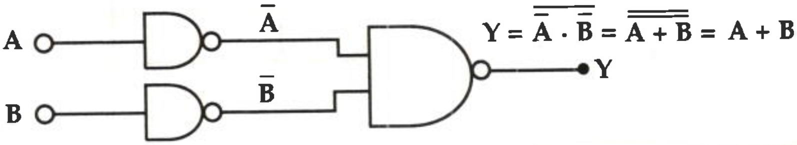
সারণি ৩

A	B	A.B	C	$\bar{C}$	$Y = A.B.\bar{C}$
0	0	0	0 বা 1	1 বা 0	0
0	1	0	0 বা 1	1 বা 0	0
1	0	0	0 বা 1	1 বা 0	0
1	1	1	0 বা 1	1 বা 0	1 বা 0

ট্রুথ টেবিল থেকে সহজেই বোঝা যায় যে, A = 1, B = 1 এবং C = 0 হলে Y = 1 হবে।

৩। একটি NAND গেট ব্যবহার করে OR, AND এবং NOT গেট তৈরি কর।

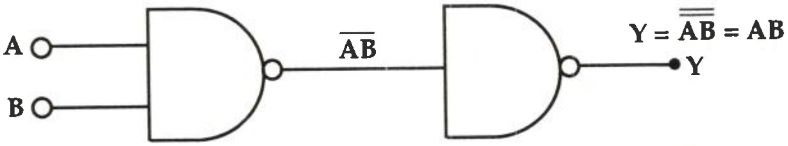
(ক) NAND গেট থেকে OR গেট তৈরিকরণ :



ট্রুথ টেবিল

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

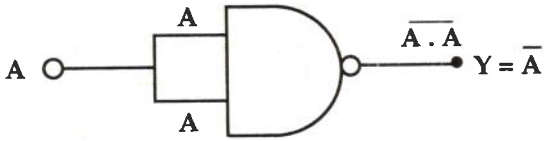
(খ) NAND গেট থেকে AND গেট তৈরিকরণ :



ট্রুথ টেবিল

A	B	Y′	Y
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

(গ) NAND গেট থেকে NOT গেট তৈরিকরণ :

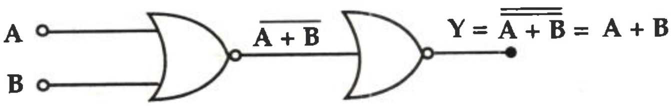


ট্রুথ টেবিল

A	B=A	Y
0	0	1
1	1	0

৪। একটি NOR গেট ব্যবহার করে OR, AND এবং NOT গেট তৈরি কর।

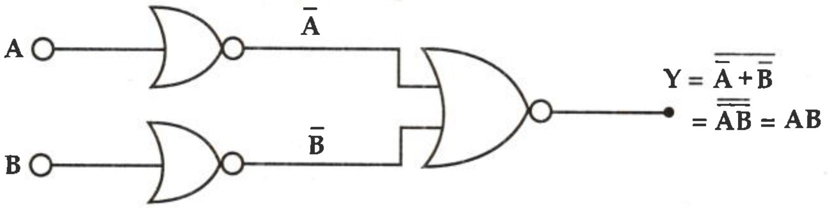
(ক) NOR গেট থেকে OR গেট তৈরিকরণ :



ট্রুথ টেবিল

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

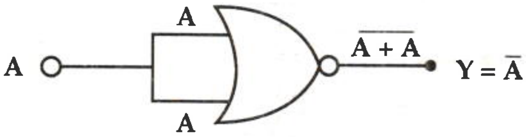
(খ) NOR গেট থেকে AND গেট তৈরিকরণ :



ট্রুথ টেবিল

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

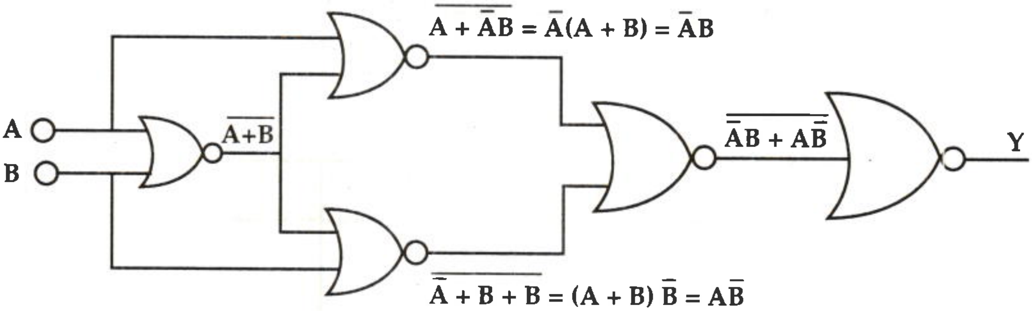
(গ) NOR গেট থেকে NOT গেট তৈরিকরণ :



ট্রুথ টেবিল

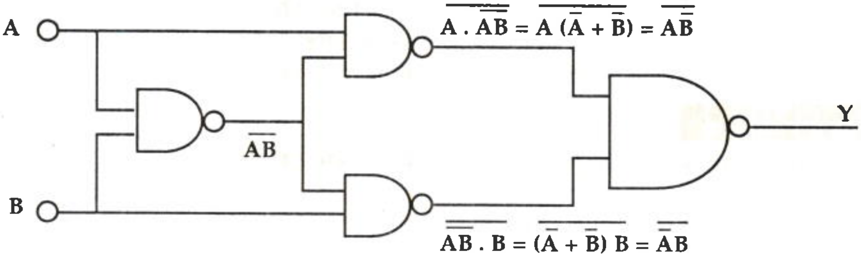
A	B=A	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

৫। শুধুমাত্র NOR গেট ব্যবহার করে XOR গেট তৈরি কর।



$\therefore\ Y = \overline{\overline{\bar{A}B + A\bar{B}}} = \bar{A} + B + A\bar{B},$ এটি XOR গেটের আউটপুট।

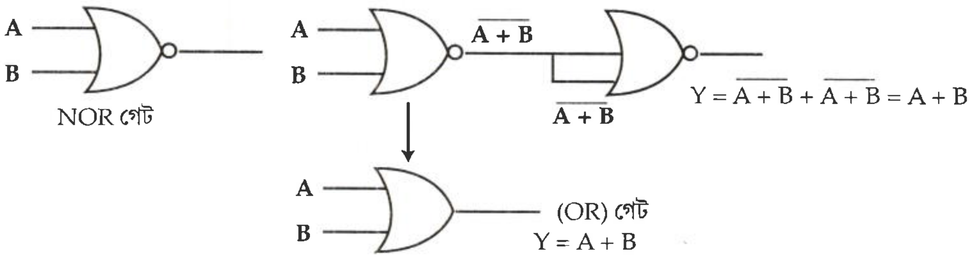
৬। শুধুমাত্র NAND গেট ব্যবহার করে XOR গেট তৈরি কর।



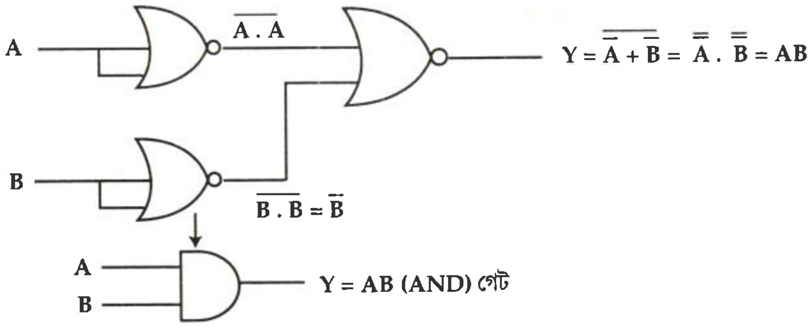
$\therefore\ Y = \overline{\overline{A\bar{B}}\,.\,\overline{\bar{A}B}} = \overline{\overline{A\bar{B}}} + \overline{\overline{\bar{A}B}} = A\bar{B} + \bar{A}B,$ এটা XOR গেটের আউটপুট।

৭। NOR গেট দ্বারা (i) OR গেট এবং (ii) AND গেট তৈরি কর।

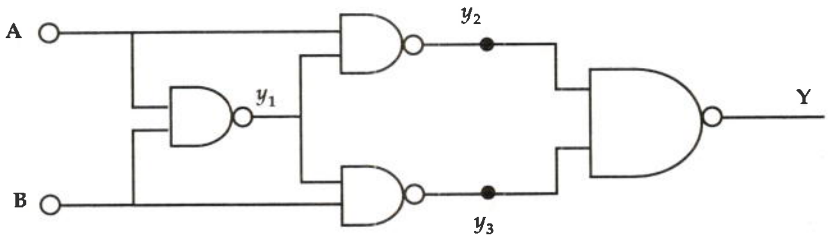
(i)



(ii)



৮। চারটি NAND গেটের সমবায়ে গঠিত লজিক গেটের ট্রুথ টেবিল তৈরি কর।



সংকেত : $y_1 = \overline{A.B}$, $y_2 = \overline{A.y_1}$, $y_3 = \overline{y_1.B}$, $Y = \overline{y_2.y_3}$

ট্রুথ টেবিল

A	B	$y_1 = \overline{A.B}$	$y_2 = \overline{A.y_1}$	$y_3 = \overline{y_1.B}$	$Y = \overline{y_2. + y_3}$
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0

কাজ : NAND গেট এবং NOR গেটের সর্বজনীনতা বলতে কী বুঝ ?

OR, AND এবং NOT এই তিনটি মৌলিক গেটের সমন্বয়ে যেকোনো লজিক গেট তৈরি করা সম্ভব। তবে শুধু NAND গেট দিয়ে OR, AND এবং NOT গেট বাস্তবায়ন সম্ভব। অনুরূপভাবে NOR গেট দিয়েও যেকোনো লজিক সার্কিট বাস্তবায়ন সম্ভব। এজন্য NAND এবং NOR গেটকে সর্বজনীন গেট বলে।

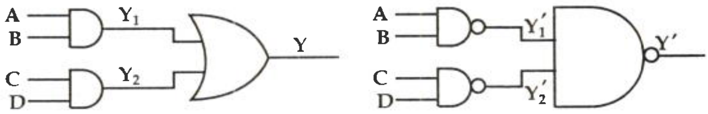
গাণিতিক উদাহরণ ১০.৫

১। বুলিয়ান ফাংশন, F = (A + B) (A + C) হলে, F-এর সরলীকৃত মান কোনটি?

[IU Admission Test, 2018-19]

$$F = (A + B)(A + C) = AA + AC + AB + BC$$
$$= A(1 + C + B) + BC = A.1 + BC = A + BC$$

২। দেখাও যে, চিত্র ১(ক) ও (খ) বর্তনী দুটি পরস্পরের তুল্য বর্তনী।



(ক) (খ)

চিত্র ১

সমাধান : চিত্র ১(ক)-তে,

$Y_1 = AB$ এবং $Y_2 = CD$

সুতরাং, $Y = AB + CD$ ... ... (i)

আবার, চিত্র ১(খ)-তে

$Y_1' = \overline{AB}$ এবং $Y_2' = \overline{CD}$

সুতরাং, $Y' = \overline{Y_1' Y_2'} = \overline{Y_1'} + \overline{Y_2'}$

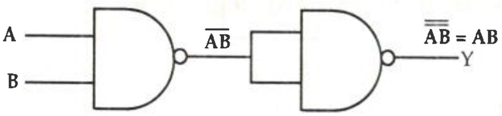
$= \overline{\overline{AB}} + \overline{\overline{CD}}$

$= AB + CD$ ... ... (ii)

অর্থাৎ, $Y' = Y$, কাজেই বর্তনী দুটি পরস্পরের তুল্য বর্তনী (প্রমাণিত)

এজন্য AND – OR সমবায়কে NAND – NAND সমবায়ের তুল্য বলা হয়।

৩। চিত্র ২-এ প্রদত্ত লজিক বর্তনীর ক্ষেত্রে বুলিয়ান সম্পর্কটি নির্ণয় কর এবং সত্য সারণি (truth table) তৈরি কর।



চিত্র ২

চিত্র ২ এ দুটি গেটই হলো NAND গেট।

ইনপুট A ও B এর প্রথম NAND আউটপুট হলো $\overline{AB}$।

আবার, $\overline{AB}$ ও $\overline{AB}$-এর দ্বিতীয় NAND আউটপুট হলো $\overline{\overline{AB}} = AB$; অর্থাৎ একটি AND গেটের আউটপুট।

সুতরাং প্রদত্ত বর্তনীটি হলো দুটি NAND গেট দিয়ে তৈরি AND গেটের বর্তনী।

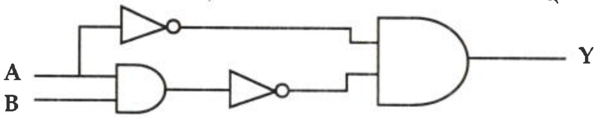
এক্ষেত্রে বুলিয়ান বীজগাণিতিক সম্পর্ক হলো,

$Y = AB$

প্রদত্ত লজিক বর্তনীর সত্য সারণি নিম্নরূপ :

A	B	AB	$\overline{AB}$	$\overline{\overline{AB}}$	$Y = \overline{\overline{AB}} = AB$
0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1

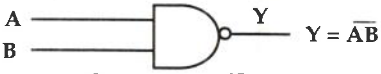
৪। নিম্নের লজিক বর্তনীর বুলিয়ান সম্পর্ক লিখ এবং সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম সমতুল বর্তনী অঙ্কন কর।



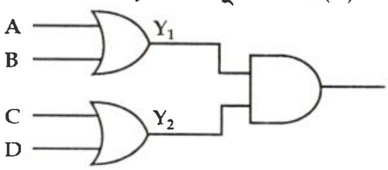
লজিক বর্তনীর বুলিয়ান সম্পর্ক,

$Y = \overline{A} + \overline{AB} = \overline{A + AB} = \overline{A + 1 + B} = \overline{AB}$

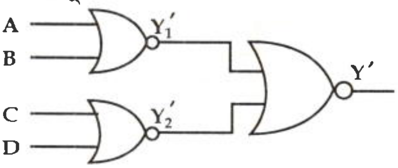
সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম সমতুল বর্তনীর নিম্নে অঙ্কিত হলো—



৫। দেখাও যে, নিম্নের দুটি বর্তনী (ক) ও (খ) পরস্পর তুল্য।



(ক)



(খ)

(ক) চিত্রে, $Y_1 = A + B$, $Y_2 = C + D$

সুতরাং, $Y = (A + B) . (C + D)$

পুনরায়, (খ) চিত্র, $Y_1' = \overline{A+B}$, $\overline{Y_2} = \overline{C + D}$

সুতরাং, $Y' = \overline{Y_1' + Y_2'} = \left(\overline{Y'_1} . \overline{Y'_2}\right) = \overline{\overline{(A + B)}} . \overline{\overline{C + D}}$

$= (A + B)(C + D)$

অতএব $Y' = Y$ অর্থাৎ, বর্তনী দুটি পরস্পর তুল্য। সুতরাং বলা যায় যে, OR—AND সমবায় NOR—NOR সমবায়ের তুল্য।

১০.১৭ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ১	**AND লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই** **To verify the truth table of AND logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : AND গেটের অপারেশন আইসি (IC) এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

(ক) ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড (Digital trainer board) 1টি

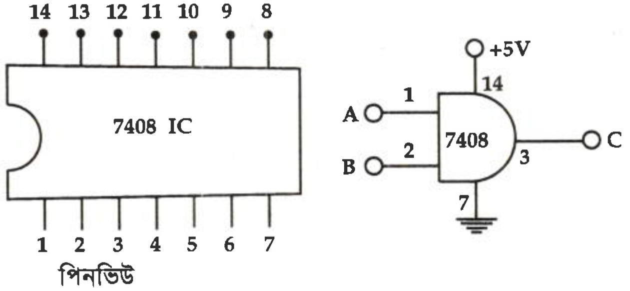
(খ) 2 ইনপুট AND গেট (7408) আইসি 1টি

(গ) LED বাতি

(ঘ) সুইচ

(ঙ) সংযোগ তার

সংযোগ : AND গেটের আইসি সংযোগ চিত্র ১০.৪৭-এ দেখানো হলো।



চিত্র ১০.৪৭

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

ট্রুথ টেবিল (Truth table)

AND গেটের ট্রুথ টেবিল বা সত্য সারণি ১

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND gate A . B = C বুলিয়ান বীজগণিত অনুসারে কাজ করে।

কাজের ধারা (Working procedure)

১। পিন সংযোগ অনুযায়ী ট্রেইনার বোর্ডের উপর IC বসাতে হবে। 1নং ও 2নং পিন সুইচ A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর সাথে +5V সংযোগ দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেইনার বোর্ডে LED বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

২। ট্রেইনার বোর্ডে বৈদ্যুতিক সংযোগ দিতে হবে।

৩। এবার ট্রুথ টেবিল অনুসারে আইসি সংযোগের ক্ষেত্রে সুইচ-এর অবস্থার পরিবর্তন করে অর্থাৎ অফ-অন করে আউটপুট অর্থাৎ LED এর অবস্থা পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ১	**NOT লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই** **To verify the truth table of NOT logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : NOT গেটের অপারেশন আইসি এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

১। ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড

২। 1 ইনপুট NOT গেট (7404) আইসি 1টি

৩। LED বাতি

৪। সুইচ

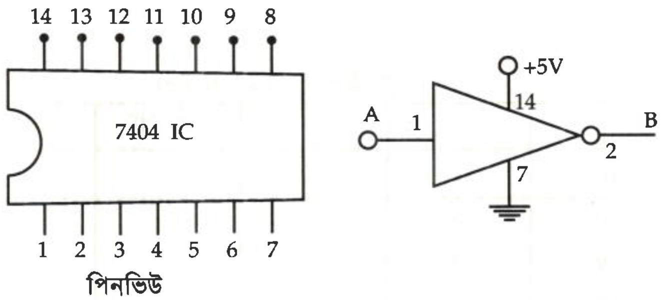
৫। সংযোগ তার

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

বর্তনী সংযোগ : NOT গেটের আইসি সংযোগ চিত্র ১০.৪৮-এ দেখানো হলো।



চিত্র ১০.৪৮

ট্রুথ টেবিল :

