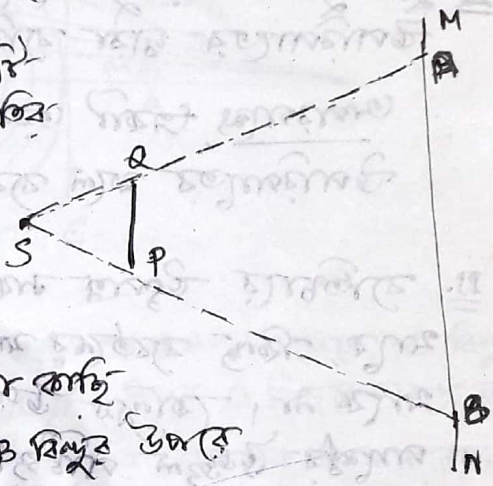
আলোর অপবর্তন (Diffration of Light)

সংজ্ঞাঃ কোন আলোকরশ্মির গতিপথে কোন অস্বচ্ছ বস্তু থাকলে আলোর ঋজু গতির জন্য ছায়ার সৃষ্টি হয়। এখন উৎপন্ন ছায়াকে সূক্ষ্মভাবে পর্যবেক্ষন করলে লক্ষ্য করা যায় যে, এই ছায়ার প্রান্তদ্বয় সম্পূর্ন অন্ধকারাচ্ছন্ন নয়, সেখানে হাল্কা আলোক আভা সৃষ্টি হয়, অর্থাৎ আলোর গতিপথে কোন অস্বচ্ছ বস্তু রাখলে আলোকরশ্মি সামান্য বেঁকে যায়। এই ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বা ব্যবর্তন (diffraction) বলে।



ধরি, S - একটি আলোক উৎস। উহার সামনে PQ একটি অস্বচ্ছ বস্তু রাখা আছে। এখন, আলোক রশ্মির ঋজু গতির জন্য পর্দা MN-এ AB অংশে ছায়া সৃষ্টি হবে এবং A বিন্দুর নিচে এবং B বিন্দুর উপরে আলোক রশ্মি পৌঁছাবে। ঠিক A ও B বিন্দু থেকে অন্ধকার অঞ্চল সৃষ্টি হয় না, ঐ বিন্দু দুটির কাছে সামান্য আলোক আভা উৎপন্ন হয়। কারন, P ও Q বিন্দুর কাছাকাছি অনু তরঙ্গ হতে আলোক তরঙ্গ A বিন্দুর তলায় ও B বিন্দুর উপরে পর্দার উপর পড়ে এবং কিছু অংশকে আলোকিত করে।

ব্যবর্তনের শ্রেনীবিভাগ (Types of Diffraction):

ব্যবর্তনকে দুটি শ্রেনীতে ভাগ করা যায়, যথা —

I). ফ্রেনেলের শ্রেনীর ব্যবর্তন (Fresnel's types of diffraction):

যে সকল ব্যবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা বাধা হতে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়েই অসীম (finite) দূরত্বে অবস্থিত হয়, তখন সেই ধরনের ব্যবর্তনকে ফ্রেনেলের শ্রেনীর ব্যবর্তন বলে। এক্ষেত্রে আলোক তরঙ্গ গোলীয় বা বেলনাকৃতির হয়ে থাকে।

সূচ বা সরু তার, সরু রেখাছিদ্রের উপর আলোক তরঙ্গের আপতনের ফলে এই প্রকার ব্যবর্তন সৃষ্টি হয়।

II. ফ্রনহফার শ্রেনীর ব্যবর্তন (Fraunhoffer types of diffraction):

যে সকল ব্যবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা বাধা থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়েই কার্যকরভাবে অসীম (infinite) দূরত্বে অবস্থান করে, সেই ধরনের ব্যবর্তনকে ফ্রনহফার শ্রেনীর ব্যবর্তন বলে।

এক্ষেত্রে, আলোক তরঙ্গ সমতল প্রকৃতির হয়ে থাকে। একক বা যুগ্ম রেখা ছিদ্র, ব্যবর্তন গ্রেটিং প্রভৃতির দ্বারা ফ্রনহফার শ্রেণীর ব্যবর্তন সৃষ্টি করা যায়।

ব্যতিচার ও ব্যবর্তনের পার্থক্য (Difference between Interference and Diffraction):

আলোক রশ্মির ব্যতিচার ও ব্যবর্তনের পার্থক্যগুলি নিম্নরূপ:

I. দুটি সুসংগত তরঙ্গমুখ থেকে উৎপন্ন সম কম্পাঙ্ক ও সমবিস্তার সম্পন্ন তরঙ্গের উপরিপাতের দ্বারা ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।

অপরপক্ষে, একটি তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশের অনুতরঙ্গ হতে উৎপন্ন তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে ব্যবর্তন সৃষ্টি হয়।

II. ব্যতিচারে উৎপন্ন সকল ~~এ~~ উজ্জ্বল আলোক পটির আলোক প্রাবল্য সমান থাকে, কিন্তু ব্যবর্তনের ফলে সৃষ্ট উজ্জ্বল পটিগুলির সকলের প্রাবল্য সমান থাকে না। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পটির প্রাবল্য সর্বাধিক এবং ~~উভ~~ এর উভয় পার্শ্বের উজ্জ্বল পটিগুলিতে প্রাবল্য ~~ক্রমশ~~ ক্রমশঃ কমতে থাকে।

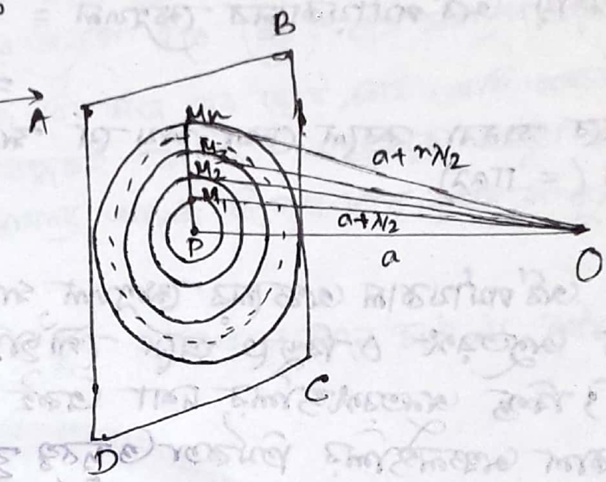
III. ব্যতিচারে অন্ধকার পটি বা কৃষ্ণ পটি গুলি সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকে অর্থাৎ এতে কোনরূপ আলো থাকে না।

কিন্তু, ব্যবর্তনের ফলে সৃষ্ট কৃষ্ণ পটি গুলি সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকে না, এতে সামান্য আলো থাকে।

IV. ব্যতিচার সকলের সকল পটির বেধ সমান থাকে কিন্তু ~~ব্যতিচার~~ ব্যবর্তন সকলের সকল পটির বেধ সমান থাকে না।

অর্ধ-পর্যায় অংশ এবং আলোকের ঋজুগতি (Half-period Element and Rectilinear propagation of Light); ফ্রেনেল কর্তৃক আলোর ঋজুগতির ব্যাখ্যা (Explanation of linear Propagation of light by Fresnel):

ধরি, λ-তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একবর্ণী আলোকের একটি তরঙ্গমুখ ABCD P থেকে O-এর অভিমুখে অগ্রসর হয়ে কোন এক সময়ে O থেকে a দূরত্বে অবস্থান করছে। সমগ্র তরঙ্গমুখের জন্য O-বিন্দুতে আলোক তীব্রতা নির্ণয় করতে হবে। হাইগেনস-এর নীতি অনুযায়ী ABCD তরঙ্গমুখে অবস্থিত প্রতি বিন্দু অণুতরঙ্গের কাজ করবে এবং তারা O বিন্দুতে একযোগে যে আন্দোলন সৃষ্টি করবে তার বিস্তারের উপরই আলোক তীব্রতা নির্ভর করবে।



O-বিন্দু থেকে তরঙ্গমুখের উপর লম্ব OP টানা হল। ধরি OP = a. এক্ষেত্রে, O বিন্দুর অনুরূপ P বিন্দুকে বলা হবে তরঙ্গমুখের মেরুবিন্দু (Pole)। এখন O বিন্দুকে কেন্দ্র করে $(a+\lambda/2)$, $(a+2\lambda/2)$, $(a+3\lambda/2)$, ... $(a+n\lambda/2)$ ইত্যাদি ব্যাসার্ধের গোলক অঙ্কন করা হল। এই গোলকগুলি এবং সমতল তরঙ্গমুখের ছেদ কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত $M_1, M_2, \ldots M_n$ উৎপন্ন করবে যাদের কেন্দ্র হবে P।

প্রথম বৃত্তের ক্ষেত্রফলকে বলা হয় প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল (1st half period zone) বা অঞ্চল। প্রথম ও দ্বিতীয় বৃত্তের অন্তর্বর্তী বলয়সদৃশ ক্ষেত্রকে বলা হয় দ্বিতীয় অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল। অনুরূপভাবে তৃতীয়, চতুর্থ ইত্যাদি অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল পাওয়া যায়।

সংজ্ঞা: ফ্রেনেলের অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল বলতে λ-তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট কোন তরঙ্গমুখের বহিঃস্থ কোন বিন্দু থেকে তরঙ্গমুখের কেন্দ্র বিন্দুকে কেন্দ্র করে অঙ্কিত কতকগুলি বলয় সদৃশ অঞ্চলকে যাদের ভিতরের প্রান্ত ও বহিঃপ্রান্তের দূরত্বের (O-বিন্দু থেকে) পার্থক্য $\lambda/2$।

অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ক্ষেত্রফল (Area of half period zone):

প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ব্যাসার্ধ $= PM_1 = \sqrt{OM_1^2 - OP^2} = \sqrt{(a+\lambda/2)^2 - a^2}$

$$= \sqrt{a^2 + a\lambda + \frac{\lambda^2}{4} - a^2} \quad (\because \lambda^2 \text{ খুবই ক্ষুদ্র})$$

$$= \sqrt{a\lambda}$$

∴ প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ক্ষেত্রফল $= \pi (PM_1)^2 = \pi a \lambda$

Scanned by CamScanner

দ্বিতীয় ~~অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের~~ বৃত্তের ব্যাসার্ধ $= PM_2 = \sqrt{PM_2^2 - OP^2} = \sqrt{(a+2\cdot\lambda/2)^2 - a^2}$

$$= \sqrt{a^2 + 2a\lambda - \lambda^2 - a^2}$$

$$= \sqrt{2a\lambda}$$

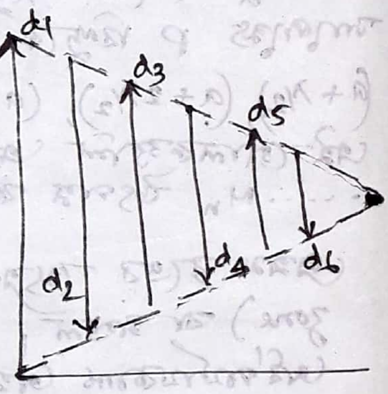
∴ দ্বিতীয় বৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi (PM_2)^2 = \pi \cdot 2a\lambda$

∴ দ্বিতীয় অর্ধপর্যায়কালের ক্ষেত্রফল $= 2\pi a\lambda - \pi a\lambda$

$$= \pi a\lambda$$

একইভাবে গণনা করলে দেখা যায় যে সমস্ত অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলগুলির ক্ষেত্রফল সমান $(= \pi a\lambda)$.