ইনপুট A	আউটপুট B
0	1
1	0

কাজের ধারা (Working procedure)

১। পিন সংযোগ অনুযায়ী ট্রেনার বোর্ডের উপর 7404 IC বসাতে হবে।

২। 1নং ও 2নং পিন সুইচ A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর সাথে +5V সংযোগ দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেনার বোর্ডে LED এর সাথে বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

৩। এবার ট্রুথ টেবিল অনুযায়ী IC সংযোগের ক্ষেত্রে সুইচ-এর অবস্থার পরিবর্তন করে অর্থাৎ অফ-অন করে LED-এর অবস্থা পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ১	**OR লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই** **To verify the truth table of OR logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : OR গেটের অপারেশন আইসি এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

১। ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড (Digital trainer board) 1টি

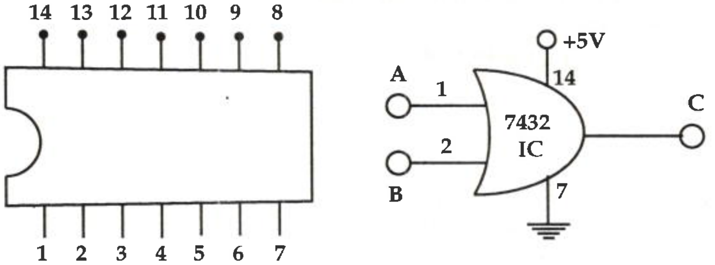
২। 2 ইনপুট OR গেট (7432) আইসি 1টি

৩। LED বাতি

৪। সুইচ

৫। সংযোগ তার।

সংযোগ (Connection) : OR গেটের আইসি সংযোগ নিচের ১০.৪৯নং চিত্রে দেখানো হলো।



চিত্র ১০.৪৯

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

ট্রুথ টেবিল (Truth table)

ভোল্টেজ সংযোগ		ইনপুট		আউটপুট	ভোল্টেজ	অবস্থা
A	B	A	B	C	Output	LED condition
0V	0V	0	0	0	0V	OFF
0V	5V	0	1	1	5V	ON
5V	0V	1	0	1	5V	ON
5V	5V	1	1	1	5V	ON

কাজের ধারা (Working procedure)

১। 7432 আইসি চিত্র ১০.৪৯ এর ন্যায় ট্রেনার বোর্ড বসাতে হবে।

২। 1নং ও 2নং পিন A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর সাথে +5V সংযোগ দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেইনার বোর্ডে LED বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

৩। সুইচ OFF/ON করে আউটপুটের সত্যতা যাচাই করতে হবে।

৪। আইসি-তে চার সেট (A, B) ইনপুট এবং চারটি আউটপুট (C) আছে। যেকোনো সেটের জন্য OR গেটের অপারেশন LED বাতির অবস্থা পর্যবেক্ষণ করে লিপিবদ্ধ করতে হবে।

অনুরূপভাবে যথোপযুক্ত আইসি ব্যবহার ও প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ দিয়ে NAND এবং NOR লজিক গেটের ট্রুথ টেবিল যাচাই করা যায়।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

RMDAC

কাজ : IC কী ? এর সুবিধা-অসুবিধাগুলি কী কী ?

ইনটিগ্রেটেড বা সমন্বিত সার্কিটের সংক্ষিপ্ত নাম IC। এটি হলো সেই বর্তনী যাতে বর্তনীর উপাংশ বা যন্ত্রাংশগুলো ক্ষুদ্র অর্ধপরিবাহক চিপে বিশেষ প্রক্রিয়ায় গঠন করা হয় যারা স্বয়ংক্রিয়ভাবে ওই চিপের অংশ। IC-তে অনেকগুলো যন্ত্রাংশ যেমন রোধক, ধারক, ডায়োড, ট্রানজিস্টর ইত্যাদি এবং এদের অন্তঃসংযোগ একটি ক্ষুদ্র প্যাকেজ হিসেবে থাকে, যাতে এরা একটি পূর্ণ ইলেকট্রনিক কার্যাবলি সম্পন্ন করতে পারে। একটি ক্ষুদ্র অর্ধপরিবাহক পদার্থের মধ্যে এসব যন্ত্রাংশ গঠন ও সংযুক্ত করা হয়।

সুবিধা : (১) সংযোগ সংখ্যা কম কিন্তু নির্ভরযোগ্যতা বেশি। (২) অত্যন্ত ক্ষুদ্রাকৃতি। (৩) ওজন কম (৪) কম বিদ্যুতের প্রয়োজন হয়। (৫) দাম কম।

অসুবিধা : কোনো যন্ত্রাংশ নষ্ট হয়ে গেলে চিপটি পরিবর্তন করতে হয়। অংশবিশেষ মেরামত করা যায় না।

সার-সংক্ষেপ

পরিবাহী : যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে সেগুলোকে পরিবাহী বলে।

অন্তরক বা অপরিবাহী : যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করে না, সেগুলোকে অন্তরক বা অপরিবাহী বলে।

অর্ধপরিবাহী : যে সমস্ত পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা পরিবাহী ও অন্তরকের মাঝামাঝি, সেগুলোকে অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলে। তাপমাত্রা বাড়ালে এদের তড়িৎ পরিবাহিতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়।

শক্তি ব্যান্ড : কেলাস গঠনে একই কক্ষপথের ইলেকট্রনগুলোর একটি সুনির্দিষ্ট শক্তিস্তর না হয়ে ব্যান্ডের আকার ধারণ করে। বিভিন্ন কক্ষপথের ইলেকট্রনগুলোর বিভিন্ন ব্যান্ড সৃষ্টি হয়। এসমস্ত ব্যান্ডের সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ মানের শক্তির মধ্যবর্তী পাল্লাকে শক্তি ব্যান্ড বলে।

পরিবহণ ব্যান্ড : পরমাণুর মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর জন্য যে ব্যান্ড বা পাল্লা তৈরি হয় তাকে পরিবহণ ব্যান্ড বলে। পরিবহণ ব্যান্ডের ইলেকট্রনগুলো বিদ্যুৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে।

হোল : পরমাণুর বন্ধন থেকে কোনো ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হলে ওই অবস্থানে যে শূন্যস্থানের সৃষ্টি হয় তাকে হোল বা গর্ত বলে। এর কার্যকর আধান $+e$, যদিও এটি কোনো বাস্তব কণিকা নয়।

যোজন ব্যান্ড : কোনো পদার্থের মধ্যে যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলি যে সমস্ত শক্তি স্তরে থাকে, সেসব শক্তি স্তর নিয়ে যে শক্তি ব্যান্ড তৈরি হয় তাকে যোজন ব্যান্ড বলে।

অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে বিশেষ ধরনের অপদ্রব্যকে সুপরিকল্পিতভাবে মিশালে অর্ধপরিবাহীটির তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়। একেই অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী বলে।

ডোপ্যান্ট : অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে মিশ্রিত অপদ্রবকে ডোপ্যান্ট বলে।

নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান বা ফাঁক : পরিবহণ ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের বা যেকোনো দুটি ব্যান্ডের মধ্যবর্তী অঞ্চল যেখানে ইলেকট্রন থাকতে পারে না, তাকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান বা ফাঁক বলে।

বিশুদ্ধ বা সহজাত অর্ধপরিবাহী : যে সমস্ত অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা সমান থাকে সেগুলোকে বিশুদ্ধ বা সহজাত অর্ধপরিবাহী বলে। এই সমস্ত অর্ধপরিবাহীতে কোনো ভেজাল থাকে না।

n-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে পঞ্চযোজী মৌল খুব সামান্য পরিমাণে মিশ্রিত করলে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী হয়। এই ধরনের পদার্থে তড়িৎ পরিবহনে ইলেকট্রনই মুখ্য ভূমিকা পালন করে।

p-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে খুব সামান্য পরিমাণে ত্রিযোজী মৌল মিশ্রিত করে যে অর্ধপরিবাহী তৈরি হয় তাই p-টাইপ অর্ধপরিবাহী। এই সমস্ত পদার্থে তড়িৎ পরিবহনে ধনাত্মক 'হোল' মুখ্য ভূমিকা পালন করে।

ডোপিং : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে খুব সামান্য পরিমাণে ত্রি-বা পঞ্চযোজী মৌলের মিশ্রণের কৌশলকে ডোপিং বলে। বিদ্যুৎ প্রবাহ বৃদ্ধির জন্য ডোপিং করা হয়।

জাংশন ডায়োড : একটি p-টাইপ এবং একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে বিশেষ ব্যবস্থাধীনে সংযুক্ত করলে সংযোগ পৃষ্ঠকে $p-n$ জাংশন বা জাংশন ডায়োড বলে। জাংশন ডায়োডে একমুখী তড়িৎ প্রবাহ ঘটে।

সম্মুখবর্তী ঝোঁক : যখন জাংশনে এমনভাবে বাহ্য ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয় যাতে জাংশনের বিভব প্রাচীর হ্রাস করে তড়িৎ প্রবাহ চালু করে তখন একে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ বলে।

বিপরীত ঝোঁক : ডায়োডে বা জাংশনে বাহ্য ভোল্টেজ প্রয়োগ যদি এমন হয় যে বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বৃদ্ধি পায়, তখন একে বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ বলে।

রেকটিফায়ার : যে ডিভাইস বা কৌশল এসি বা পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তর করে তাকে রেকটিফায়ার বলে।

ট্রানজিস্টর : দুটি p-n জাংশনকে পাশাপাশি বিশেষ কায়দায় সংযুক্ত করলে ট্রানজিস্টর হয়। দুটি p-টাইপ বা দুটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর মাঝখানে অত্যন্ত পাতলা এবং খুবই হাল্কা ডোপিং সমৃদ্ধ যথাক্রমে একটি n-টাইপ বা একটি p-টাইপ অর্ধপরিবাহী সংযুক্ত করে p-n-p এবং n-p-n ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়।

অ্যাম্‌প্লিফায়ার : এটি এক ধরনের ইলেকট্রনিক ডিভাইস বা কৌশল যার ইনপুট বর্তনীতে দুর্বল সংকেত প্রয়োগ করে বহিঃবর্তনী হতে বহুগুণ বিবর্ধিত সংকেত পাওয়া যায়।

ডিজিটাল পদ্ধতি : ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক ব্যবহৃত হয়। যেমন আঙ্গুল, হাত, ডিজিট (0, 1, 2 ....) ইত্যাদি। এই এককগুলি একক‌ভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে কোনো পূর্ণসংখ্যা প্রকাশ করা যায়।

লজিক গেট : লজিক গেট একটি ইলেকট্রনিক্স বর্তনী যা যৌক্তিক সিদ্ধান্ত নিতে পারে। এর একটি আউটপুট এবং এক বা একাধিক ইনপুট প্রান্ত থাকে। ইনপুট সিগন্যালের নির্দিষ্ট সমন্বয়ের জন্য আউটপুট সিগন্যাল আবির্ভূত হয়।

সংখ্যা পদ্ধতির ভিত বা বেস : ডিজিটাল সার্কিটে চার ধরনের গাণিতিক সিস্টেম ব্যবহৃত হয়।

১। **দশমিক বা 10 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি :** দশমিক পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস হচ্ছে 10। যথা : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

২। **বাইনারি বা 2 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি :** এই সংখ্যা পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস 20। যথা : 0 এবং 1 অংক ব্যবহার করা হয়।

৩। **অষ্টাল বা 8 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি :** অষ্টাল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 8। যথা : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7।

৪। **হেক্সাডেসিমেল বা 16 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি :** হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 10। যথা : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F।

লজিক গেট : লজিক গেট বলতে সাধারণত লজিক সার্কিটকে বুঝায় যাতে এক বা একাধিক ইনপুট এবং কেবল একটি আউটপুট থাকে। তথ্য প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে বলেই একে গেট বলা হয়।

মৌলিক লজিক গেট : ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্‌সে তিনটি মৌলিক লজিক গেট ব্যবহার করা হয়। যথা : OR গেট, AND গেট এবং NOT গেট। এ ছাড়া এই তিনটি মৌলিক গেট দ্বারা আরো কিছু গেট ব্যবহার করা হয়। যথা : NAND গেট, NOR গেট, XOR গেট এবং XNOR গেট।

সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল : ইনপুট ও আউটপুট সিগনাল বা ভোল্টেজের বিভিন্ন মানের মধ্যে সম্পর্ক একটি টেবিলের সাহায্যে প্রকাশ করলে ওই টেবিলকে সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল বলে।

ডি মরগ্যান তত্ত্ব : বিজ্ঞানী ডি মরগান দুটি বিশেষ গাণিতিক উপপাদ্য আবিষ্কার করেন। সেগুলোকে তার নাম অনুসারে ডি মরগ্যান উপপাদ্য বলে।

উপপাদ্য–১ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NOR গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি AND গেটের আউটপুট সিগনালের সমান হয়। অর্থাৎ $\overline{A+B} = \overline{A}.\overline{B}$

উপপাদ্য–২ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NAND গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি OR গেটের আউটপুট সিগনালের সমান। অর্থাৎ $\overline{A.B} = \overline{A} + \overline{B}$

NOT গেট : NOT গেটে একটি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। একে ইনভারটারও বলে। NOT গেটের ইনপুট 1 হলে আউটপুট 'O' এবং ইনপুট 'O' হলে আউটপুট '1' হয়। এর বুলিয়ান সমীকরণ, $X = \overline{A}$

OR গেট : OR গেট এমন এক ধরনের গেট যার দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে। এর বুলিয়ান সমীকরণ হলো, $X = A + B$

NOR গেট : OR গেটের আউটপুট X-কে NOT গেটের ইনপুটের সাথে সংযুক্ত করে NOR গেট তৈরি হয়। NOR গেটের দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকতে পারে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে। এর বুলিয়ান সমীকরণ হলো, $X = NOT\,(A + B) = \overline{A + B}$

XOR গেট : Exclusive — OR (XOR) গেট এমন এক ধরনের গেট যা এর ইনপুটে বিজোড় সংখ্যা আছে কি না চিহ্নিত করে। XOR গেটের ইনপুটে বিজোড় সংখ্যক 1 হলে আউটপুট 1 হয়। OR গেট AND গেট এবং NOT গেট যুক্ত করে XOR গেট পাওয়া যায়। এর বুলিয়ান সমীকরণ, $X = A \otimes B = \bar{A}B + A\bar{B}$

X-NOR গেট : XOR গেটের আউটপুটকে NOT গেটের ইনপুটে যুক্ত করলে XNOR গেট পাওয়া যায়। যে লজিক গেটের বিজোড় সংখ্যক ইনপুট হলে আউটপুট 0 হয় এবং জোড় সংখ্যক ইনপুট বা ইনপুট দুটি সমান হলে আউটপুট 1 হয় তাকে X-NOR গেট বলে। এর বুলিয়ান সমীকরণ হলো, $X = \overline{A \otimes B} = \overline{\bar{A}B + A\bar{B}} = AB + \overline{AB}$

AND গেট : AND গেট দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। AND গেটের সকল ইনপুট 1 বলেই কেবলমাত্র আউটপুট 1 হবে অন্যথায় 0 হবে। এর বুলিয়ান সমীকরণ $X = A.B$

NAND গেট : AND গেটের আউটপুট X′-কে NOT গেটের ইনপুটের সাথে যুক্ত করে NAND গেট তৈরি করা হয়। AND গেট হতে নির্গত সংকেতটি NOT গেটের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করলে NAND গেটের কাজ হয়। এর বুলিয়ান সমীকরণ, $X = \overline{A.B}$

জেনার ডায়োড : এটি জেনার ভোল্টেজে ক্রিয়াশীল বিশেষ ধরনের ডায়োড, স্থির মানের ডি. সি. ভোল্টেজ পাওয়ার জন্য পাওয়ার সাপ্লাইতে ব্যবহার করা হয়। জেনার ডায়োড বিপরীত ঝোঁকে ক্রিয়াশীল।

আই. সি. (IC) : এটি একটি সিলিকনের তৈরি সলিড স্টেট (Solid state) অর্ধপরিবাহী ডিভাইস যাকে চিপ বলে। একটি চিপের মধ্যে বহু সংখ্যক ডায়োড, ট্রানজিস্টর, রোধক, ধারক ইত্যাদি অভ্যন্তরীণভাবে সংযুক্ত থাকে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

গতীয় রোধ, $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ ... ... (1)

$I_E = I_B + I_C$ ... ... (2)

$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$ ... ... (3)

$R_{in} = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right)$ ... ... (4)

$R_{out} = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}\right)$ ... ... (5)

প্রবাহ লাভ, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ ... ... (6)

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক, $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ ... ... (7)

প্রবাহ লাভ এবং প্রবাহ বিবর্ধন গুণক এর মধ্যে সম্পর্ক,

$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ ... ... (8)

$A_V = \beta_{ac} \times \frac{R_L}{R_{in}}$ ... ... (9)

$A_P = A_V \times \beta_{ac} = \beta^2 . \left(\frac{R_L}{R_{in}}\right)$ ... ... (10)

$V_A = \frac{V_0}{V_{in}}$ ... ... (11)

$P_A = \frac{P_0}{P_i}$ ... ... (12)

ইলেকট্রনিক সুইচের ক্ষেত্রে বিভব পার্থক্য,

$V_{out} = V_{CC} - I_C R_C$ ... ... (13)

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখী কারেন্ট, $I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$ ... ... (14)

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। একটি অ্যাম্পিয়ার বর্তনীর রোধ 4500Ω। এই বর্তনীতে ট্রানজিস্টরের সাধারণ নিঃসারক সংযোগ ব্যবস্থায় করা হয়েছে। বায়াসিং ভোল্টেজ 15 mV হলে পীঠ প্রবাহের পরিবর্তন 30 μA এবং সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তন 3 mA পাওয়া যায়।

(ক) উদ্দীপক হতে প্রবাহ লাভ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের তথ্য থেকে ভোল্টেজ লাভ নির্ণয় করা সম্ভব হবে কী? গাণিতিক মতামত দাও।