সমস্ত অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ক্ষেত্রফল সমান হওয়ায়, ঐ কারণে অঞ্চল থেকে যে সকল গৌণতরঙ্গ O বিন্দুতে এসে পৌঁছাবে তারা ঐ বিন্দুতে সমান বিস্তার উৎপন্ন করবে। কিন্তু গৌণতরঙ্গগুলির দশা একই হবে না, আবার যেহেতু, O-বিন্দু থেকে অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলগুলির তির্যকতা ও দূরত্ব বৃদ্ধি পেলে বিস্তার হ্রাস পাবে। সুতরাং বিভিন্ন অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল ক্রমহ্রাসমান বিস্তার উৎপন্ন করবে।



প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ফলাফল হবে দ্বিতীয় অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল অপেক্ষা বেশি কিন্তু বিপরীতমুখী। দ্বিতীয় অঞ্চলের ফলাফল হবে তৃতীয় অঞ্চল অপেক্ষা বেশি কিন্তু বিপরীতমুখী ইত্যাদি।

ধরি, O-বিন্দুতে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয়, ইত্যাদি করে nth অঞ্চল যথাক্রমে $d_1, d_2, d_3, \ldots, d_n$ বিস্তার উৎপন্ন করল।

∴ O বিন্দুর লব্ধ বিস্তার, $d = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \cdots + d_n$

$$= \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \cdots + \frac{d_n}{2}$$

$\because d_2 = \frac{d_1 + d_3}{2}$

$d_4 = \frac{d_3 + d_5}{2}$

$\Rightarrow d = \frac{d_1}{2} + \frac{d_n}{2}$ (n - বিজোড় হলে)

এবং $d = \frac{d_1}{2} + \frac{d_{n-1}}{2} - \frac{d_n}{2}$ (n - জোড় হলে)

যদি, সমস্ত তরঙ্গমুখ অনাবৃত হয় তবে $n = \infty$ হবে এবং অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলগুলির তির্যকতা এত বৃদ্ধি পাবে যে, $d_n = 0$ হবে।

সেক্ষেত্রে, $\boxed{d = \frac{d_1}{2}}$

জোড় $\rightarrow d = \frac{d_1}{2} + \frac{d_n}{2} = \frac{d_1}{2}$

বিজোড় $\rightarrow d = \frac{d_1}{2} + \frac{d_{n-1}}{2} - \frac{d_n}{2}$

$= \frac{d_1}{2}$

ঋজুগতির ব্যাখ্যা: একটি বহুবিস্তৃত অবারিত তরঙ্গমুখের জন্য O বিন্দুতে আলোক তীব্রতা কেবলমাত্র প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল যে বিস্তার সৃষ্টি করে তার অর্ধেক। অর্থাৎ সমগ্র অঞ্চলের জন্য যে আলোক O-বিন্দুতে আসছে তা প্রথম অঞ্চলের নিঃসৃত আলোর থেকেও কম। এখন P বিন্দুতে যদি একটি প্রতিবন্ধক রাখা হয় যার দরুন প্রথম অঞ্চল হতে কোনও আলো O-তে না আসে, তবে সমগ্র অঞ্চলের জন্য O-বিন্দুতে আলোকের তীব্রতা হবে $\left(\frac{d_2}{2}\right)^2$-এর সমানুপাতিক। যদি প্রতিবন্ধক প্রথম ও দ্বিতীয় অঞ্চলকে আবৃত করে তবে, O-বিন্দুতে আলোর তীব্রতা হবে $\left(\frac{d_3}{2}\right)^2$ এর সমানুপাতিক ইত্যাদি, যদিও প্রতি অঞ্চলের ক্ষেত্রফল তীব্রতা ক্রমশঃ কমতে থাকবে। যেহেতু λ-এর মান খুব ছোট, তাই প্রতি অঞ্চলের ক্ষেত্রফল ($=\pi a\lambda$) খুব ছোট এবং একটি ছোট প্রতিবন্ধকেই কয়েকটি অঞ্চলকে আবৃত করে রাখতে পারে এবং অন্যান্য অঞ্চলের জন্য O বিন্দুতে সামান্য আলো উৎপন্ন করে, ~~ফলে~~ সম্পূর্ণরূপে O-বিন্দুতে প্রতিবন্ধকটির ছায়া পড়ে না।

তাই বলা যায়, আলোর ঋজুগতির সূত্র কঠোরভাবে মেনে চলে না, মোটামুটি মেনে চলে।

মণ্ডলফলক (Zone plate): আলোর ঋজুগতির ব্যাখ্যা করতে গিয়ে ফ্রেনেল যে অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের অবতারণা করেছিলেন তার ব্যবহারিক প্রয়োগ হল মণ্ডলফলক।

n তম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের ব্যাসার্ধ $= r_n = \sqrt{(a+n\lambda/2)^2 - a^2}$

$= \sqrt{na\lambda}$ $\quad$ [∵ λ^2 ক্ষুদ্র]

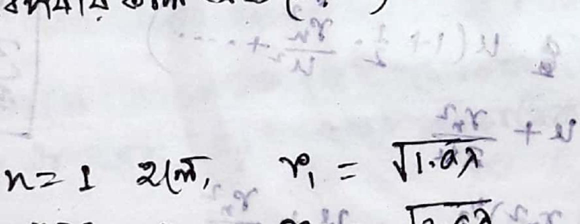
এখন, $n=1$ হলে, $r_1 = \sqrt{1\cdot a\lambda}$

$n=2$ " $r_2 = \sqrt{2\cdot a\lambda}$

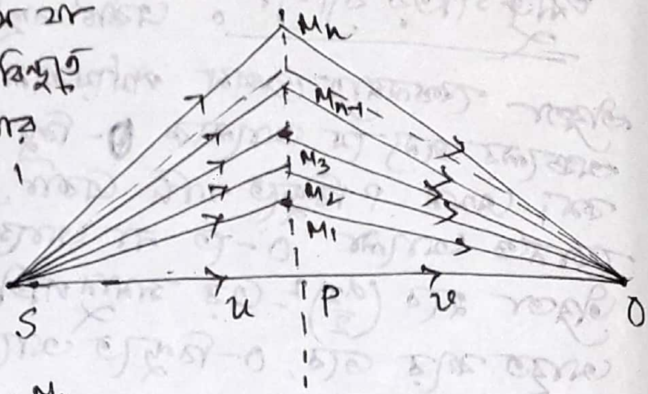
$n=3$ " $r_3 = \sqrt{3\cdot a\lambda}$ ইত্যাদি।

সুতরাং, বিভিন্ন অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলগুলির ব্যাসার্ধ 1, 2, 3, ইত্যাদি স্বাভাবিক সংখ্যার বর্গমূলের সমানুপাতিক।

একটি সাদা কাগজে কতগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত এমনভাবে আঁকা হয় যে, তাদের ব্যাসার্ধ $\sqrt{1}, \sqrt{2}, \sqrt{3},$ ইত্যাদির সমানুপাতিক হয় এবং একটি বাদে একটি (যেমন প্রথম, তৃতীয়, পঞ্চম ইত্যাদি বা দ্বিতীয়, চতুর্থ, ষষ্ঠ ইত্যাদি) বলয়াকার অঞ্চলকে কালো কালি দ্বারা কৃষ্ণ করা হয়, ফলে তাদের মধ্যদিয়ে আলো যেতে পারে না। একে মণ্ডলফলক (Zone plate) বলে।



মণ্ডলফলক



তত্ত্ব (Theory): মনে করি, S একটি আলোক উৎস যা λ-তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের গোলীয় তরঙ্গ উৎপন্ন করছে। O বিন্দুতে ঐ তরঙ্গ সমূহের ফলাফল নির্ণয় করতে হবে। SO রেখার লম্বভাবে একটি স্বচ্ছ তল PM_n কল্পনা করা হল। $PM_1 = r_1$, $PM_2 = r_2$, $PM_3 = r_3$ ইত্যাদি ব্যাসার্ধের সমকেন্দ্রিক বৃত্ত PM_n-এর উপর অঙ্কিত হল। এর ফলে ঐ তলটি কতকগুলি অঞ্চল বা অংশে বিভক্ত হল। এখন, $M_1, M_2, M_3 \ldots M_n$ বিন্দুগুলি এমনভাবে অঙ্কিত হয়েছে যে,

$$SM_1 + M_1O = SP + OP + \lambda/2$$
$$SM_2 + M_2O = SP + PO + 2\lambda/2$$
$$\cdots$$
$$SM_n + M_nO = SP + PO + n\lambda/2$$

সুতরাং প্রত্যেক O বিন্দুর সাপেক্ষে P-বিন্দুকে কেন্দ্র করে ফ্রেনেলের অর্ধপর্যায়কালীন অঞ্চল সৃষ্টি হয়েছে। অনুরূপ nth অঞ্চলের ক্ষেত্রে,

$$SM_n + M_nO = SP + PO + n\lambda/2 \quad \text{—— (I)}$$

এখন, $SP = u$ এবং $PO = v$ ধরলে,

$$SM_n^2 = PM_n^2 + SP^2 = u^2 + r_n^2$$
$$\therefore SM_n = (u^2 + r_n^2)^{1/2} = u\left(1 + \frac{r_n^2}{u^2}\right)^{1/2}$$
$$= u\left(1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{r_n^2}{u^2} + \cdots\right)$$
$$SM_n = u + \frac{r_n^2}{2u}$$

∵ $r_n < u$ উচ্চ ঘাতের রাশিগুলিকে উপেক্ষা করে

অনুরূপভাবে, $M_nO = (v^2 + r_n^2)^{1/2} = v + \dfrac{r_n^2}{2v}$

∴ (I) নং সমীকরণ হতে পাই, $u + v + \dfrac{r_n^2}{2}\left(\dfrac{1}{u} + \dfrac{1}{v}\right) = u + v + n\lambda/2$

$$\Rightarrow r_n^2\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{v}\right) = n\lambda$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{n\lambda}{r_n^2}} \quad \text{—— (ii)}$$

উত্তল লেন্সের ন্যায় বিম্ব গঠন সংক্রান্ত সমীকরণ,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad \text{—— (iii)}$$

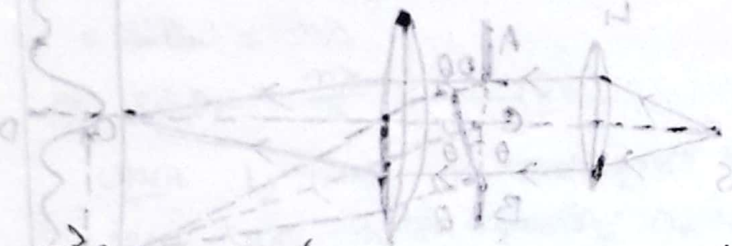
(iii) ও (ii) নং সমীকরণ তুলনা করলে, আমরা এই সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে, S আলোক উৎসটির প্রতিবিম্ব O বিন্দুতে গঠিত হয়। জোনপ্লেট উত্তল লেন্সের মত কাজ করে অর্থাৎ অভিসারী লেন্স হিসাবে কাজ করে।

অঞ্চলফলকের ফোকাস দৈর্ঘ্য $f_n = \frac{r_1^2}{n\lambda}$ —— (18)

$n=1$ হলে, $f_1 = \frac{r_1^2}{\lambda}$ → প্রাথমিক বা মুখ্য ফোকাস দৈর্ঘ্য।

$n=2$ " $f_2 = \frac{r_1^2}{2\lambda}$ → দ্বিতীয় ফোকাস দৈর্ঘ্য।

অর্থাৎ অঞ্চল ফলকের অনেকগুলি ফোকাস বিন্দু থাকে।



উত্তল লেন্স ও অঞ্চল ফলকের পার্থক্য (Difference between convex Lens and zone plate):