[ম. বোর্ড ২০২১]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ লাভ

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{3 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}} = 1 \times 10^2 = 100$$

এখানে,
$\Delta I_C = 3\text{ mA} = 3 \times 10^{-3}\text{ A}$
$\Delta I_B = 30\ \mu\text{A} = 30 \times 10^{-6}\text{ A}$

(খ) এখানে, বায়াসিং ভোল্টেজ, $V_{BE} = 15\text{ mV} = 15 \times 10^{-3}\text{ V}$

∴ অন্তর্গামী রোধ,

$$R_{in} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{15 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}}$$

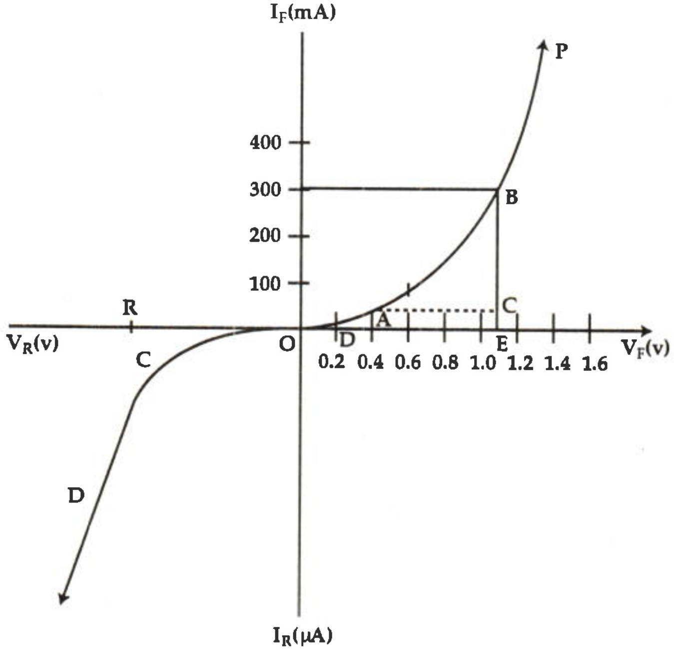
$$= \frac{150 \times 10^2}{30} = 5 \times 10^2 = 500\Omega$$

এখন, বহির্গামী রোধ, $R_L = 4500\Omega$

আবার, ভোল্টেজ লাভ, $A_V = \beta \times \left(\frac{R_L}{R_{in}}\right) = 100 \times \frac{4500}{500} = 900$

অর্থাৎ, উদ্দীপকের তথ্য থেকে ভোল্টেজ লাভ নির্ণয় করা সম্ভব।

২। *p-n* জাংশনের I—V লেখচিত্র দেখানো হয়েছে।



(ক) AB অংশে গতীয় রোধ নির্ণয় কর।

(খ) লেখচিত্রের OCD এবং OAB অংশের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর।

[ম. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২১]

(ক) এখানে, গতীয় রোধ,

$$R = \frac{BC}{AC} = \frac{BE - CE}{OE - OA}$$

$$= \frac{(300 - 50) \times 10^{-3}}{1{\cdot}1 - 0{\cdot}4} = \frac{250 \times 10^{-3}}{0{\cdot}7} = 0{\cdot}36\Omega$$

(খ) চিত্রে সম্মুখবর্তী V—I বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে নিম্নলিখিত বিষয় লক্ষণীয়—

সম্মুখ ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কারেন্ট বৃদ্ধি পায় না। জার্মেনিয়াম ডায়োডের জন্য 0·3V এবং সিলিকন ডায়োডের জন্য 0·7V পর্যন্ত সম্মুখ কারেন্ট I_F শূন্য থাকে। 0·3V এবং 0·7V হলো যথাক্রমে জার্মেনিয়াম ও সিলিকনের অভ্যন্তরীণ বিভব প্রাচীর ভোল্টেজ V_0। বিভব প্রাচীর অতিক্রম করার জন্য চার্জ বাহকের ন্যূনতম V_0 ভোল্টেজের প্রয়োজন হয়। একে অপারেটিং ভোল্টেজ বলে। চিত্রে D অপারেটিং ভোল্টেজ। এর পর ভোল্টেজ আরও বৃদ্ধি করলে কারেন্ট সূচকীয়ভাবে বাড়ে এবং পরবর্তীতে কিছু সময়ের জন্য ভোল্টেজ কারেন্ট বৃদ্ধি সমানুপাতিক হয়। ডায়োডের এই নির্দিষ্ট প্রযুক্ত ভোল্টেজকে সূচন ভোল্টেজ (Threshold voltage) বা কাট-ইন ভোল্টেজ বলে।

(ii) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F এর মান অপারেটিং ভোল্টেজ V_0 অপেক্ষা বৃদ্ধি করা হলে অর্থাৎ $V_F > V_0$ হলে I_F দ্রুত বৃদ্ধি পায়। তাই I_F খাড়াভাবে ওপরে ওঠে। তখন এই V_F-কে নী (Knee) ভোল্টেজ বলে। চিত্রে P বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। এই বৈশিষ্ট্য লেখটি সর্বদা সরলরৈখিক নয়। অর্থাৎ V এবং I পরস্পরের সমানুপাতিক হয় না।

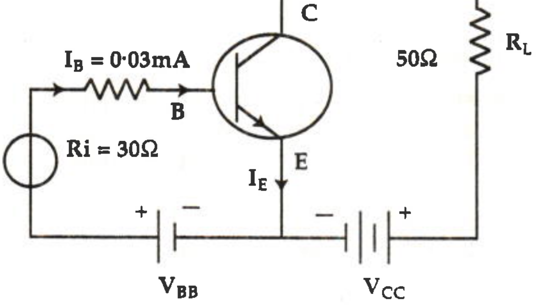
(iii) B বিন্দু থেকে P বিন্দু পর্যন্ত প্রবাহ I_F এর মান ভোল্টেজ বৃদ্ধির সাথে সাথে সূচকীয়ভাবে বৃদ্ধি পায়। এজন্য BP অঞ্চলকে সূচকীয় অঞ্চল বলে।

বিপরীত ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) বিপরীত ঝোঁক V_R বৃদ্ধির সঙ্গে বিপরীত কারেন্ট I_R খুব ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেয়ে I_0-তে পৌঁছায়। এরপর বিপরীত ভোল্টেজ বাড়ালেও কারেন্ট I_0 স্থির থাকে। I_0 কারেন্টকে 'বিপরীত সম্পৃক্ত কারেন্ট' (reverse saturation current) বা 'ক্ষরণ কারেন্ট' (leakage current) বলে। এই কারেন্ট *p–n* জাংশনের *p–* এবং *n*-অঞ্চলে স্বল্পসংখ্যক 'সংখ্যালঘু বাহকের' দ্বারা তৈরি হয়। এর মান সাধারণত কয়েক μA। ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যা পরিবর্তন হয় না বলে ভোল্টেজ অনেক বাড়ালেও কারেন্ট স্থির থাকে। এই প্রবাহকে Reverse saturated current বলে। সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে এর মান 1 μA। শুধুমাত্র তাপমাত্রা পরিবর্তন হলে সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যার পরিবর্তন হয়।

(ii) বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে একটি ক্রান্তি (critical) মানে পৌঁছালে দেখা যায় যে বিপরীত কারেন্ট হঠাৎ করে অনেকগুণ বেড়ে যায়। এই সময় *p-n* জাংশনের রোধ সম্পূর্ণরূপে ভেঙ্গে যায় বা জাংশনের বিভব বাধা একেবারে বিলুপ্ত হয়ে গেছে বলে মনে হয়। তাই এই বিশেষ ভোল্টেজকে বলা হয় 'ব্রেকডাউন ভোল্টেজ' (breakdown voltage)। চিত্রে R বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজে পৌঁছে গেলে সাধারণত জাংশন ডায়োডের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয়ে যেতে পারে। এই অবস্থায় ডায়োড পরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে। এই ক্রিয়াকে **জেনার ক্রিয়া** বলে। বিজ্ঞানী মি. জেনার এই ক্রিয়া প্রথমে লক্ষ করেন।

৩।



উদ্দীপকে একটি কমন এমিটার *n-p-n* ট্রানজিস্টর বর্তনী দেখানো হলো—

(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর কারেন্ট গেইন β কত?
(খ) বেস প্রবাহ ও কালেক্টর প্রবাহ দ্বিগুণ করা হলে ভোল্টেজ গেইনের কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২২; য. বো. ২০১৫ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি, কারেন্ট গেইন,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{0.03 \times 10^{-3}} = 50$$

এখানে,
$I_B = 0.03\ mA = 0.03 \times 10^{-3}\ A$
$I_C = 1.5\ mA = 1.5 \times 10^{-3}\ A$
$R_i = 30\Omega$
$R_L = 50\Omega$

(খ) ভোল্টেজ গেইন,

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_i}$$

এখানে,
$I'_B = 2 \times 0.03 \times 10^{-3} = 0.06 \times 10^{-3}\ A$
$I'_C = 2 \times 1.5 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3}\ A$

এবং $B' = \frac{I'_C}{I'_B} = \frac{3 \times 10^{-3}}{0.06 \times 10^{-3}} = 50$

পরিবর্তিত ভোল্টেজ গেইন,

$$A'_V = B' \times \frac{R_L}{R_i} = 50 \times \frac{50}{30} = 83.3$$

প্রাথমিক অবস্থান ভোল্টেজ গেইন,

$$A_V = \beta \times \frac{R_2}{R_i} = 50 \times \frac{50}{30} = 83.3$$

দেখা যাচ্ছে যে, $A'_V = A_V$ অর্থাৎ, ভোল্টেজ গেইনের কোনো পরিবর্তন হবে না।

৪। কমন এমিটার ট্রানজিস্টর সংযোগে 0.95 V ও 1.15 V বিভব প্রয়োগ করলে যথাক্রমে 10 mA ও 30 mA বেস প্রবাহ পাওয়া যায়। ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ $\beta = 75$ এবং লোড রোধ 100 Ω।
(ক) ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α নির্ণয় কর।
(খ) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টর সংযোগটি বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \text{ বা, } \beta - \beta\alpha = \alpha \text{ বা, } \alpha(1+\beta) = \beta$$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{75}{1+75} = \frac{75}{76} = 0.986$$

(খ) বিবর্ধক হিসেবে কাজ করলে V_{out}, V_{in} এর চেয়ে বেশি হবে।

এখানে, $\beta = 75$

আমরা জানি, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

$$\therefore \quad \Delta I_C = \beta \times \Delta I_B = 75 \times (30 - 10) \times 10^{-3} = 75 \times 20 \times 10^{-3} = 1.5A$$

$$\therefore \quad V_{out} = R_L \times I_C = 100 \times 1.5 = 150 \text{ এবং } V_{in} = 0.95V$$

ভোল্টেজ লাভ, $A_V = \beta \times \frac{V_{out}}{V_{in}} = 75 \times \frac{150}{0.95} = 11842$

সুতরাং, ট্রানজিস্টরটির সংযোগটি বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে।

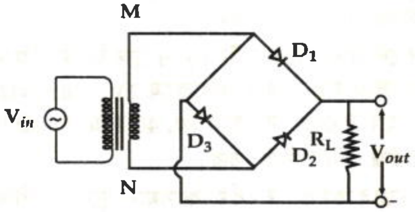
৫। গবেষণাগারে একজন শিক্ষার্থী চারটি একই রকম ডায়োড নিয়ে পরীক্ষা করছিল, সে দেখতে পেল যে, প্রতিটি ডায়োডের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 0.4 Volt পরিবর্তন করা হলে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন 100 mA হয়। ডায়োডগুলো ব্যবহার করে সে একটি পূর্ণ তরঙ্গ রেক্টিফায়ার তৈরি করে পরীক্ষা শুরু করল। কিছুক্ষণ পর সে বর্তনী থেকে একটি ডায়োড খুলে ফেলল।
(ক) উদ্দীপকে উল্লিখিত ডায়োডের গতীয় রোধ কত?
(খ) ডায়োডটি খুলে ফেলার পর আউটপুট সিগন্যালের পরিবর্তন কীরূপ হবে তা সচিত্র বর্ণনা কর। [ঢা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৫]

(ক) দেওয়া আছে, বিভব পার্থক্যের পরিবর্তন $\Delta V = 0.4\ V$, তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন $\Delta I = 100\ mA = 100 \times 10^{-3}\ A$, গতীয় রোধ, $R = ?$

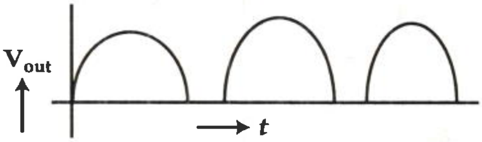
আমরা জানি,

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0.4 \text{ Volt}}{100 \times 10^{-3}} = 4\,\Omega$$

(খ) রেকটিফায়ারের চতুর্থ ডায়োডটি খুলে ফেলায় বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে :



ইনপুটের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য M প্রান্ত ধনাত্মক এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। তখন D_1 ও D_3 এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় অর্থাৎ আউটপুটে সিগন্যাল পাওয়া যায়। কিন্তু ইনপুটের ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য M প্রান্ত ঋণাত্মক এবং N প্রান্ত ধনাত্মক হলে কোনো ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হবে না। ফলে আউটপুটে সিগন্যাল পাওয়া যাবে না। অর্থাৎ তখন রেকটিফায়ারটি একটি অর্ধতরঙ্গ রেকটিফায়ার হিসেবে কাজ করবে। এর আউটপুটে R_Lএর বিপরীতে সিগন্যালটি নিম্নরূপ হবে।

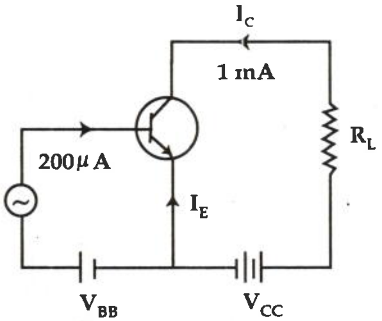


৬। চিত্রে একটি ট্রানজিস্টর দেওয়া আছে—

(ক) প্রবাহ বিবর্ধন গুণন নির্ণয় কর।

(খ) ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরকে একটি সুইচ হিসেবে ব্যবহার করা যায় কী? বিশ্লেষণ কর।

[ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৫]



(ক) মনে করি প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক = α

সাধারণ নিঃসারক ট্রানজিস্টরটিতে নিঃসারক প্রবাহ I_E হলে,

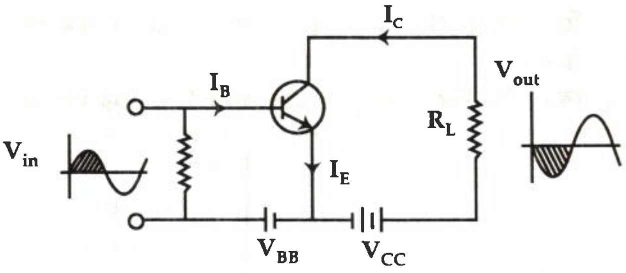
আমরা জানি, $I_E = I_B + I_C$

$= (200 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-3})$ A

$= 1.2 \times 10^{-3}$ A

আবার প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক, $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{1 \times 10^{-3}}{1.2 \times 10^{-3}} = 0.833$

(খ) ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরকে একটি সুইচ হিসেবে ব্যবহার করা যায়। চিত্রে ইনপুট ও আউটপুট সংকেতসহ একটি সাধারণ নিঃসারক বর্তনী দেখানো হলো।



সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত অবস্থায় অন্তর্গামী বর্তনীতে রোধ খুব কম থাকে। নিঃসারক সংগ্রাহক বর্তনীতে বা বহির্গামী বর্তনীতে V_{CC} ব্যাটারির মাধ্যমে বিমুখী ঝোঁক প্রদান করা হয়।

নিঃসারক পীঠ জাংশনে প্রযুক্ত ইনপুট ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অন্তর্গামী সংকেতের ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য নিঃসারক পীঠ জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক হ্রাস পায় অর্থাৎ বিমুখী ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যায়। ফলে বহির্গামী ভোল্টেজও হ্রাস পায়।

অর্থাৎ ইনপুট ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় ট্রানজিস্টর অন অবস্থায় থাকে এবং ঋণাত্মক অর্ধচক্রের সময় অফ অবস্থায় থাকে। তাই ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে অন্তর্গামীতে ঋণাত্মক অর্ধচক্র প্রেরণ করলে অর্থাৎ বিমুখী ঝোঁক প্রান্ত হলে ট্রানজিস্টর সুইচের ন্যায় কাজ করবে।

৭। মাহি ও রাহি ইলেকট্রনিকস দোকান থেকে দুটি n-p-n ট্রানজিস্টর কিনে আনে। মাহির ট্রানজিস্টরে ইনপুট ভোল্টেজ, ইনপুট রোধ, ভার রোধ এবং সংগ্রাহক প্রবাহ যথাক্রমে 2V, 50Ω, 4Ω এবং 30 mA। অপরদিকে রাহির ট্রানজিস্টরে প্রবাহ লাভ, ইনপুট রোধ এবং ভার রোধ যথাক্রমে 80, 40Ω এবং 60Ω।

(ক) মাহির ট্রানজিস্টরের ভোল্টেজ গেইন নির্ণয় কর।

(খ) মাহি ও রাহির ট্রানজিস্টরদ্বয়ের ক্ষমতা বিবর্ধন কি সমান হবে? গাণিতিক মতামত দাও। [ব. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি ট্রানজিস্টর তখনই বিবর্ধক হিসেবে কাজ করবে যখন ভোল্টেজ লাভ $A_V > 1$ হয়।

এখানে ভোল্টেজ গেইন,

$$A_V = \frac{V_0}{V_{in}}$$

$$= \frac{I_C R_L}{V_{in}} = \frac{30 \times 10^{-3} \times 4}{2}$$

$$= 0.06$$

এখানে,
$V_{in} = 2V$
$I_C = 30 \text{ mA} = 30 \times 10^{-3} \text{ A}$
$R_L = 4\Omega$