উত্তল লেন্স যেমন কোন বস্তুবিন্দুর সদ্‌বিম্ব গঠন করে তেমনি অঞ্চল ফলকও কোন বস্তুবিন্দুর সদ্‌বিম্ব গঠন করলেও তাদের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্যগুলি পরিলক্ষিত হয়:

(i). উত্তল লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য উহার দুইটি বক্রতা ব্যাসার্ধের এবং মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। এর একটিমাত্র ফোকাস দৈর্ঘ্য থাকে। অপরপক্ষে অঞ্চলফলকের ফোকাস দৈর্ঘ্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে না এবং এর সংখ্যা একাধিক হয়।

(ii). লেন্সের ক্ষেত্রে, ফোকাস দৈর্ঘ্য তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, তাই সাদা বর্ণের আলোর লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হলে প্রথমে বেগুনী বর্ণের ফোকাস বিন্দু উৎপন্ন হয় এবং লাল বর্ণের ফোকাস বিন্দু লেন্স হতে দূরে অবস্থিত হয়— কারণ লাল বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাধিক।

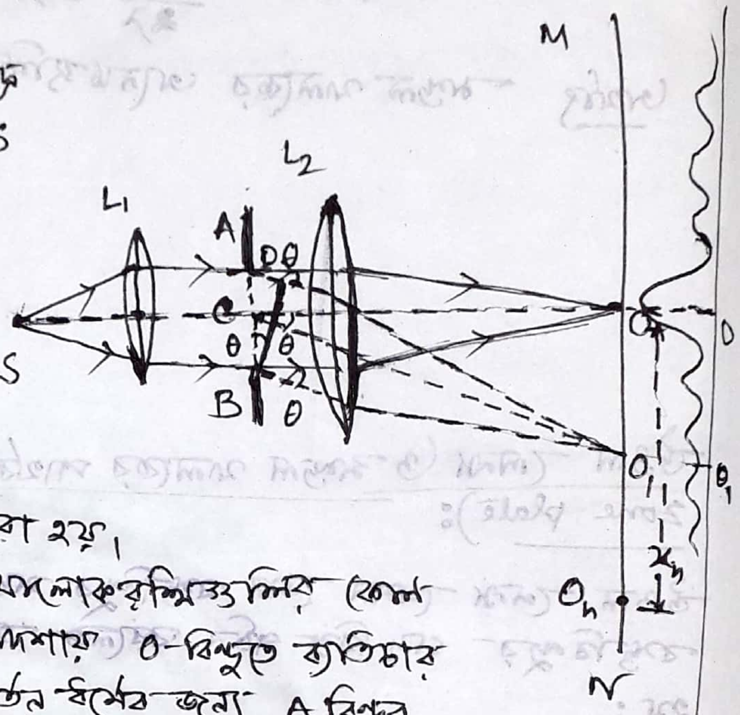
অপরপক্ষে, অঞ্চলফলকের ক্ষেত্রে $f \propto \frac{1}{\lambda}$, অর্থাৎ সাদা আলোর ক্ষেত্রে, অঞ্চল ফলক কর্তৃক নিকটতম স্থানে লাল বর্ণের ফোকাস বিন্দু এবং দূরবর্তী অবস্থানে বেগুনী বর্ণের ফোকাস বিন্দু গঠিত হবে।

(iii). উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, বিন্দু উৎস থেকে রশ্মি লেন্সের বিভিন্ন অঞ্চলের মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হলেও একই সময়ে প্রতিবিম্ব বিন্দুতে পৌঁছায়, কিন্তু অঞ্চল ফলকের ক্ষেত্রে রশ্মিগুলি প্রতিবিম্ব বিন্দুতে বিভিন্ন সময়ে পৌঁছায়।

~~ফ্রেনেল শ্রেণীর ব্যবর্তন (Fresnel's types of diffraction):~~

I: একক রেখাছিদ্র দ্বারা ব্যবর্তন (Diffraction by single slit):

চিত্রে একটি একবর্ণী আলোর সরু রেখা ছিদ্র দ্বারা অপবর্তন দেখান হয়েছে। এখানে S একটি বিন্দু উৎস। S-হতে উৎপন্ন রশ্মিকে একটি উত্তল লেন্স L_1 দ্বারা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিনত করা হয়। এই সমান্তরাল রশ্মি যখন AB রেখাছিদ্রের উপর আপতিত হয় তখন উহা হতে আগত রশ্মিকে অপর একটি উত্তল লেন্স L_2 দ্বারা MN পর্দার উপর একত্রিত করা হয়,



যেহেতু A ও B বিন্দুর মধ্যবর্তী স্থানের আলোকরশ্মিগুলির কোন পথ পার্থক্য থাকেনা, সুতরাং তারা সমদশায় O-বিন্দুতে ব্যতিচার (উজ্জ্বল) সৃষ্টি করে। আলোর অপবর্তন ধর্মের জন্য A বিন্দুর উপরে এবং B বিন্দুর নিচেও কিছু আলোক রশ্মি থাকে যারা CO রেখার সাথে সামান্য কোণে (θ) অগ্রসর হয় L_2 দ্বারা O_1 বিন্দুতে একত্রিত হয়, ~~এবং~~ O_1 বিন্দুতে পৌঁছে ঐ সকল আলোক তরঙ্গের দশার সমান হতেও পারে আবার নাও হতে পারে। ইহা নির্ভর করে ঐ ~~রশ্মি~~ তরঙ্গের পথ পার্থক্যের উপর এবং তারা ব্যতিচার সৃষ্টি করে উজ্জ্বল বা অন্ধকার (চরম ও অবম বিন্দু) বিন্দু সৃষ্টি করবে।