(খ) মাহির ক্ষেত্রে ক্ষমতা বিবর্ধন,

$$A_P = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

এখন $P_{out} = (I_C)^2 \times R_L$

$$= (30 \times 10^{-3})^2 \times 4$$

$$= 3.6 \times 10^{-3} \text{ W}$$

এখানে,
$V_{in} = 2V$
$R_{in} = 50\Omega$
$R_L = 4\Omega$
$I_C = 30 \text{ mA} = 30 \times 10^{-3} \text{ A}$

আবার, $P_{in} = \frac{(V_{in})^2}{R_{in}} = \frac{(2)^2}{50} = 0.08\text{W}$

$$\therefore \quad A_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{3.6 \times 10^{-3}}{0.08} = 0.045$$

রাহির ক্ষেত্রে ক্ষমতা বিবর্ধন,

$$A'_P = (\beta)^2 \times \frac{R_L}{R_{in}}$$

$$= (80)^2 \times \frac{60}{40} = 9600$$

এখানে,
$\beta = 80$
$R_{in} = 40\Omega$
$R_L = 60\Omega$

যেহেতু $A_P \neq A'_P$ তাই বলা যায় মাহি ও রাহির ট্রানজিস্টরদ্বয়ের ক্ষমতা সমান হবে না।

৮। একটি n–p–n ট্রানজিস্টরের 10^8 টি ইলেকট্রন 10^{-8} s সময়ে এমিটারে গমন করে।

(ক) এমিটার প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) যদি 1% মুক্ত ইলেকট্রন পীঠ অঞ্চলে নষ্ট হয় তবে প্রবাহ বিবর্ধকের মান কীরূপ হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৭; RUC Admission Test, 2021-22]

(ক) আমরা জানি,

$$I_E = \frac{Ne}{t}$$

$$= \frac{10^8 \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-8}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-3} \text{ A} = 1.6 \text{ mA}$$

এখানে,
প্রবাহিত ইলেকট্রন, $N = 10^8$ টি
ইলেকট্রন চার্জ, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
সময়, $t = 10^{-8}$ s
এমিটার প্রবাহ, $I_E = ?$

(খ) মোট ইলেকট্রন, $N = 10^8$ টি

পীঠ অঞ্চলে 1% নষ্ট হয় = $\left(10^8 \times \frac{1}{100}\right)$ টি = 10^6 টি

সুতরাং, $I_B = \frac{10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-8}} = 1.6 \times 10^{-5} = 16 \times 10^{-6} = 16\ \mu A$

সংগ্রাহকে প্রবেশ করে, $N' = 99\% = \frac{99}{100} \times 10^8 = 9.9 \times 10^7$ টি ইলেকট্রন

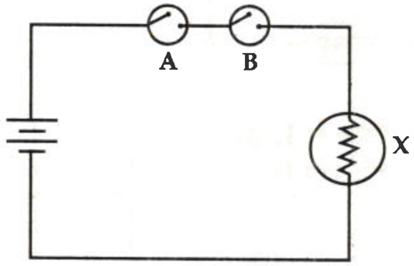
সংগ্রাহক প্রবাহ, $I_C = \frac{9.9 \times 10^7 \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-8}}$

$= 1.584 \times 10^{-3}\ A = 1.584\ mA$

এমিটার প্রবাহ, $I_E = 1.6\ mA$ (ক থেকে প্রাপ্ত)

প্রবাহ বিবর্ধক, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.584 \times 10^{-3}}{16 \times 10^{-6}} = 99$

৯।



P	Q	R
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(ক) বর্তনী–১ সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল লিখ।

(খ) উদ্দীপকে দেওয়া সত্যক সারণির লজিক গেটের আউটপুটে একটি NOT গেট যুক্ত করলে কোনো লজিক গেট তৈরি হবে কি–না তা চিত্রের এবং সত্য সারণির সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০১৬; চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

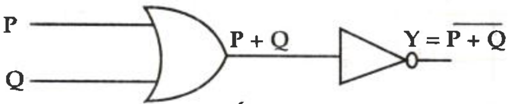
(ক) উদ্দীপকের বর্তনী হলো AND গেটের বর্তনী। AND গেটের সত্য সারণি নিম্নরূপ :

ইনপুট	আউটপুট	
A	B	Y = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

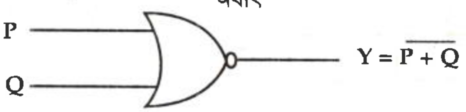
(খ) উদ্দীপকে দেওয়া সত্য সারণি হলো OR লজিক গেটের। OR লজিক গেটের আউটপুটে একটি NOT গেট যুক্ত করলে NOR লজিক গেট তৈরি হবে। নিচে চিত্র এবং সত্য সারণির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হলো :

দুটি ইনপুট P ও Q দিয়ে তৈরি OR গেটের সাথে NOT গেট যুক্ত করলে NOR গেট তৈরি হবে এবং এর আউটপুট হবে $Y = \overline{P+Q}$

অর্থাৎ $Y = \text{NOT}\,(P + Q) = \overline{P+Q}$



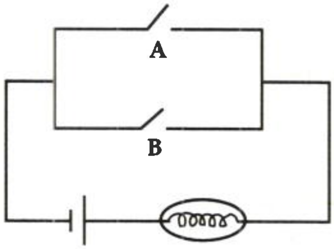
অর্থাৎ



সত্য সারণি :

A	B	A + B	$Y = \overline{A+B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

১০।



(ক) বর্তনীর সত্য সারণি লিখ।

(খ) উদ্দীপকে দেওয়া সত্য সারণির লজিক গেটের আউটপুটে একটি NOT গেট যুক্ত করলে কোনো লজিক গেট তৈরি হবে কি–না তা চিত্রের ও সত্য সারণির সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

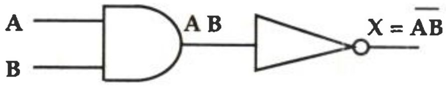
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(ক) উদ্দীপকের বর্তনী হলো OR গেটের। OR গেটের সত্য সারণি নিম্নরূপ :

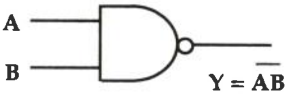
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(খ) উদ্দীপকে দেওয়া সত্য সারণি হলো AND গেটের। এখন AND গেটের আউটপুটে একটি NOT গেট যুক্ত করলে NAND লজিক গেট তৈরি হবে। নিচে চিত্র ও সত্য সারণির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হলো :

দুটি ইনপুট A ও B দিয়ে তৈরি AND গেটের সাথে NOT গেট যুক্ত করলে NAND গেট তৈরি হবে এবং তার আউটপুট হবে, $Y = \overline{A.\ B}$



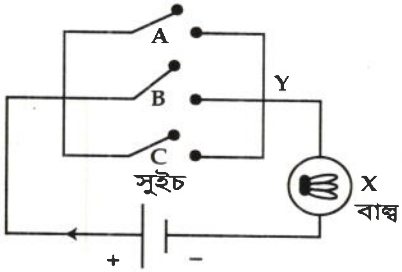
অর্থাৎ



সত্য সারণি

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

১১।

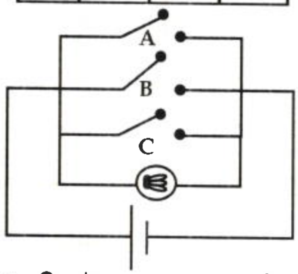


(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর সত্যক সারণি লিখ।
(খ) উদ্দীপকের বাল্বটিকে সুইচ-এর সমান্তরালে সংযোগ দিলে বর্তনীটি কোন লজিক গেটের সমতুল্য বর্তনীতে পরিণত হবে? বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০২১]

(ক)

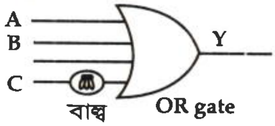
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

(খ)



এক্ষেত্রে A, B, C যেকোনো 1টি সুইচ বা যেকোনো 2টি সুইচ, কিংবা 3টি সুইচ সংকেত না পাঠালেও বর্তনী ON করলে বাল্বের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হবে। সুতরাং এটি জ্বলে উঠবে। শুধুমাত্র ব্যাটারি OFF থাকলে অর্থাৎ বর্তনীতে কোনো সংকেত না পাঠালে A, B, C ও বাল্বটি OFF থাকবে। সুতরাং বর্তনীর সত্যক সারণি হবে নিম্নরূপ :

A	B	C	বাল্ব	Y
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	1	1	1
1	1	1	1	1



১২।

ইনপুট		আউটপুট
A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

সারণি ১

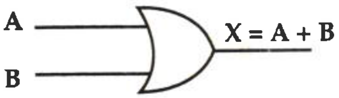
ইনপুট		আউটপুট
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

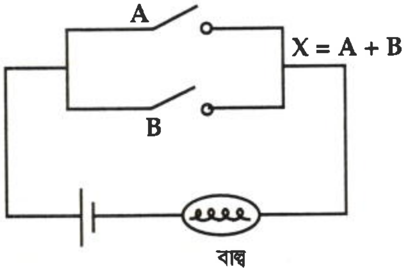
সারণি ২

(ক) সারণি ১ হতে লজিক গেটের কার্যক্রম বর্তনী চিত্রসহ বর্ণনা কর।

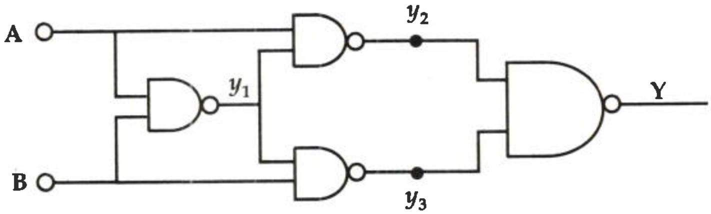
(খ) সারণি ২-এর গেটটিকে মৌলিক গেইট দিয়ে বাস্তবায়ন কর। [রা. বো. ২০২১]

(ক)





(খ)



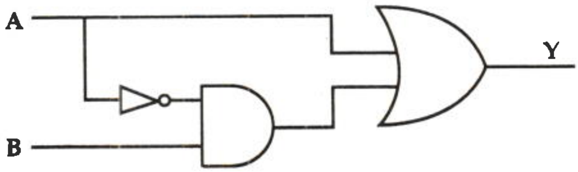
চারটি NAND গেটের সমবায়ে সারণি ২-এর গেটটি বাস্তবায়ন করা যায়। উপরোল্লিখিত গেটগুলোর সংকেত নিম্নরূপ :

সংকেত : $y_1 = \overline{AB}$, $y_2 = \overline{Ay_1}$, $y_3 = \overline{y_1.B_1}$ $Y = \overline{y_2 y_3}$

NAND গেটগুলোর সত্যক সারণি নিম্নরূপ :

A	B	$y_1 = \overline{AB}$	$y_2 = \overline{Ay_1}$	$y_3 = \overline{y_1 B}$	$Y = \overline{y_2 \cdot y_3}$
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0

১৩। চিত্রে একটি লজিক বর্তনী দেখানো হয়েছে।



(ক) প্রদত্ত লজিক বর্তনীর ক্ষেত্রে বুলিয়ান সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের লজিক বর্তনীর সঙ্গে একটি NOT গেট যুক্ত করলে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও যে সংক্ষিপ্ততম তুল্য বর্তনীটি একটি NOR গেট নির্দেশ করবে।

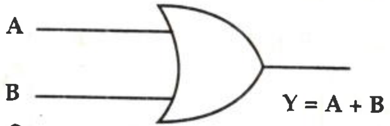
(ক) নির্ণীত বুলিয়ান সম্পর্কটি হলো,

$$Y = A + \overline{A}B$$

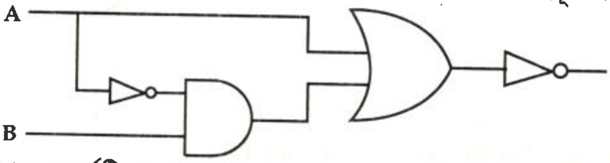
এখন, $Y = A + \overline{A}B = A \cdot 1 + \overline{A}B = A(1 + B) + \overline{A}B$

$$= A + AB + \overline{A}B = A + (A + \overline{A})\,B$$
$$= A + 1 \cdot B = A + B$$

সুতরাং, সংক্ষিপ্ততম তুল্য বর্তনীটি হলো একটি OR গেট।



(খ) উদ্দীপকের লজিক বর্তনীতে একটি NOT গেট যুক্ত করলে লজিক বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে :

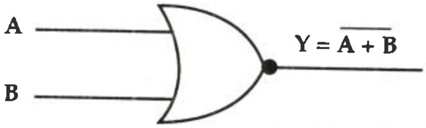


এই লজিক গেটের বুলিয়ান সম্পর্কটি হলো—

$Y = \overline{A + B}$

এখন ডি মর্গানের উপপাদ্য অনুসারে, $\overline{A + B} = \bar{A}\,\bar{B}$

এটি হলো NOR গেটের বুলিয়ান সম্পর্ক। সুতরাং, সংক্ষিপ্ততম তুল্য বর্তনীটি হলো একটি NOR গেট। তুল্য বর্তনীটি নিম্নরূপ :



১৪। *n–p–n* ট্রানজিস্টরকে প্রথমে সাধারণ নিঃসারক বিন্যাসে সংযোগ দিয়ে নিঃসারক প্রবাহ 1·92 mA এবং পীঠ প্রবাহ 0·08 mA পাওয়া গেল। পরে সাধারণ ভূমি বিন্যাসে সংযোগ দিয়ে নিঃসারক প্রবাহ এবং সংগ্রাহক প্রবাহের মান পাঁচ গুণ করা হলো।

(ক) উদ্দীপক অনুসারে প্রবাহ লাভ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরের সংযোগ বিন্যাস পরিবর্তন করায় প্রবাহ বিবর্ধক গুণকের মান পরিবর্তন হবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি,

$I_E = I_B + I_C$

$\therefore \quad I_C = I_E - I_B$

$= 1·92 - 0·08$

$= 1·84 \text{ mA}$

আবার, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1·84}{0·08} = 23$

এখানে,

পীঠ প্রবাহ, $I_B = 0·08 \text{ mA}$

নিঃসারক প্রবাহ,

$I_E = 1·92 \text{ mA}$

প্রবাহ লাভ, $\beta = ?$

(খ) পূর্বের সাধারণ নিঃসারক বিন্যাসে সংযোগের ক্ষেত্রে প্রবাহ বিবর্ধক গুণক,

$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{1·84}{1·92} = 0·958$

এখানে,

$I_E = 1·92 \text{ mA}$

$I_B = 0·08 \text{ mA}$

$I_C = 1·84 \text{ mA}$

সাধারণ ভূমি বিন্যাসে সংযোগের ক্ষেত্রে নিঃসারক ও সংগ্রাহক প্রবাহ 5 গুণ করায় পরিবর্তিত নিঃসারক প্রবাহ,

$I'_E = 5 \times I_E = 5 \times 1·92 = 9·6 \text{ mA}$

এবং পরিবর্তিত সংগ্রাহক প্রবাহ,

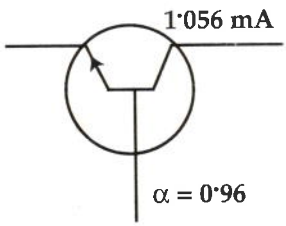
$I'_C = 5 \times I_C = 5 \times 1·84 = 9·2 \text{ mA}$

নতুন প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α' হলে,

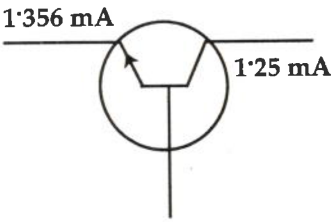
$\alpha' = \frac{I'_C}{I'_E} = \frac{9·2}{9·6} = 0·958$

এখানে, $\alpha = \alpha'$। অর্থাৎ উদ্দীপকে ট্রানজিস্টরের সংযোগ বিন্যাস পরিবর্তন করায় প্রবাহ বিবর্ধন গুণকের মান পরিবর্তন হবে না।

১৫। চিত্রে ট্রানজিস্টর দুটি লক্ষ কর :



চিত্র ১



চিত্র ২

(ক) উদ্দীপকের ১নং ট্রানজিস্টরের নিঃসারক প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) বিবর্ধক হিসেবে উদ্দীপকের কোন ট্রানজিস্টরটি বেশি উপযোগী? গাণিতিক বিশ্লেষণ কর।

[ব. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

বা, $$\Delta I_E = \frac{\Delta I_C}{\alpha} = \frac{1·056 \times 10^{-3}}{0·96}$$

$$= 1·10 \times 10^{-3} \text{ A} = 1·10 \text{ mA}$$

এখানে, ১ম চিত্রে

$\Delta I_C = 1·056 \text{ mA} = 1·056 \times 10^{-3}$ A

$\alpha = 0·96$

$\Delta I_E = ?$

(খ) আবার, প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

১ম চিত্রে, $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

$= 1·10 \times 10^{-3} - 1·056 \times 10^{-3}$

$= 0·044 \times 10^{-3}$

এখানে, ২য় চিত্রে

$\Delta I_E = 1·356$ mA

$\Delta I_C = 1·25$ mA

$$\therefore \quad \beta_1 = \frac{1·056 \times 10^{-3}}{0·044 \times 10^{-3}} = 24$$

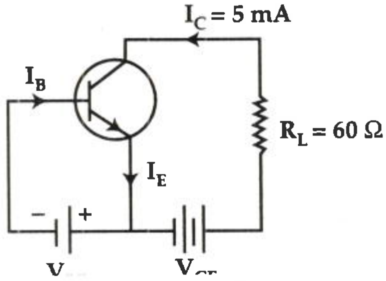
২য় চিত্রের ক্ষেত্র, $\Delta I_B = (1·356 - 1·25)$ mA $= 0·106$ mA $= 0·106 \times 10^{-3}$ A

$$\therefore \quad \beta_2 = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1·25 \times 10^{-3}}{0·106 \times 10^{-3}} = 11·8$$