ধরি, রেখাছিদ্রের ~~দৈর্ঘ্য~~ প্রস্থ $= a$. C- AB রেখাছিদ্রের মধ্যবিন্দু। A ও B বিন্দু থেকে ব্যবর্তনের জন্য রশ্মিগুচ্ছের পথ পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য CO_1 রেখার উপর BD লম্ব অঙ্কিত হল। সুতরাং AD-ই হবে BO_1 ও AO_1 আলোকতরঙ্গের পথ পার্থক্য।

এখন, চিত্র হতে পাই, $\frac{AD}{AB} = \sin\theta$

$$\therefore AD = AB\sin\theta = a\sin\theta \longrightarrow (i)$$

ধরি, A ও B বিন্দু থেকে অপবর্তিত n তম তরঙ্গের জন্য AB ও BD এর মধ্যবর্তী কোণ হবে θ_n, সুতরাং সেক্ষেত্রে, ব্যতিচার বিন্দু O_n অবস্থানে ঘটিত হবে,

$\therefore$ তখন পথ পার্থক্য হবে $= AD = a\sin\theta_n$

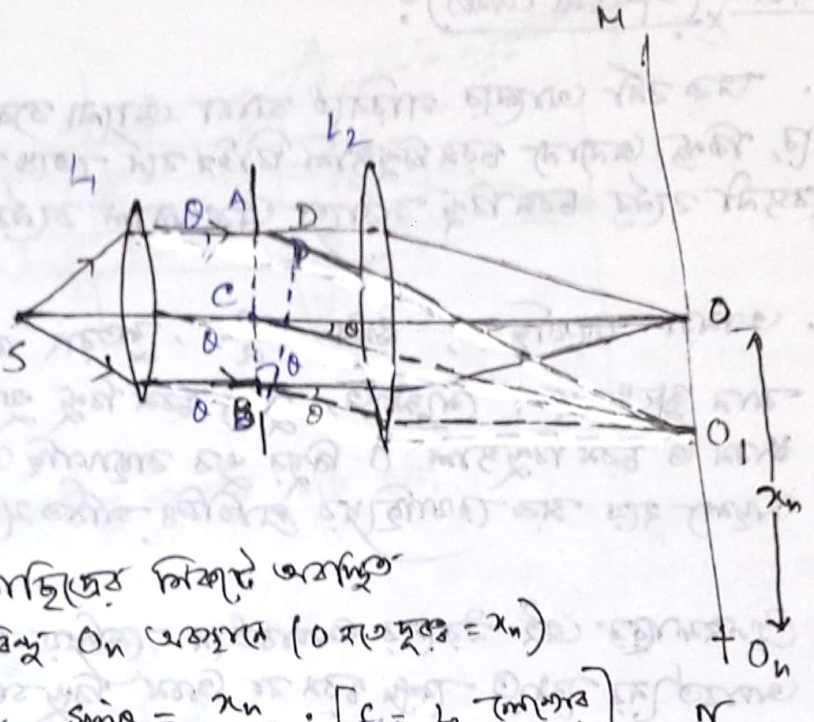
অবম বিন্দু (Minima):

আমরা জানি, অবম বিন্দু বা কৃষ্ণ দাগের জন্য পথ পার্থক্যের শর্ত হল,

$AD = n\lambda$ [n = অখণ্ড সংখ্যা]

$\therefore \; a\sin\theta_n = n\lambda$

$\Rightarrow \; \sin\theta_n = \dfrac{n\lambda}{a}$ —— (ii)



এখন, L_2 লেন্সের AB রেখাছিদ্রের বিপরীতে অবস্থিত হলে এবং n তম কৃষ্ণবিন্দু O_n অবস্থানে (O হতে দূরত্ব $= x_n$) অবস্থিত হলে, চিত্র হতে পাই, $\sin\theta = \dfrac{x_n}{f}$; [f = L_2 লেন্সের ফোকাস দূরত্ব]

$\therefore \; \dfrac{x_n}{f} = \dfrac{n\lambda}{a}$

$\therefore \; \boxed{x_n = \dfrac{n\lambda f}{a}}$ —— (iii)

$\therefore$ কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল বিন্দু (central maxima) হতে $x_n = \dfrac{n\lambda f}{a}$ দূরত্বে nth কৃষ্ণ বিন্দু উৎপন্ন হবে।

চরম বিন্দু (Maximum):

চরম বিন্দুর ক্ষেত্রে পথ পার্থক্যের শর্ত হল; $AD = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$

$\therefore \; a\sin\theta_n' = (2n+1)\lambda/2$

(n-th উজ্জ্বল বিন্দুর জন্য θ-এর মান θ_n')

$\therefore \; \dfrac{x_n'}{f} = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$

$\therefore \; x_n' = f(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$ —— (iv)

x_n' - হল O- বিন্দু হতে nth maxima-র দূরত্ব।

এখন, অবমবিন্দু গুলির জন্য $AD = n\lambda = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \ldots$ ইত্যাদি,

চরম " " $AD = (2n+1)\lambda/2 = \frac{3}{2}\lambda, 5\lambda/2, 7\lambda/2, \ldots$ ইত্যাদি।

সুতরাং, একক রেখাছিদ্র দ্বারা অপবর্তনের জন্য কেন্দ্রীয় বিন্দুটি উজ্জ্বল এবং উহার উভয় পার্শ্বে পর্যায়ক্রমে অন্ধকার পটি ও কৃষ্ণপটি উৎপন্ন হবে।

আলোচনা (Special cases):

(i). একবর্ণী আলোর পরিবর্তে সাদা আলো ব্যবহার করলে, মুখ্য চরম বিন্দু সাদাই হবে, কিন্তু অন্যান্য চরম বিন্দুগুলি বিভিন্ন বর্ণে ভেঙে যাবে। যেহেতু $x_n \propto \lambda$, সুতরাং বেগুনী বর্ণের চরমবিন্দু সর্বাগ্রে এবং লাল বর্ণের চরমবিন্দু সর্বশেষে পরিলক্ষিত হবে।