অর্থাৎ, $\beta_1 > \beta_2$

সুতরাং, ১ম ট্রানজিস্টরটি বেশি উপযোগী।

১৬।



উদ্দীপকে একটি কমন এমিটার *n–p–n* অ্যামপ্লিফায়ার বর্তনী দেখানো হলো। বর্তনীর গতীয় রোধ 40 Ω। এর কারেন্ট গেইন 75। বর্তনীর $R_L = 60\Omega$ এবং কালেক্টর কারেন্ট 5 mA।

(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর প্রবাহ বিবর্ধন গুণক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনী থেকে 100% ভোল্টেজ গেইন পাওয়া সম্ভ কি-না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই কর। [য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন গুণক

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

এবং প্রবাহ লাভ, $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

বা, $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5 \times 10^{-3}}{75} = 6{\cdot}67 \times 10^{-5}$ A

আবার, $I_E = I_B + I_C = 6{\cdot}67 \times 10^{-5} + 5 \times 10^{-3}$
$= 5{\cdot}067 \times 10^{-3}$ A

অতএব, $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{5 \times 10^{-3}}{5{\cdot}067 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}987$

এখানে,
কালেক্টর কারেন্ট, $I_C = 5\text{ mA} = 5 \times 10^{-3}$ A
প্রবাহ লাভ, $\beta = 75$
প্রবাহ বিবর্ধন গুণক, $\alpha = ?$

বিকল্প পদ্ধতি :

আমরা জানি, $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

$\therefore \quad 75 = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ বা, $75 - 75\alpha = \alpha$

বা, $75\alpha + \alpha = 75$ বা, $76\alpha = 75$

$\therefore \quad \alpha = \frac{75}{76} = 0{\cdot}987$

(খ) আমরা জানি,

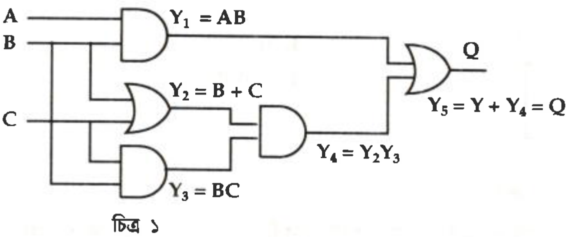
ভোল্টেজ গেইন, $A_V = \frac{\text{আউটপুট ভোল্টেজ}}{\text{ইনপুট ভোল্টেজ}}$
$= \frac{V_0}{V_i} = \beta \times \frac{R_L}{R_i}$

$\therefore \quad A_V = 75 \times \frac{60}{40} = 112{\cdot}5$

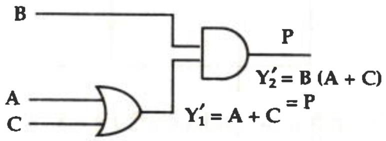
এখানে,
গতীয় রোধ বা অন্তর্গামী রোধ, $R_i = 40\ \Omega$
ভার রোধ, $R_L = 60\ \Omega$
প্রবাহ লাভ, $\beta = 75$
ভোল্টেজ গেইন, $A_V = ?$

সুতরাং, ভোল্টেজ গেইন 100% অপেক্ষা বেশি। অতএব, গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে এটি স্পষ্ট যে বর্তনীর ভোল্টেজ গেইন 100% পাওয়া সম্ভব।

১৭।



চিত্র ১



চিত্র ২

(ক) Q-এর জন্য বুলিয়ান বীজগাণিতিক সমীকরণ নির্ণয় কর।

(খ) উভয় চিত্রের সত্য সারণি বা ট্রুথ টেবিল এক কি-না যাচাই কর। [কু. বো. ২০১৭]

(ক) চিত্র ১-এর বুলিয়ান বীজগাণিতিক সমীকরণ নিম্নরূপ :

$Y_1 = AB,\ Y_2 = B + C,\ Y_3 = BC$

$Y_4 = Y_2Y_3 = (B + C)\,BC$ এবং

$Y_5 = Q = Y_1 + Y_4 = AB + (B + C)\,BC$
$= AB + B\,.\,BC + C\,.\,BC = AB + BC + BC\,.\,C$
$= AB + BC + BC = AB + BC$

$\therefore$ নির্ণেয় বুলিয়ান বীজগাণিতিক সমীকরণ, $Q = AB + BC$

(খ) চিত্র ২-এর সত্য সারণি

A	C	$Y_1' = A+C$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

B	$Y_1' = A + C$	$Y_2' = BY_1' = (A + C) B$
0	0	0
0	1	0
1	1	0
1	1	1

চিত্র ১-এর সত্য সারণি :

A	B	$Y_1 = AB$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

B	C	$Y_2 = B+C$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

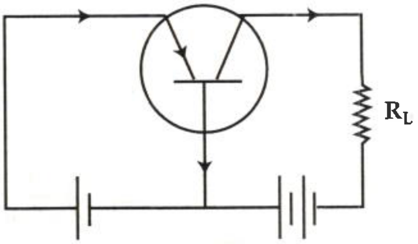
B	C	$Y_3 = BC$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Y_2	Y_3	$Y_4 = Y_2Y_3$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Y_1	Y_4	$Y_5 = Y_1 + Y_4$
0	0	0
0	0	0
0	0	0
1	1	1

∴ উদ্দীপকের চিত্র ১ ও চিত্র ২ এর সত্য সারণি একই।

১৮। নিচের ট্রানজিস্টরটির বর্তনী লক্ষ কর :



$I_E = 0·80$ mA
$I_B = 0·05$ mA

(ক) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ বের কর।

(খ) 'বর্তনীর ইনপুটে একটি দুর্বল সংকেত প্রয়োগ করে আউটপুটে একটি বিবর্ধিত সংকেত পাওয়া যাবে'— উক্তিটির যথার্থতা যাচাই কর। [চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

প্রবাহ লাভ, $\beta = \left(\frac{I_C}{I_B}\right)_{V_{CB}}$

আবার, $I_E = I_C + I_B$

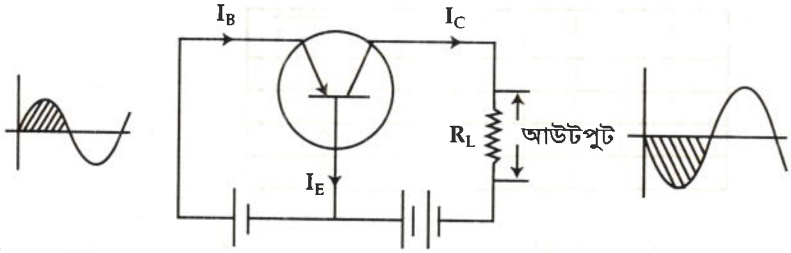
বা, $I_C = I_E - I_B$

∴ $I_C = 0·80 \text{ mA} - 0·05 \text{ mA} = 0·75 \text{ mA}$

∴ $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0·75}{0·05} = 15$

এখানে,
$I_E = 0·80$ mA
$I_B = 0·05$ mA
প্রবাহ লাভ, $\beta = ?$

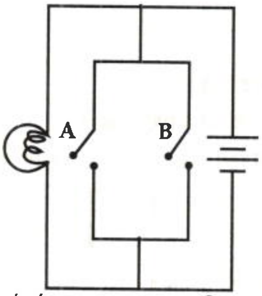
(খ)



নিঃসারক পীঠ জাংশনে প্রযুক্ত সংকেতের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায় ফলে নিঃসারক থেকে পীঠের মধ্য দিয়ে অধিক পরিমাণে ইলেকট্রন সংগ্রাহকে প্রবাহিত হয় এবং সংগ্রাহক প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। এই সংগ্রাহক প্রবাহ লোড রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের ফলে বিভব পতন ঘটায়। এই বিভব পতনের পরিমাণ সংগ্রহাক প্রবাহ I_C ও লোড রোধ R_L–এর গুণফলের সমান, অর্থাৎ $V = I_C R_L$। ফলে আউটপুটে অধিক ভোল্টেজ পাওয়া যায়। উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরে $I_B = 0{\cdot}05$ mA এবং $I_C = 0{\cdot}75$ mA (ক থেকে প্রাপ্ত)।

আবার সংকেতে ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য নিঃসারক পীঠ জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক হ্রাস পায় ফলে সংগ্রাহক প্রবাহও কমে যায়। সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যাওয়ায় আউটপুট ভোল্টেজও হ্রাস পায়, তবে তা ইনপুট ভোল্টেজ অপেক্ষা বেশি হয়। এভাবে ট্রানজিস্টর দুর্বল সংকেতকে অ্যামপ্লিফাই বা বিবর্ধিত করে।

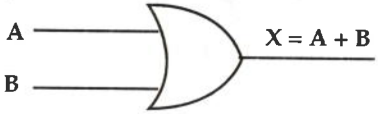
১৯।



(ক) উদ্দীপকের বর্তনীটি যে লজিক গেইটের সমতুল্য তার চিত্র ও সত্যক সারণি দাও।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীতে কী পরিবর্তন করলে এমন একটি গেইট পাওয়া যাবে যার দুটি ইনপুট লজিক সত্য হলে আউটপুট লজিক মিথ্যা হবে? চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৬]

(ক) চিত্রে উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনী OR গেটের একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী। এর সমতুল্য লজিক গেট এর চিত্র নিম্নরূপ :



এর সত্যক সারণি হলো–

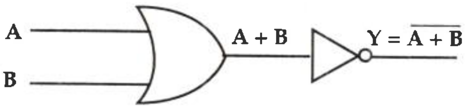
A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(খ) এখন উদ্দীপকের OR গেটের আউটপুট X-কে একটি NOT গেটের ইনপুটের সাথে যুক্ত করলে NOR গেট তৈরি হবে। NOR গেটের দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকতে পারে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে। এখানে আউটপুটের সমীকরণ হলো–

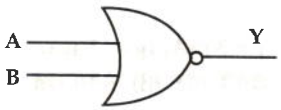
$$Y = \text{NOT}\,(A + B) = \overline{A + B}$$

এর লজিক গেট ও সত্যক সারণি নিম্নরূপ :

(i) লজিক গেট–



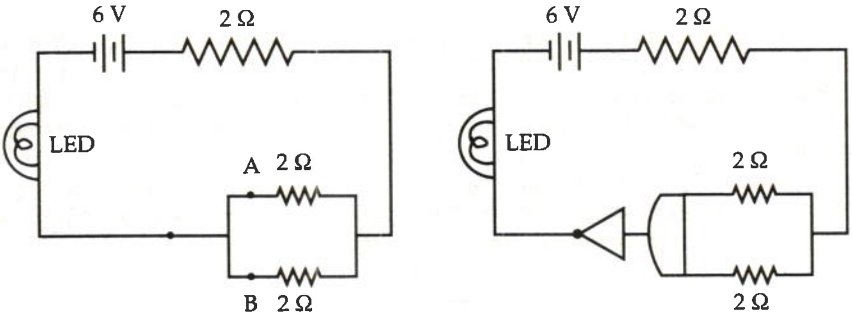
বা,



(ii) সত্যক সারণি–

A	B	A + B	$Y = \overline{A + B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

২০।



চিত্র ১ চিত্র ২

(ক) ১নং চিত্রের বর্তনীর মূল প্রবাহ বের কর।

(খ) ২নং চিত্রের LED বাতিটি জ্বলবে কি না ব্যাখ্যা কর। [সকল বোর্ড ২০১৮]

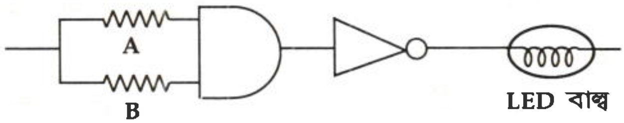
(ক) চিত্র–১ এ A ও B রোধদ্বয় সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R' = \frac{2}{1+1} = 1\,\Omega \quad \left[\because \frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1+1}{2} = \frac{2}{2}\right]$$

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ, $R = 2\Omega + R' = 2\Omega + 1\Omega = 3\Omega$

$\therefore$ বর্তনীর মূল প্রবাহ, $I = \frac{V}{R} = \frac{6}{3} = 2A$

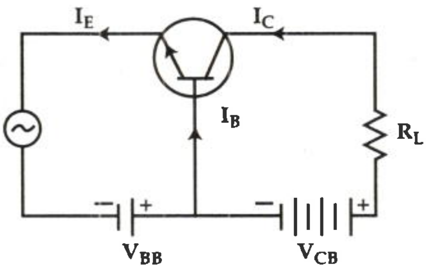
(খ) ২নং বর্তনীতে গেটটি একটি NAND গেট।



NAND গেট হলো AND গেট ও NOT গেটের সমন্বয়।

এখন, A ও B উভয় ইনপুটে তড়িৎ প্রবাহ থাকলে AND গেটের আউটপুটে প্রবাহ পাওয়া যায় যা NOT গেটের ইনপুটে প্রযুক্ত হলে এর আউটপুটে কোনো প্রবাহ পাওয়া যাবে না। সুতরাং LED বাতিটি জ্বলবে না।

২১।



চিত্রে $I_E = 3$ mA, $I_B = 15$ μA.

(ক) প্রবাহ লাভ (β) নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ডিভাইসটি ইলেকট্রিক সুইচ হিসেবে খুবই জনপ্রিয়।—বিশ্লেষণ কর।

[রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

প্রবাহ লাভ $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

এখানে,

$I_E = 3\text{ mA} = 3 \times 10^{-3}$ A

$I_B = 15\ \mu\text{A} = 15 \times 10^{-6}$ A

আবার, $I_C = I_E - I_B = 3 \times 10^{-3} - 15 \times 10^{-6}$

$= 3 \times 10^{-3} - 0{\cdot}015 \times 10^{-3}$

$= 2{\cdot}985 \times 10^{-3} = 2{\cdot}985$ mA

$\therefore \quad \beta = \frac{2{\cdot}985 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-6}} = \frac{2{\cdot}985 \times 10^{3}}{15} = 199$

(খ) উদ্দীপকে প্রদত্ত বর্তনীটি একটি *n-p-n* ট্রানজিস্টর সাধারণ এমিটার সংযোগে দেখানো হয়েছে। এটি একটি সুইচ বর্তনী হিসেবে কাজ করে এবং খুবই জনপ্রিয়। নিম্নে এর কার্যনীতি বর্ণনা করা হলো।

(অনুচ্ছেদ ১০.১৩-এর কার্যনীতি দ্রষ্টব্য)

২২। একটি দুর্বল সংকেতকে 250 গুণ বিবর্ধিত করার লক্ষ্যে একটি ট্রানজিস্টর বর্তনীতে ইনপুটে 35Ω এবং লোডে 85Ω ব্যবহার করা হলো। বর্তনীটির ভূমিতে 50 μA প্রয়োগ করলে সংগ্রাহকে 50 mA প্রবাহ পাওয়া যায়।

(ক) ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধন গুণক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের উদ্দেশ্য পূরণ হবে কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন গুণক,

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ এবং $I_E = I_C + I_B$

$I_E = 50 \times 10^{-3} + 50 \times 10^{-6}$

$= 50{\cdot}05$ mA

$\therefore \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{50 \times 10^{-3}}{50{\cdot}05 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}999$

এখানে,

$R_i = 35\Omega$

$R_L = 85\Omega$

$I_B = 50\ \mu\text{A} = 50 \times 10^{-6}$ A

$I_C = 50\text{ mA} = 50 \times 10^{-3}$ A

$\alpha = ?$

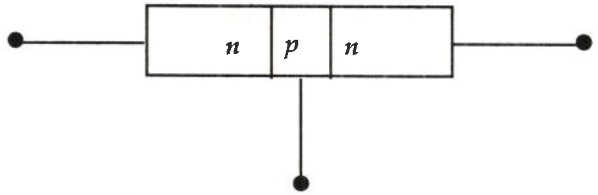
(খ) $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

বা, $\beta = \frac{50 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} = 1 \times 10^3$

এবং ভোল্টেজ গেইন, $A_V = B\frac{R_L}{R_i} = 1 \times 10^3 \times \frac{85}{35} = 2{\cdot}43 \times 10^3$; যা 250 অপেক্ষা বেশি। সুতরাং উদ্দীপকের উদ্দেশ্য পূরণ হবে।

সুতরাং, উদ্দীপকের উদ্দেশ্য পূরণ হবে বেশি।

২৩।



এখানে,

$I_E = 0{\cdot}85$ mA

$I_B = 0{\cdot}05$ mA

n–p–n ট্রানজিস্টারের ব্লক চিত্র।

(ক) α-এর মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরকে অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করে এর বর্তনী চিত্র অঙ্কন কর এবং কার্যপ্রণালি ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$

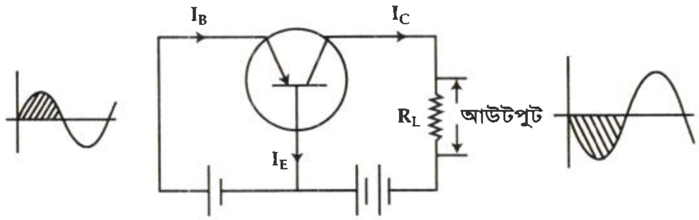
আবার, $I_E = I_C + I_B$ বা, $I_C = I_E - I_B$

$\therefore \quad I_C = 0.85 \times 10^{-3} - 0.05 \times 10^{-3}$

$= 0.80 \times 10^{-3}$ A

$\therefore \quad \alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{0.80 \times 10^{-3}}{0.85 \times 10^{-3}} = 0.94$

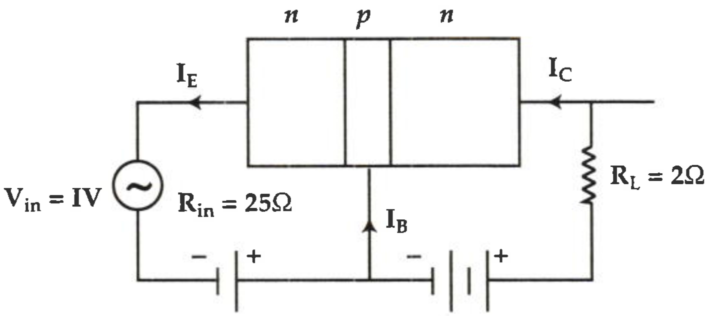
(খ)