(ii). আমরা দেখেছি যে, $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ । সুতরাং a-এর মান খুব বড় হলে θ এর মান ক্ষুদ্র হবে। সেক্ষেত্রে, মুখ্য চরম বিন্দু খুব তীক্ষ্ণ (sharp) হবে এবং অন্যান্য অবম ও চরম বিন্দুগুলি O-বিন্দুর খুব কাছাকাছি অবস্থিত হবে, অপবর্তন ঝালর অদৃশ্য হয়ে সরু রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব গঠিত হবে।

(iii). ফ্রনহফারের এই ধরনের অপবর্তনে কেন্দ্রীয় চরমবিন্দু উৎপন্ন হয়, কিন্তু ফ্রেনেলের অপবর্তনের ক্ষেত্রে কেন্দ্রে চরম বা অবম বিন্দু গঠিত হতে পারে।

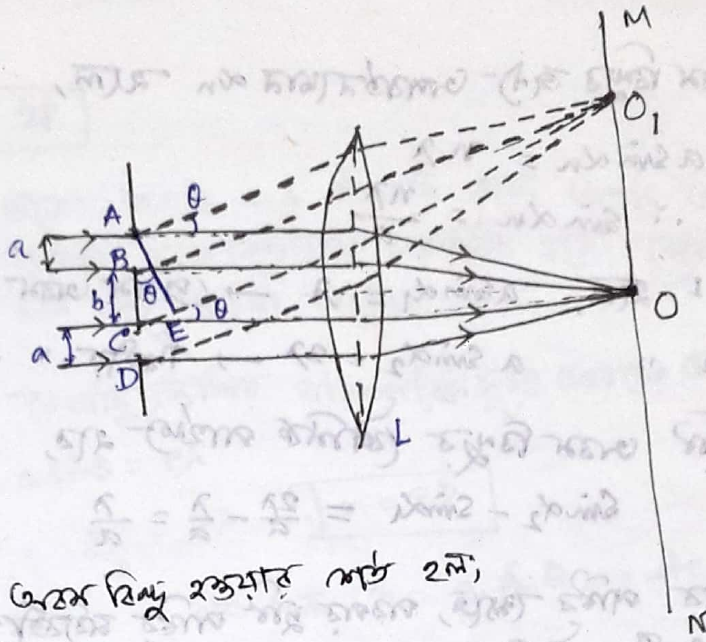
যুগ্ম রেখাছিদ্রের জন্য অপবর্তন (Diffraction due to double slit):

AB ও CD দুটি রেখাছিদ্র যাদের প্রস্থ a এবং তাদের পারস্পরিক দূরত্ব b, $(a+b)$ কে ঐ যুগ্ম রেখাছিদ্রের উপাদান বলা হয়। একটি সমতল তরঙ্গমুখ AB ও CD রেখাছিদ্র দুটিতে লম্বভাবে আপতিত হয়। রেখাছিদ্র দুটি হতে নির্গত আলোকে L-লেন্স (উত্তল) দ্বারা MN পর্দার উপর একত্রিত করা হয়।

রেখাছিদ্রের প্রতিটি বিন্দুই অনন্ত তরঙ্গ উৎপন্ন করে এবং তাদের মধ্যে পথ পার্থক্য না থাকায় (অর্থাৎ সমদশায় থাকে) তারা সরাসরি O-বিন্দুতে মিলিত হয়ে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল বিন্দু (central maxima) উৎপন্ন করে। এখন পর্দার অপর একটি বিন্দুতে রেখাছিদ্র দুটি হতে তরঙ্গ এসে একত্রিত হয়। সেক্ষেত্রে সমস্ত তরঙ্গের দশা একই থাকে না অর্থাৎ তাদের পথ পার্থক্য থাকে। এই পথ পার্থক্যের উপর নির্ভর করে O বিন্দুতে চরম বা অবম বিন্দু উৎপন্ন হবে এবং সমগ্র পর্দায় অপবর্তন ঝালর উৎপন্ন হবে। ~~পথ পার্থক্য λ/2 হলে অবমবিন্দু হবে এবং~~ O_1 বিন্দুতে আপতিত আলোকতরঙ্গের পথ পার্থক্য $\lambda/2$ হলে O_1 হবে অবম বিন্দু।

11

ব্যতিচার পটি (interference fringes) ঃ



A ও C (অনুরূপ) বিন্দুর বিচ্যুত তরঙ্গের পথ পার্থক্য

$= CE = AC\sin\theta$

$\therefore CE = (a+b)\sin\theta$

$\therefore$ O_1- বিন্দু প্রথম ব্যতিচার অবম বিন্দু হওয়ার শর্ত হল;

$$(a+b)\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$\therefore$ n- তম ব্যতিচার অবম বিন্দুর জন্য শর্ত হল,

$$(a+b)\sin\theta_n = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

$\therefore n=0$ হলে, $(a+b)\sin\theta_1 = \lambda/2 \rightarrow$ প্রথম অবম বিন্দু

$n=1$ ", $(a+b)\sin\theta_2 = \frac{3\lambda}{2} \rightarrow$ দ্বিতীয় " " ইত্যাদি।

আবার, O_1- বিন্দুতে প্রথম ব্যতিচার চরম বিন্দু হওয়ার শর্ত হল;

$$(a+b)\sin\theta_1' = 2\cdot\lambda/2$$

$\therefore$ n তম ব্যতিচার চরমবিন্দুর শর্ত, $(a+b)\sin\theta_n' = 2n\cdot\frac{\lambda}{2}$

$\therefore n=1$ হলে, $(a+b)\sin\theta_1' = 2\lambda/2 = \lambda \rightarrow$ প্রথম চরমবিন্দু

$n=2$ " $(a+b)\sin\theta_2' = 4\cdot\frac{\lambda}{2} = 2\lambda \rightarrow$ দ্বিতীয় চরমবিন্দু ইত্যাদি।