নিঃসারক-পীঠ জাংশনে প্রযুক্ত সংকেতের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায় ফলে নিঃসারক থেকে পীঠের মধ্য দিয়ে অধিক পরিমাণে ইলেকট্রন সংগ্রাহকে প্রবাহিত হয় এবং সংগ্রাহক প্রবাহ I_C বৃদ্ধি পায়। এই সংগ্রাহক প্রবাহ লোড রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের ফলে বিভব পতন ঘটায়। এই বিভব পতনের পরিমাণ সংগ্রাহক প্রবাহ I_C ও লোড রোধ R_L–এর গুণফলের সমান, অর্থাৎ $V = I_C R_L$। ফলে আউটপুটে অধিক ভোল্টেজ পাওয়া যায়। উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরে $I_B = 0.05$ mA এবং $I_C = 0.80$ mA (ক থেকে প্রাপ্ত)।

আবার সংকেতে ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য নিঃসারক-পীঠ জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক হ্রাস পায় ফলে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-ও কমে যায়। সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যাওয়ায় আউটপুট ভোল্টেজও হ্রাস পায়, তবে তা ইনপুট ভোল্টেজ অপেক্ষা বেশি হয়। এভাবে ট্রানজিস্টর দুর্বল সংকেতকে অ্যামপ্লিফাই বা বিবর্ধিত করে।

২৪।



এখানে, $I_C = 35$ mA

(ক) প্রদত্ত চিত্র থেকে I_B-এর মান নির্ণয় কর।

(খ) চিত্র অনুসারে Output signal-এর মান Input signal-এর মান অপেক্ষা বেশি হবে কি না? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$I_E = I_C + I_B$ বা, $I_B = I_E - I_C$

এখানে,

$I_E = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{1}{25} = 0.04\text{A} = 40$ mA

$\therefore \quad I_B = I_E - I_C = 40 - 35 = 5$ mA

(খ) আউটপুট signal, $V_0 = I_C \times R_L = 35 \times 10^{-3} \times 2 = 70 \times 10^{-3} = 0.07$ V

এবং input signal, $V_{in} = 1$V

সুতরাং, Output signal 0.07 V যা input signal 1 V অপেক্ষা কম।

২৫। কোনো ট্রানজিস্টরের বেস কারেন্ট 105 μA এবং কালেক্টর কারেন্ট 2·05 mA। বেস কারেন্টের 2·7 μA পরিবর্তনের ফলে কালেক্টর কারেন্টের প্রবাহ পরিবর্তিত হলো 0·65 mA।

(ক) I_E এবং α-এর মান বের কর।

(খ) বেস ও কালেক্টর কারেন্টের পরিবর্তনের ফলে β-এর মান পূর্বের তুলনায় বৃদ্ধি পাবে কি–না? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\therefore \quad I_E = 105 \times 10^{-6} + 2{\cdot}05 \times 10^{-3}$$
$$= 0{\cdot}105 \times 10^{-3} + 2{\cdot}05 \times 10^{-3}$$
$$= 2{\cdot}155 \times 10^{-3} \text{ A}$$
$$= 2{\cdot}155 \text{ mA}$$

এখানে,

$I_B = 105\ \mu A = 105 \times 10^{-6}$ A

$I_C = 2{\cdot}05$ mA $= 2{\cdot}05 \times 10^{-3}$ A

$\Delta I_B = 2{\cdot}7\ \mu A = 2{\cdot}7 \times 10^{-6}$ A

$\Delta I_C = 0{\cdot}65$ mA $= 0{\cdot}65 \times 10^{-3}$ A

এবং $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{2{\cdot}05 \times 10^{-3}}{2{\cdot}155 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}95$

(খ) বেস কারেন্ট, $I_B' = I_B + \Delta I_B = 105 + 2{\cdot}7 = 107{\cdot}7\ \mu A$

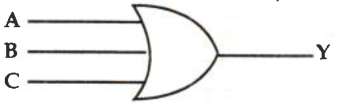
এবং কালেক্টর কারেন্ট, $I_C' = I_C + \Delta I_C = 2{\cdot}05 + 0{\cdot}65 = 2{\cdot}70$ mA

আমরা জানি,

$$\beta' = \frac{\Delta I_C'}{\Delta I_B'} = \frac{2{\cdot}70 \times 10^{-3}}{107{\cdot}7 \times 10^{-6}} = \frac{2{\cdot}70 \times 10^{3}}{107{\cdot}7} = 25$$

এবং $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2{\cdot}05 \times 10^{-3}}{105 \times 10^{-6}} = \frac{2{\cdot}05 \times 10^{3}}{105} = 19{\cdot}5$

অতএব, β-এর পরিবর্তিত মান 25 যা পূর্বের β-এর মান 19·5-এর চেয়ে বেশি।

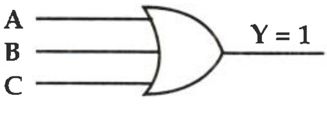
২৬। 

(ক) উদ্দীপকের লজিক গেটের আউটপুট 1 পেতে হলে A, B, C তে কী কী ইনপুট দিতে হবে? সত্যক সারণির মাধ্যমে বুঝিয়ে দাও।

(খ) উদ্দীপকের লজিক গেটের সাথে একটি NOT গেট যুক্ত করে সত্যক সারণির মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০২১]

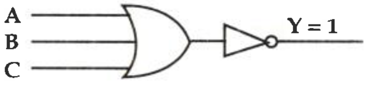
(ক)

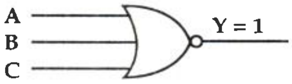
এটি OR গেট।



OR গেটের সত্যক সারণি

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

(খ) 



NOT গেটে ইনপুট 1 হলে আউটপুট 0 হয় এবং ইনপুট 0 হলে আউটপুট 1 হয়। সুতরাং (ক) অংশের লজিক গেট একটি OR গেট এবং এর আউটপুটে একটি NOT গেট যুক্ত করলে গেটটি NOR গেট হবে যার আউটপুট সত্যক সারণিতে দেখানো হলো। এই গেটটি একটি NOR গেট যার আউটপুটে 1 পাওয়া যাবে যখন সকল ইনপুট '0' হবে।

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

২৭। পদার্থবিজ্ঞান বিষয়ে রিমি $(105)_8$, জিমি $(4F)_{16}$ এবং সিমি $(100111)_2$ নম্বর পেয়েছে।
(ক) সিমির প্রাপ্ত নম্বর ডেসিমেলে রূপান্তর কর।
(খ) রিমির ও জিমির মধ্যে কে বেশি নম্বর পেয়েছে?—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।
[কু. বো. ২০২১]

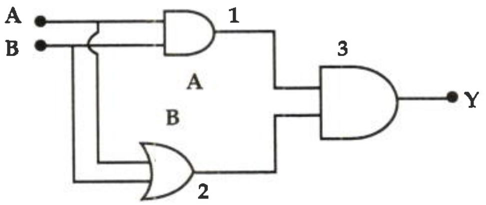
(ক) $(100111)_2 = 1\times2^5+0\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+1\times2^1\times1\times2^0$
$= 32+0+0+4+2+1 = 39$
$\therefore\ (100111)_2 = 39_{10}$

(খ) রিমির প্রাপ্ত নম্বর : $(105)_8 = 1\times8^2+0\times8^1+5\times8^0$
$= 64+0+5 = 69$

এবং জিমির প্রাপ্ত নম্বর : $(4F)_{16} = 4\times F\times16^0$
$= 4\times15\times1 = 60$

রিমি জিমি অপেক্ষা বেশি নম্বর পেয়েছে।

২৮।

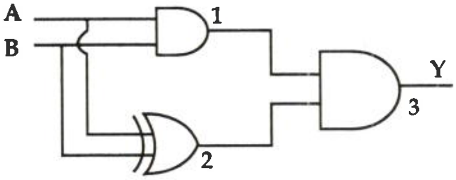


(ক) সত্যক সারণির সাহায্যে Y-এর মান দেখাও।
(খ) ২নং গেইটকে XOR গেইট দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হলে Y-এর মানের কোনো পরিবর্তন পরিলক্ষিত হবে কি না—তা যাচাই কর। [ব. বো. ২০২১]

(ক) সত্যক সারণি

A	B	1নং গেইট	2নং গেইট	Y
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
1	1	1	1	1

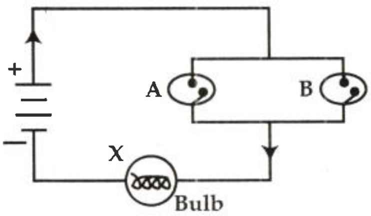
(খ)



A	B	1নং গেইট	2নং গেইট	Y
0	0	0	1	0
1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0

Y-এর মানের পরিবর্তন হবে। আউটপুট শূন্য হবে।

২৯। নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



বর্তনী ১

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

সত্যক সারণি

(ক) ১নং বর্তনীর সত্যক সারণি লেখ।

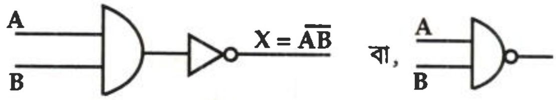
(খ) উদ্দীপকের সত্যক সারণির লজিক গেইটের সাথে একটি NOT গেইটি যুক্ত করলে কোনো লজিক গেইট তৈরি হবে কি না—তা চিত্র ও সত্যক সারণির সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০২৩]

(ক)

A	B	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

সত্যক সারণি

(খ)

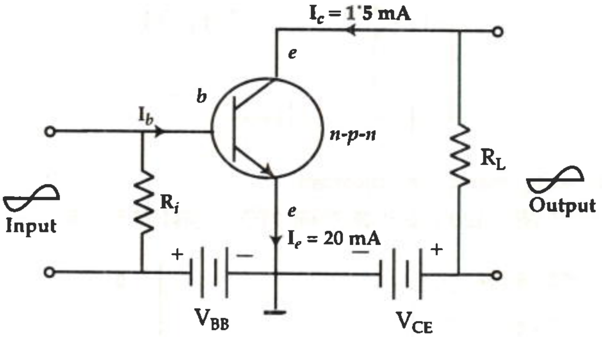


লজিক গেইট

A	B	AB	X = $\overline{AB}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

এটি একটি NAND গেইট।

৩০।



(ক) বর্তনীতে প্রবাহ কত হবে? নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীটি সুইচ হিসাবেও কাজ করানো সম্ভব—বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

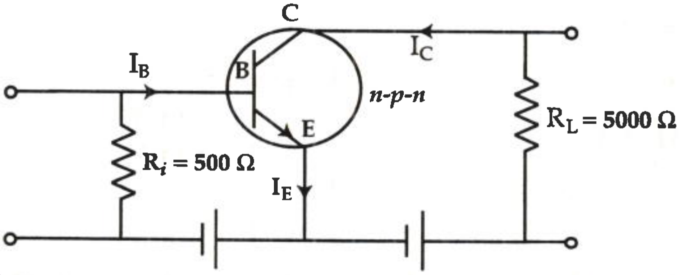
$I_E = I_C + I_B$

বা, $I_B = I_E - I_C = 20\text{ mA} - 1.5\text{ mA} = 18.5\text{ mA}$

এখানে,
$I_E = 20\text{ mA}$
$I_C = 1.8\text{ mA}$

(খ) উদ্দীপকে প্রদত্ত বর্তনীটি একটি $n\text{-}p\text{-}n$ ট্রানজিস্টর সাধারণ এমিটার সংযোগে দেখানো হয়েছে। এটি একটি সুইচ বর্তনী হিসেবে কাজ করে। এর কার্যনীতি বইয়ের অনুচ্ছেদ ১০.১৩ দ্রষ্টব্য।

৩১।



বর্তনীর ট্রানজিস্টরের $\alpha = 0.98$ এবং $I_E = 1.5$ mA।

(ক) উদ্দীপকে I_B নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীটিকে ভোল্টেজ বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করা যায় কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

বা, $I_C = \alpha I_E = 0·98 \times 1·5 = 1·47$ mA

এখন, $I_E = I_B + I_C$

বা, $I_B = I_B — I_C$
$= 1·5 — 1·47 = 0·03$ mA

এখানে,
$\alpha = 0·98$
$I_E = 1·5$ mA

(খ) ভোল্টেজ বিবর্ধক,

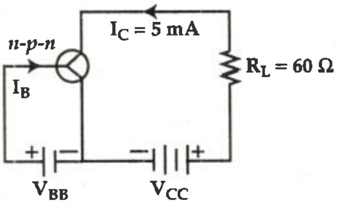
$$A_V = \beta \times \frac{R}{R_{in}} \text{ এবং } \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1·47}{0·03} = 49$$

$$\therefore \quad A_V = 49 \times \frac{5000}{500} = 490$$

এখানে,
$R_L = 5000\Omega$
$R_{in} = 500\Omega$

সুতরাং, বর্তনীটিকে ভোল্টেজ বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করা যাবে।

৩২। একটি কমন অ্যামিটার *n-p-n* ট্রানজিস্টর বর্তনী দেখানো হলো। ট্রানজিস্টরটির গতীয় রোধ 40 Ω এবং কারেন্ট গেইন 75।



(ক) ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ বিবর্ধন গুণক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনী থেকে 120 মানের ভোল্টেজ গেইন পাওয়া সম্ভব কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই কর। [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন গুণক,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \text{ এবং কারেন্ট গেইন, } \beta = \frac{I_C}{I_B} = 75$$

এবং গতীয় রোধ, $R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = 40\ \Omega$

এখানে,
$\beta = 75$
$R = 40\ \Omega$
$\alpha = ?$

আবার,

$$\beta = \frac{\alpha}{1 — \alpha}$$

বা, $75 = \frac{\alpha}{1 — \alpha}$

বা, $75 — 75\alpha = \alpha$

বা, $75\alpha + \alpha = 75$

$\therefore \quad \alpha = \frac{75}{76} = 0·987$

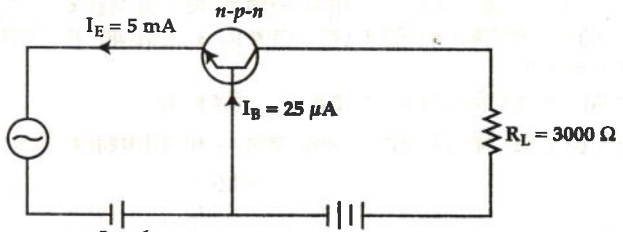
(খ) ভোল্টেজ গেইন,

$$A_V = \beta\left(\frac{R_L}{R_{in}}\right)$$
$$= 75 \times \frac{60}{40} = \frac{75 \times 3}{2}$$
$$= 112·5$$

এখানে,
$R_L = 60\ \Omega$
$I_C = 5$ mA
$R_{in} = 40\ \Omega$
$\beta = 75$

এখানে ভোল্টেজ গেইন 112·5 যা 150 অপেক্ষা কম। সুতরাং 150 মানের ভোল্টেজ গেইন পাওয়া সম্ভব নয়।

৩৩।



(ক) উদ্দীপকের বিন্যাসে প্রবাহ বিবর্ধন কত হবে?

(খ) নিঃসারক বাহুর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে বহির্গামীতে 5 watt ক্ষমতা পাওয়া যাবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

এবং $I_E = I_C + I_B$

বা, $I_C = I_E - I_B = 5 \times 10^{-3} - 0.025 \times 10^{-3}$
$= 4.975 \times 10^{-3}$ A

$$\therefore \quad \beta = \frac{4.975 \times 10^{-3}}{0.025 \times 10^{-3}} = 199$$

এখানে,
$I_E = 5\text{ mA} = 5 \times 10^{-3}$ A
$I_B = 25\ \mu\text{A} = 25 \times 10^{-6}$ A
$= 0.025 \times 10^{-3}$ A

(খ) বহিঃক্ষমতা, $P = I_C^2 R_L$

$$\therefore \quad I_C^2 = \frac{5}{3000} = 16.66 \times 10^{-4}$$

$$\therefore \quad I_C = \sqrt{16.66 \times 10^{-4}} = 4.08 \times 10^{-2} \text{ A}$$
$= 40.8$ mA

এখানে,
$P = 5$ watt
$R_L = 3000\ \Omega$

এখন, $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{4.975}{5.0} = 0.995$

5 watt ক্ষমতা পেতে হলে নিঃসারক বাহুতে তড়িৎ প্রবাহ হবে,

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{40.8 \times 10^{-3}}{0.995} = 41 \times 10^{-3} \text{ A} = 41 \text{ mA}$$

৩৪। একটি ট্রানজিস্টরের কালেক্টর প্রবাহ 0.072A এবং বেইজ প্রবাহ 0.008A। অপর একটি ট্রানজিস্টরের ইমিটার প্রবাহ 0.065A এবং বেইজ প্রবাহ 0.005A।

(ক) প্রথম ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধন গুণক বের কর।

(খ) প্রবাহ বিবর্ধক হিসেবে কোন ট্রানজিস্টরটি বেশি উপযোগী? বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন গুণক,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \text{ এবং } I_E = I_C + I_B$$

$\therefore \quad I_E = 0.072 + 0.008$
$= 0.080$ A

$$\therefore \quad \alpha = \frac{0.072}{0.080} = 0.9$$

এখানে,
$I_C = 0.072$ A
$I_B = 0.008$ A

(খ) প্রবাহ বিবর্ধক, $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

প্রথম ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে, $\beta_1 = \frac{0.072}{0.008} = 9$

দ্বিতীয় ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে, $I_E = 0.065$A, $I_B = 0.005$,

$\therefore \quad I_C = I_E - I_B = 0.065 - 0.005 = 0.06$ A

সুতরাং প্রবাহ বিবর্ধক, $\beta_2 = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0.060}{0.005} = 12$

প্রবাহ বিবর্ধক হিসেবে দ্বিতীয় ট্রানজিস্টরটি বেশি উপযোগী।

৩৫। একটি *n-p-n* ট্রানজিস্টরের সাধারণ নিঃসারক সংযোগ বর্তনীতে সংগ্রাহকে প্রযুক্ত বায়াসিং ভোল্টেজ V_{CC} = 12V ইনপুট রোধ R_{in} = 200 Ω। সংগ্রাহক বর্তনীতে লোড রোধ R_L = 1k Ω-এর মধ্য দিয়ে I_C = 1 mA তড়িৎ প্রবাহিত হয়। প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α = 0·98।

(ক) ট্রানজিস্টরটির সংগ্রাহক নিঃসারক ভোল্টেজ (V_{CE}) নির্ণয় কর।

(খ) ট্রানজিস্টরটি ভোল্টেজ বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে— গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$$V_{CE} = I_C R_L = 1 \times 10^{-3} \times 1000 = 1V$$

এখানে,

V_{CC} = 12V
R_{in} = 200 Ω
R_L = 1 kΩ = 1000 Ω
I_C = 1 mA = 1×10^{-3} A
α = 0·98

(খ) এখানে,

$$\alpha = 0{\cdot}98$$

বা, $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

বা, $I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-3}}{0{\cdot}98} = 1{\cdot}02 \times 10^{-3}$

এবং $I_B = I_E - E_C = 1{\cdot}02 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3} = 0{\cdot}02 \times 10^{-3}$

এখন, ভোল্টেজ বিবর্ধন,

$$A_V = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right) \times \frac{R_L}{R_{in}}$$

$$= \frac{1 \times 10^{-3}}{0{\cdot}02 \times 10^{-3}} \times \frac{1000}{200}$$

$$A_V = \frac{1 \times 10^{-3}}{0{\cdot}02 \times 10^{-3}} \times \frac{1000}{200}$$

$$= \frac{1}{4 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{4} \quad 250$$

সুতরাং, ট্রানজিস্টরটি ভোল্টেজ বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে।

৩৬। একটি *p-n-p* ট্রানজিস্টরে 10^{-8} sec সময়ে 100টি হোল অ্যামিটার অঞ্চল হতে নির্গত হয় যার মধ্যে 97% পীঠ অঞ্চল অতিক্রম করে সংগ্রাহক অঞ্চলে পৌছে।

(ক) অ্যামিটার প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের আলোকে $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ -এর সত্যতা যাচাই কর। [দি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$q = it$

বা, $100 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} = i_E \times 10^{-8}$

$\therefore i_E = \frac{100 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{10^{-8}}$

$= 1{\cdot}6 \times 10^{-9}$ A

এখানে,

হোল সংখ্যা, $n = 100$
হোলের চার্জ, $q = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

(খ) এখানে,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{97 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{100 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-9}}$$

$= 0{\cdot}97$

এখানে,

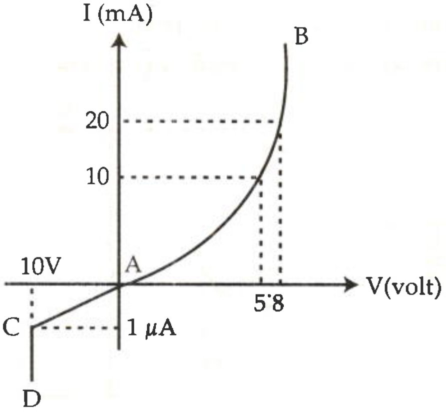
97% সংগ্রাহকে পৌছায়

এখন, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{97 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{3 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 32{\cdot}333$

সুতরাং, $\frac{\beta}{1+\beta} = \frac{32{\cdot}333}{1 + 32{\cdot}333} = \frac{32{\cdot}333}{33{\cdot}333} = 0{\cdot}97$

$\therefore \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ প্রমাণিত।

৩৭। চিত্রে *p-n* জাংশনের I—V লেখচিত্র দেখানো হয়েছে :



(ক) AB অংশের গতীয় রোধ নির্ণয় কর।

(খ) লেখচিত্রের AB ও ACD অংশে বিভব পার্থক্যের সাথে তড়িৎ প্রবাহের ভিন্নতার কারণ বিশ্লেষণ কর।

[ম. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, গতীয় রোধ,

$$R = \frac{dV}{dI}$$

$$\therefore \quad R = \frac{8 - 5}{(20 - 10) \times 10^{-3}} = \frac{3 \times 10^3}{10} = 300\ \Omega$$

এখানে,

$V_1 = 5$ V

$V_2 = 8$ V

$I_1 = 10$ mA $= 10 \times 10^{-3}$ A

$I_2 = 20$ mA $= 20 \times 10^{-3}$ A

(খ) সম্মুখ ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কারেন্ট বৃদ্ধি পায় না। জার্মেনিয়াম ডায়োডের জন্য 0·3V এবং সিলিকন ডায়োডের জন্য 0·7V পর্যন্ত সম্মুখ কারেন্ট I_F শূন্য থাকে। 0·3V এবং 0·7V হলো যথাক্রমে জার্মেনিয়াম ও সিলিকনের অভ্যন্তরীণ বিভব প্রাচীর ভোল্টেজ V_0। বিভব প্রাচীর অতিক্রম করার জন্য চার্জ বাহকের ন্যূনতম V_0 ভোল্টেজের প্রয়োজন হয়। একে অপারেটিং ভোল্টেজ বলে। এর পর ভোল্টেজ আরও বৃদ্ধি করলে কারেন্ট সূচকীয়ভাবে বাড়ে এবং পরবর্তীতে কিছু সময়ের জন্য ভোল্টেজ কারেন্ট বৃদ্ধি সমানুপাতে হয়। ডায়োডের এই নির্দিষ্ট প্রযুক্ত ভোল্টেজকে সূচন ভোল্টেজ (Threshold voltage) বা কাট-ইন ভোল্টেজ বলে।

(ii) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F এর মান অপারেটিং ভোল্টেজ V_0 অপেক্ষা বৃদ্ধি করা হলে অর্থাৎ $V_F > V_0$ হলে I_F দ্রুত বৃদ্ধি পায়। তাই I_F খাড়াভাবে ওপরে ওঠে। তখন এই V_F-কে নী (Knee) ভোল্টেজ বলে। চিত্রে B বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। এই বৈশিষ্ট্য লেখটি সর্বদা সরলরৈখিক নয়। অর্থাৎ V এবং I পরস্পরের সমানুপাতিক হয় না।

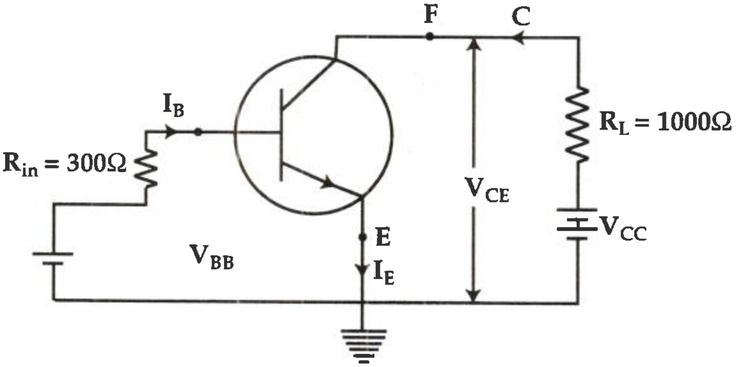
বিপরীত ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) বিপরীত ঝোঁক V_R বৃদ্ধির সঙ্গে বিপরীত কারেন্ট I_R বৃদ্ধি পেয়ে I_0-তে পৌছায়। এরপর বিপরীত ভোল্টেজ বাড়ালেও কারেন্ট I_0 স্থির থাকে। I_0 কারেন্টকে 'বিপরীত সম্পৃক্ত কারেন্ট' (reverse saturation current) বা 'ক্ষরণ কারেন্ট' (leakage current) বলে। এই কারেন্ট *p*- এবং *n*-অঞ্চলে স্বল্পসংখ্যক 'সংখ্যালঘু বাহকের' দ্বারা তৈরি হয়।

এর মান সাধারণত কয়েক μA। ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যা পরিবর্তন হয় না বলে ভোল্টেজ অনেক বাড়ালেও কারেন্ট স্থির থাকে। এই প্রবাহকে Reverse saturated current বলে। সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে এর মান $1\ \mu A$। শুধুমাত্র তাপমাত্রা পরিবর্তন হলে সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যার পরিবর্তন হয়।

(ii) বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে একটি ক্রান্তি (critical) মানে পৌঁছালে দেখা যায় যে বিপরীত কারেন্ট হঠাৎ করে অনেকগুণ বেড়ে যায়। এই সময় *p-n* জাংশনের রোধ সম্পূর্ণরূপে ভেঙে যায় বা জাংশনের বিভব বাধা একেবারে বিলুপ্ত হয়ে গেছে বলে মনে হয়। তাই এই বিশেষ ভোল্টেজকে বলা হয় 'ব্রেকডাউন ভোল্টেজ' (breakdown voltage)। চিত্রে C বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজে পৌঁছে গেলে সাধারণত জাংশন ডায়োডের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয়ে যেতে পারে। এই অবস্থায় ডায়োড পরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে। এই ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে। বিজ্ঞানী মি. জেনার এই ক্রিয়া প্রথমে লক্ষ করেন।

৩৮। উদ্দীপকে একটি সাধারণ নিঃসারক *n–p–n* বর্তনী দেখানো হলো :



(ক) উদ্দীপকের বর্তনীতে $\alpha = 0.99$ হলে ক্ষমতা লাভ কত হবে?

(খ) উদ্দীপকের বর্তনী থেকে বহিঃগামী সিগন্যালের ক্ষমতা ও অন্তঃগামী সিগন্যালের ক্ষমতা কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি ক্ষমতা লাভ,

$$P_A = \beta \times \beta \times \frac{R_L}{R_{in}} = 99 \times 99 \times \frac{1000}{300} = 32670\ W$$

এখানে,

$\alpha = 0.99$

$R_{in} = 300\ \Omega$

$R_L = 1000\ \Omega$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.99}{1-0.99} = \frac{0.99}{0.010} = 99$$

(খ) বহিঃবর্তনীতে ক্ষমতা,

$$P_0 = I_C^2 \times R_L = (12 \times 10^{-3})^2 \times 1000 = 0.144\ W$$

আবার $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

বা, $I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{12 \times 10^{-3}}{0.99} = 0.012\ A$

এখানে,

$V_{CC} = 12\ V$

$R_L = 1000\ \Omega$

$$I_C = \frac{12}{1000} = 12 \times 10^{-3}\ A = 0.012\ A$$

∴ অন্তর্গামী বর্তনীতে ক্ষমতা,

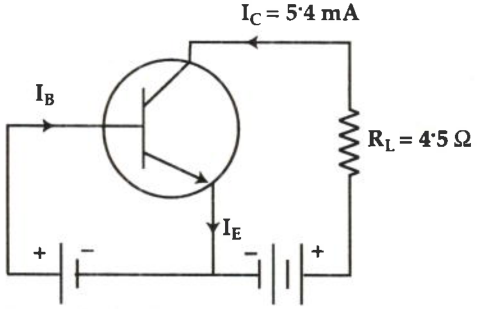
$$P_{in} = I_E^2 \times R_{in} = (0.012)^2 \times 300 = 0.0432\ W$$

∴ ক্ষমতার পরিবর্তন,

$$\Delta P = P_0 - P_{in} = 0.144 - 0.0432 = 0.1008\ W$$

অর্থাৎ বহিঃগামী সিগন্যালের ক্ষমতা অন্তঃগামী সিগন্যালের ক্ষমতার চেয়ে 0.1008W বৃদ্ধি পাবে।

৩৯।



উদ্দীপকে একটি কমন এমিটার ট্রানজিস্টর বর্তনী দেখানো হলো। বর্তনীটির গতীয় রোধ ও ভার রোধ যথাক্রমে 55Ω ও 45Ω। বর্তনীর কারেন্ট গেইন 80 এবং কালেক্টর কারেন্ট 5.4 mA।

(ক) বর্তনীর নিঃসারক প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনী থেকে 100% ভোল্টেজ গেইন পাওয়া সম্ভব কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই কর। [কু. বো. ২০২৪]

(ক) *n-p-n* কমন অ্যামিটার ট্রানজিস্টর বর্তনীর ক্ষেত্রে নিঃসারক প্রবাহ I_E হলে,

$$I_E = I_B + I_C$$
$$= (0.069 + 5.5)\text{ mA}$$
$$= 0.3795\text{ mA}$$

দেওয়া আছে,

$$I_C = 5.4\text{ mA}$$
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$
$$\therefore I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5.5\text{ mA}}{80} = 0.069\text{ mA}$$
$$I_E = ?$$

(খ) আমরা জানি ভোল্টেজ বিবর্ধন,

$$A_v = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}}$$
$$\therefore Rin = \beta \times \frac{R_L}{A_v} = 80 \times 4.5 = 360\Omega$$

এখানে,

R_{in} = ইনপুট রোধ = ?

$R_L = 4.5\Omega$

$A_V = 100\% = 1$

$$\therefore \text{ভোল্টেজ গেইন, } V_A = \frac{I_C}{I_B} \times \frac{R_L}{R_{in}} = \frac{5.4}{0.069} \times \frac{4.5}{360} \approx 1 \times 100\% = 100\%$$

অর্থাৎ ইনপুট রোধ Rin = 360Ω হলে ইনপুট ভোল্টেজ এবং আউটপুট ভোল্টেজ সমান হবে। অর্থাৎ ভোল্টেজ গেইন 100% হবে।

৪০। একটি ট্রানজিস্টরের সাধারণ পীঠ সংযোগ থাকা অবস্থায় পীঠ প্রবাহ ও নিঃসারক প্রবাহের মান যথাক্রমে 0.04 mA ও 0.7 mA পাওয়া যায়।

(ক) উদ্দীপক অনুযায়ী ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ বিবর্ধক গুণকের মান নির্ণয় কর।

(খ) ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ β-এর মানের পরিবর্তন কীরূপ হবে যদি পীঠ প্রবাহের মান দ্বিগুণ করা হয়? গাণিতিক বিশ্লেষণসহকারে উত্তর দাও। [য. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$I_E = I_B + I_C$$
$$\therefore I_C = I_E - I_B$$
$$= (0.7 - 0.04)\text{ mA} = 0.66\text{ mA}$$

দেওয়া আছে,

$I_B = 0.04$ mA

$I_E = 0.7$ mA

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক, $\alpha = ?$

∴ সাধারণ পিঠ সংযোগের ক্ষেত্রে ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধক গুণক,

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0.66\text{ mA}}{0.7\text{ mA}} = 0.943$$

(খ) আমরা জানি,

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.943}{1-0.943}$$
$$= 16.544$$

এক্ষেত্রে,

$\alpha' = 0.943$ ['গ' থেকে]

পীঠ প্রবাহের মান দ্বিগুণ করা হলে

অর্থাৎ $I_B' = 2\,I_B = 2 \times 0.004$ mA

I_B দ্বিগুণ হলে,

$$I_C = I_E - 2I_B$$

$$I_C = I_E - 2I_B = (0.7 - 2 \times 0.04)\ mA = 0.62\ mA$$

$$\therefore\ \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0.62}{0.7} = 0.886$$

এক্ষেত্রে,

$$\beta' = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.886}{1-0.886} = \frac{0.886}{0.114} = 7.772$$

∴ প্রবাহ লাভের পরিবর্তন

$$\therefore\ \Delta\beta = \beta - \beta' = 16.544 - 7.772 = 8.772$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে, পীঠ প্রবাহ বৃদ্ধি পেলে প্রবাহ লাভ β হ্রাস পায়।

৪১। সাধারণ অ্যামিটার ট্রানজিস্টর সার্কিটের ইনপুট ভোল্টেজ 1.1 V থেকে বৃদ্ধি করে 1.6 V করা হয়। এতে পীঠ প্রবাহ 8 mA থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 28 mA হয়। ফলে আউটপুট লোড রেজিস্টান্স 150 Ω-এর জন্য কারেন্ট গেইন 75 পাওয়া যায়।

(ক) অ্যামিটার প্রবাহের পরিবর্তন নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টর থেকে ক্ষমতা লাভ 35,000 পাওয়া সম্ভব কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[চ. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, লোড রেজিস্ট্যান্স, আবার,

$$R_0 = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{(1.6 - 1.1)}{\Delta I_C} = 150\Omega$$

বা, $\Delta I_C = \frac{1.6 - 1.1}{150} = 3.3\ mA$

আবার অ্যামিটার প্রবাহের পরিবর্তন,

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$$
$$= (20 + 3.3)\ mA = 23.3\ mA$$

আমরা জানি, ইনপুট রোধ,

$$R_i = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_B} = \frac{(1.6 - 1.1)}{20 \times 10^{-3}} = 25\ \Omega$$

এখানে,

$\Delta I_B = (28 - 8)\ mA = 20\ mA$

$R_0 = 150\ \Omega$

$\beta = 75$

$\Delta I_E = ?$

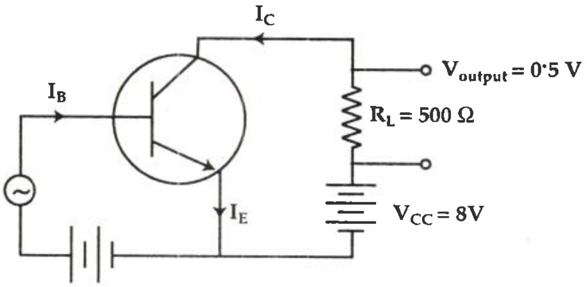
$V_{CE} = (1.6 - 1.11)\ V$

(খ) ক্ষমতা লাভ,

$$P_A = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_i}$$
$$= (75)^2 \times \frac{150}{25} = 33,750$$

উদ্দীপক অনুযায়ী ক্ষমতা লাভ 33,750 কাজেই উক্ত ট্রানজিস্টর দ্বারা 35,000 পরিমাণ ক্ষমতা লাভ পাওয়া সম্ভব না।

৪২। উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধক গুণক 0.96 এবং অন্তরোধ 100Ω।

(ক) I_C-এর মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে ভোল্টেজ গেইন 100 অপেক্ষা বেশি—যাচাই কর। [ব. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$I_C = \frac{V_L}{R_L} = \frac{0.5V}{500\Omega} = 0.001A = 1\,mA$$