$\therefore$ প্রতি দুটি অবম বিন্দুর মাঝে একটি চরম বিন্দু উৎপন্ন হবে।

ব্যতিচারের জন্য পরপর দুটি অবমবিন্দুর মধ্যে কৌণিক দূরত্ব

$$= \sin\theta_2 - \sin\theta_1 = \frac{3\lambda}{2(a+b)} - \frac{\lambda}{2(a+b)} = \frac{\lambda}{(a+b)}$$

অপবর্তন পটি (Deffraction pattern):

ব্যতিচার পটি ছাড়াও প্রত্যেকটি রেখাছিদ্র আলাদাভাবে নিজস্ব অপবর্তন পটি গঠন করবে, এই অপবর্তন পটি, ব্যতিচার পটির উপর উপরিপাতিত (superposed) হবে।

একক রেখাছিদ্রের জন্য প্রথম অবম বিন্দু হওয়ার শর্ত হল;

$a\sin\alpha_1 = \lambda$ (α = অপবর্তন কোণ)

$\therefore \sin\alpha_1 = \lambda/a$

∴ n th অবম বিন্দুর জন্য অপবর্তন কোণ α_n হলে,

$$a\sin\alpha_n = n\lambda$$

$$\therefore \sin\alpha_n = \frac{n\lambda}{a}$$

∴ $n = 1$ হলে, $a\sin\alpha_1 = \lambda \rightarrow$ প্রথম অবম বিন্দু

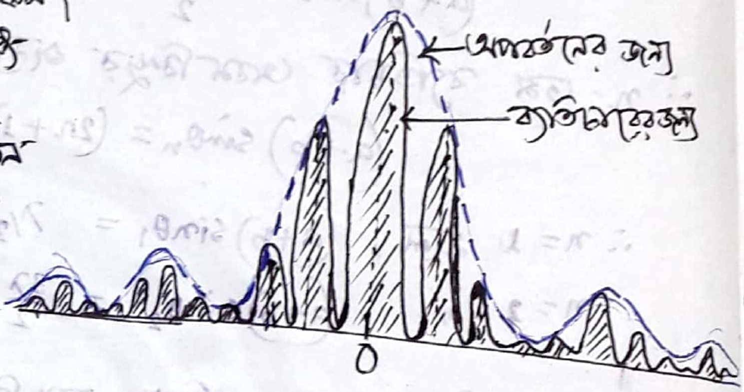
$n = 2$ " $a\sin\alpha_2 = 2\lambda \rightarrow$ দ্বিতীয় " " ইত্যাদি।

∴ পরপর দুটি অবম বিন্দুর কৌণিক পার্থক্য হবে,

$$\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1 = \frac{2\lambda}{a} - \frac{\lambda}{a} = \frac{\lambda}{a}$$

সুতরাং ব্যতিচার পটির ক্ষেত্রে, পরপর দুটি পটির মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব অপবর্তিত দুটি পটির মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব অপেক্ষা কম।

সুতরাং পরপর দুটি অপবর্তন অবমবিন্দুর মধ্যে অনেকগুলি ব্যতিচার অবমবিন্দু থাকবে এবং অনুরূপভাবে, কেন্দ্রীয় ~~অবমবিন্দুর~~ অপবর্তন চরমবিন্দুর মধ্যেও অনেকগুলি ব্যতিচার জনিত চরম ও অবমবিন্দু থাকবে।



যুগ্ম রেখাছিদ্রের অপবর্তন আলোর নিরুদ্দিষ্ট পর্যায় (Missing Orders in the diffraction pattern due to a double slit):

ব্যতিচারের জন্য যুগ্ম রেখাছিদ্রের n তম চরমবিন্দুর অপবর্তন কোণ θ হলে, $(a+b)\sin\theta = n\lambda$ হয়। আবার, অপবর্তনের জন্য p তম অবমবিন্দুর অপবর্তন কোণ α হলে, $a\sin\alpha = p\lambda$ হয়। a কে অপরিবর্তিত রাখলে, অপবর্তন আলোর অপরিবর্তিত থাকে, আবার, b কে পরিবর্তিত করলে ব্যতিচার চরমবিন্দুর অবস্থান পরিবর্তিত হয়। অবশেষে a ও b -এর মানের পরিবর্তন করে এমন একটি অবস্থায় আসে যখন $\theta = \alpha$ হয়, তখন কিছু কিছু চরমবিন্দু (ব্যতিচারের) অপবর্তন অবমবিন্দুর সাথে মিশে যায়। এই সকল চরম বিন্দুকে বলা হয় নিরুদ্দিষ্ট চরম বিন্দু।

$\boxed{\text{ক্ষেত্র-1:}}$ Case-1: ধরি, $a = b$ অর্থাৎ রেখাছিদ্রের প্রস্থ ও তাদের পারস্পরিক ব্যবধান সমান।

∴ সমীকরণ, $2a\sin\theta = n\lambda \Rightarrow a\sin\theta = \frac{n\lambda}{2}$ —— (i)

এবং $a\sin\theta = p\lambda$ —— (ii)

Scanned by CamScanner

$\therefore \frac{n\lambda}{2} = p\lambda \quad \therefore \boxed{n = 2p}$

যদি $p = 1, 2, 3,$ ইত্যাদি হয় তবে $n = 2, 4, 6$ ইত্যাদি হবে। অর্থাৎ অপবর্তন বর্ণালীর দ্বিতীয়, চতুর্থ, ষষ্ঠ ইত্যাদি ক্রমের চরম বিন্দুগুলি নিরুদ্দিষ্ট হবে। কেন্দ্রীয় অপবর্তন চরম পটির মধ্যে তিনটি ক্রমের চরম বিন্দু পাওয়া যাবে।

Case:2; $2a = b$ হলে, অর্থাৎ রেখাছিদ্রগুলির পারস্পরিক দূরত্ব, উহাদের প্রস্থের দ্বিগুণ হলে;

$3a \sin\theta = n\lambda$
$\therefore a\sin\theta = \frac{n\lambda}{3}$

আবার, $a\sin\theta = p\lambda