এখানে,
$V_L = 0.5V$
$R_L = 500\Omega$
$I_C = ?$

(খ) আমরা জানি, ভোল্টেজ গেইন,

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}} \quad \cdots \quad (i)$$

আবার কারেন্ট গেইন বা প্রবাহ লাভ,

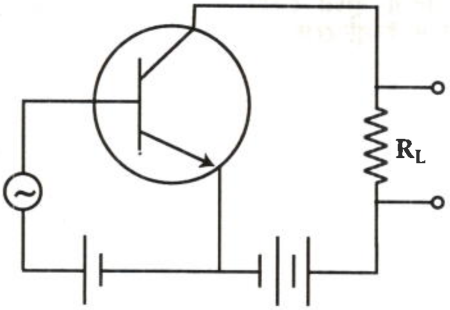
$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.96}{1-0.96} = \frac{0.96}{0.04} = 24$$

$$\therefore \quad A_V = 24 \times \frac{500}{100} = 120$$

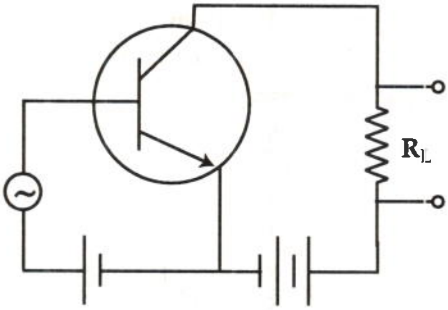
এখানে,
$R_{in} = 100\Omega$
$R_L = 500\Omega$
$\alpha = 0.96$

এক্ষেত্রে নির্ণেয় ভোল্টেজ গেইন (120) উদ্দীপকে প্রদত্ত ভোল্টেজ গেইন অপেক্ষা বেশি।

৪৩।



চিত্র ১



চিত্র ২

চিত্র ১–এ নিঃসারক প্রবাহ 1.45 A এবং সংগ্রাহক প্রবাহ 1.08 mA। ২নং চিত্রে ভূমি প্রবাহ 0.11 mA এবং $\beta = 10$।

(ক) ১নং চিত্রের উপাত্ত থেকে প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (α) নির্ণয় কর।

(খ) বিবর্ধক হিসেবে বর্তনী দুটির কার্যকারিতার তুলনামূলক গাণিতিক বিশ্লেষণ করে সপক্ষে যুক্তি দাও। [সি. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.08\,mA}{0.37\,mA} = 2.919$$

আবার,

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

বা, $\beta(1-\alpha) = \alpha$

বা, $\beta - \alpha\beta = \alpha$

বা, $\beta = \alpha(1+\beta)$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{2.919}{1+2.919} = 0.745$$

আমরা জানি,
$I_E = 1.45\,mA$,
$I_C = 1.08\,mA$
$I_B = I_E - I_C = (1.45 - 1.08)\,mA = 0.37\,mA$

(খ) চিত্র ১নং অনুযায়ী,

$I_E = I_B + I_C$

$\therefore I_B = I_E - I_C$
$= 1.45 - 1.08$
$= 0.370$ A

এখানে,
নিঃসারক প্রবাহ,
$I_E = 1.45$ mA
সংগ্রাহক প্রবাহ,
$I_C = 1.08$

আবার এসি প্রবাহ বিবর্ধন,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.08}{0.370} = 2.92$$

$\therefore$ ভোল্টেজ বিবর্ধন গুণক,

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}}$$
$$= 2.92 \times \frac{R_L}{R_{in}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$$

আবার চিত্র ২ অনুযায়ী,
আমরা জানি প্রবাহ বিবর্ধন,

$$\beta' = \frac{I_C}{I_B}$$
$$10 = \frac{I_C}{0.11}$$

$\therefore I_C = 10 \times 0.11 = 1.1$ mA

$\therefore I_E = I_B + I_C = 0.11 + 1.1 = 1.21$ mA

এখানে,
ভূমি প্রবাহ,
$I_B = 0.11$ mA
এবং
$\beta' = 10$
বর্তনী দুটির ক্ষেত্রে R_L এবং R_{in} যথাক্রমে আউটপুট ও ইনপুট রোধ

ভোল্টেজ বিবর্ধন গুণক,

$$A'_V = \beta' \times \frac{R_L}{R_{in}}$$
$$= 10 \times \frac{R_L}{R_{in}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (ii)$$

$$\therefore \frac{A'_V}{A_V} = 10 \times \frac{R_L}{R_{in}} \times \frac{1}{2.9} \times \frac{R_{in}}{R_L} = \frac{10}{2.9}$$

$\therefore A'_V = 3.45 \times A_V$

অর্থাৎ বিবর্ধক হিসেবে বর্তনী ২-এর বিবর্ধন বেশি হবে। এক্ষেত্রে বর্তনী দুটি সাধারণ নিঃসারক সংযোগে আছে—তাছাড়া বর্তনী ২-এর প্রবাহ লাভ (β)-এর মান বর্তনী ১-এর চেয়ে বেশি। তাই বর্তনী ২-এর বিবর্ধক হিসেবে বেশি কার্যকরী।

৪৪। কমন এমিটার ট্রানজিস্টর সংযোগ বর্তনীতে 0.85 V ও 1.10 V বিভব প্রয়োগে এমিটার প্রবাহ যথাক্রমে 10 mA ও 40 mA পাওয়া যায়। প্রবাহ বিবর্ধন গুণক 0.98 এবং তার রোধ 120Ω।

(ক) ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরটি বিবর্ধক রূপে ক্রিয়া করবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, প্রবাহ বিবর্ধন গুণক,

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$
$$0.98 = \frac{\Delta I_C}{30}$$

$\therefore \Delta I_C = 0.98 \times 30 = 29.40$ mA

আবার $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C = 30 - 29.40$
$= 0.60$ mA

$$\therefore \text{প্রবাহ লাভ}, \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{29.40}{0.60} = 49$$

এখানে,
$\Delta I_E = (40 - 10)$ mA $= 30$ mA
$\alpha = 0.98$
$R_L = 120\Omega$
প্রবাহ লাভ, $\alpha = ?$

(খ) আমরা জানি, ভোল্টেজ বিবর্ধন,

$$A_V = \frac{\beta \times R_L}{R_{in}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখানে,

$$R_{in} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_E} = \frac{0{\cdot}25}{30 \times 10^{-3}}$$

$$= 8{\cdot}33 \times 10^3 \times 10^{-3}$$

$$= 8{\cdot}33\Omega$$

উদ্দীপকে 'গ' থেকে পাই, $\beta = 49$

$$\therefore \quad A_V = 49 \times \frac{120}{8{\cdot}33} = 705{\cdot}88$$

$$\simeq 706 \text{ (প্রায়)}$$

এখানে,

$R_L = 120\Omega$

$\Delta V_{CE} = (1{\cdot}10 - 0{\cdot}85)V = 0{\cdot}250V$

$\Delta I_C = 29{\cdot}40 \text{ mA} = 29{\cdot}40 \times 10^{-3}$ A

$\Delta I_E = (40 - 10)$ mA

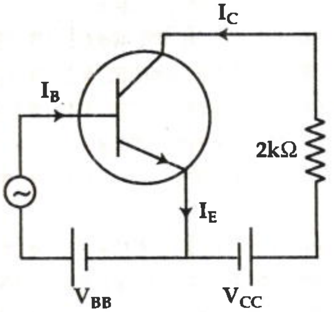
$= 30$ mA

$= 30 \times 10^{-3}$ A

$A_V = ?$

ট্রানজিস্টর কমন অ্যামিটার সংযোগে থাকলে উত্তম বিবর্ধক হিসেবে কাজ করে। তাছাড়া এক্ষেত্রে ভোল্টেজ বিবর্ধনের মান 706 হয়। সুতরাং বলা যায়, ট্রানজিস্টরটি বিবর্ধন হিসেবে ক্রিয়া করবে।

৪৫। একটি সাধারণ এমিটার ট্রানজিস্টরে 2kΩ মানের লোড রেজিস্টার সংযোগ দেওয়া হলো। ট্রানজিস্টরের প্রবাহ লাভ 50 এবং ট্রানজিস্টরের অন্তঃরোধ 0·5kΩ।



(ক) উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধনগুণক বের কর।

(খ) যদি উদ্দীপকের ট্রানজিস্টরের পীঠ প্রবাহ 60μA হয় তবে ট্রানজিস্টরটি বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করা যাবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণে মতামত দাও। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) ট্রানজিস্টরে প্রবাহ বিবর্ধক গুণক (সাধারণ এমিটার সংযোগের ক্ষেত্রে),

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{50}{1+50}$$

$$= \frac{50}{51} = 0{\cdot}9844$$

দেওয়া আছে,

$\beta = 50$

(খ) AC ক্ষমতা বিবর্ধন,

$$A_P = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_{in}}$$

$$= (50)^2 \times \frac{2 \times 10^3\ \Omega}{0{\cdot}5 \times 10^3\ \Omega}$$

$$= 10{,}000$$

এখানে,

$\beta = 50$

$R_L = 2$ kΩ

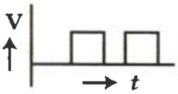
$R_{in} = 0{\cdot}5$ kΩ

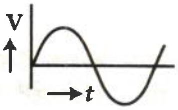
আবার ভোল্টেজ বিবর্ধন,

$$A_V = \beta \times \frac{R_L}{R_{in}} = 50 \times \frac{2}{0{\cdot}5} = 200$$

যেহেতু $A_P = 10{,}000$ এবং $A_V = 200$, সুতরাং আমরা বলতে পারি, ট্রানজিস্টরটি বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করা যাবে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। অতি নিম্ন তাপমাত্রায় অতি পরিবাহী পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে।
২। পূর্ণতরঙ্গ রেকটিফায়ারে আউটপুট পাওয়া যায় ইনপুটের পূর্ণচক্রের জন্য।
৩। জেনার ভোল্টেজ পাওয়া যায় রিভার্স বায়াসে।
৪। I_C এবং I_E লেখচিত্রের ঢাল হলো, α।
৫। বাইনারিতে 0 দিয়ে ভাগ করলে—অর্থহীন হবে।
৬। অর্ধপরিবাহীতে শক্তির ব্যবধান 1 eV মানের বা তার কিছু কম-বেশি হয়।
৭। NOT গেটের ক্ষেত্রে ইনপুট হাই হলে আউটপুট লো হয়।
৮। কার্বন হলো অন্তরক পদার্থ।
৯। AND গেটের সকল ইনপুট 1 হলেই আউটপুট কেবলমাত্র 1 হয়।
১০। বাইনারি পদ্ধতিতে লজিক অবস্থা 2টি।
১১। 

হলো ডিজিটাল সিগন্যাল এবং 

হলো অ্যানালগ সিগন্যাল।
১২। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ভেজাল মিশ্রণ করে পরিবাহিতা বৃদ্ধি করা যায়।
১৩। বাইনারি পদ্ধতিতে চার ডিজিটের সর্বোচ্চ 15টি নম্বর দেওয়া যাবে।
১৪। অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ $10^{-5}\Omega$-m থেকে $10^{8}\ \Omega$-m।
১৫। পরিবহণ ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ড এর মধ্যবর্তী নিষিদ্ধ অঞ্চলে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।
১৬। রাবার, জার্মেনিয়াম, সিলিকন, তামা এর মধ্যে রাবারের আপেক্ষিক রোধ বেশি।
১৭। পরিবাহী, অর্ধপরিবাহী, অন্তরক এর মধ্যে অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ মাঝামাঝি।
১৮। হোল তড়িৎ পরিবাহীতে অংশ নেয়, এটি ধনাত্মক চার্জযুক্ত। যোজন ব্যান্ড সৃষ্টি হয়।
১৯। যোজন ব্যান্ডের শক্তি পাল্লার মধ্যে (i) যোজন ইলেকট্রন অবস্থান করে (ii) পরমাণুর সর্ববহিঃস্থ কক্ষে পরিবহণ ইলেকট্রন থাকে।
২০। ট্রানজিস্টর আবিষ্কারের জন্য 1966 সালে বার্ডিন, ব্রাটেন ও শকলে নোবেল পুরস্কার পান।
২১। কোনো সংখ্যা লেখা বা প্রকাশ করার পদ্ধতিকে বলা হয় সংখ্যা পদ্ধতি।
২২। দশমিক পদ্ধতিতে চিহ্ন আছে 10টি। বাইনারি পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মৌলিক চিহ্ন 0 এবং 1।
২৩। আটটি বিট নিয়ে গঠিত হয় একটি বাইট।
২৪। বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির বেস 2, অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 8, হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 16।
২৫। আমরা সাধারণত যে সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহার করে গাণিতিক কাজ করি তার নাম ডেসিমেল বা দশমিক পদ্ধতি।
২৬। সরলতম সংখ্যা পদ্ধতি হচ্ছে বাইনারি, কম্পিউটার ও ক্যালকুলেটরের অভ্যন্তরীণ হিসাব করা হয় বাইনারি পদ্ধতিতে।
২৭। Exclusive OR গেটকে সংক্ষেপে XOR বলে। NOT গেটের আউটপুট সর্বদা ইনপুটের বিপরীত হয়। একটি ইনপুট একটি আউটপুট থাকে NOT গেটের।
২৮। OR গেট এবং NOT গেট যুক্ত করলে NOR গেট হয়। দুটি মৌলিক গেট AND এবং NOT গেট যুক্ত করে NOT গেট তৈরি করা হয়।
২৯। NOR গেটের দুইটি ইনপুট X ও Y এবং আউটপুট F হলে $F = \overline{X + Y}$ হবে। X ও Y ইনপুটবিশিষ্ট একটি XOR গেটের আউটপুট F = X(+)Y, NAND গেটের দুটি ইনপুট X ও Y হলে আউটপুট $F = \overline{X \cdot Y}$
৩০। OR গেটে—

(i) দুই বা ততোধিক ইনপুট দিলে একটি আউটপুট পাওয়া যায়

(ii) বর্তনীর সমতুল্য হলো একটি সমান্তরাল সুইচ বর্তনী

(iii) এর আউটপুট ইনপুটগুলোর যৌক্তিক যোগের সমান।

৩১। DM74LS32N হলো সমন্বিত বর্তনী। এছাড়াও HD74LSO8P, HD7404P, HD7402P, HD742SOOP হলো বিভিন্ন মানের সমন্বিত বর্তনী।
৩২। OR গেটের আউটপুট ইনপুটের যৌক্তিক তাৎপর্যের সমান।
৩৩। ট্রানজিস্টর বায়াসিং এ বেস এমিটার সম্মুখ ঝোঁক এবং কালেক্টর এমিটার বিপরীত ঝোঁকে সংযোগ দেওয়া হয়।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। একটি অর্ধপরিবাহীতে যদি ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা যথাক্রমে n_e ও n_p হয় তাহলে ইনট্রিনসিক অর্ধপরিবাহীতে—

ক $n_e = n_p$
খ $n_e < n_p$
গ $n_e > n_p$
ঘ কোনোটিই নয়

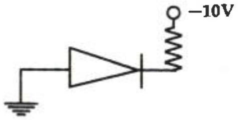
২। ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে ডিজিট কয়টি ? [রা. বো. ২০২১; সকল বোর্ড ২০১৮]

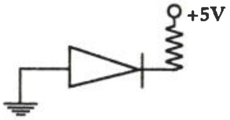
ক 2
খ 8
গ 10
ঘ 16

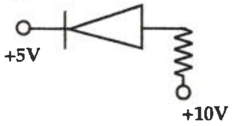
৩। জাংশন ডায়োড সাধারণত কী কাজে ব্যবহার করা হয় ? [ঢা. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; Admission Test : JKKNIU 2018-19; JU 2021-22; CU-A 2021-22]

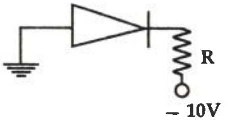
ক রেকটিফায়ার হিসেবে
খ সুইচ হিসেবে হিসেবে
গ বিবর্ধক হিসেবে
ঘ স্পন্দক হিসেবে

৪। নিচের কোন ডায়োডটি রিভার্স বায়াসে ? [দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০২২]

ক 

খ 

গ 

ঘ 

৫। দিক পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করে— [দি. বো. ২০২৩; Admission Test : CUET 2012-13; RU 2012-13, 2013-14; KU 2019-20; BAU 2009-10; BMA 2017-18; DU (প্রযুক্তি) 2020-21]

ক ডায়োড
খ ট্রানজিস্টর
গ রেকটিফায়ার
ঘ অ্যামপ্লিফায়ার

৬। একটি $p–n$ সংযোগকে বিপরীত বায়াসে রাখলে— [দি. বো. ২০২১; চ. বো. ২০১৫; Admission Test : DU (প্রযুক্তি) 2021-22; CU-A 2020-21]

ক কোনো প্রবাহ হয় না
খ নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ বাড়ে
গ নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ কমে
ঘ বিভব প্রাচীরের উচ্চতা কমে

৭। একটি p–টাইপের অর্ধপরিবাহী তৈরি করার জন্য বিশুদ্ধ সিলিকনকে যে অপদ্রব্য পরমাণু দিয়ে ডোপিং করা হয়, সেটি হলো— [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৭; Admission Test : BUET 2011-12; RU 2019-20]

ক ফসফরাস
খ কার্বন
গ অ্যান্টিমনি
ঘ অ্যালুমিনিয়াম

৮। একটি ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = 0{\cdot}96$ হলে প্রবাহ লাভ (current gain) β-এর মান হলো—1 [কু. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); RU Admission Test, 2019-20]

ক 6
খ 12
গ 24
ঘ 48

৯। কমন এমিটার অ্যামপ্লিফায়ারে ইনপুট ও আউটপুট সিগন্যালের মধ্যকার দশা পার্থক্য— [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫; Admission Test : BUET 2021-22; RUC 2021-22; DU (7 colleges) 2021-22]

ক 0°
খ 90°
গ 180°
ঘ 270°

১০। একটি $p–n–p$ ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে—

ক সংগ্রাহকের তুলনায় নিঃসারকের ডোপিং–এর মাত্রা বেশি
খ নিঃসারকের তুলনায় সংগ্রাহকের ডোপিং–এর মাত্রা বেশি
গ নিঃসারক ও সংগ্রাহক উভয়ের ডোপিং-এর মাত্রা সমান
ঘ ভূমি অঞ্চলটিতে ডোপিং-এর মাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশি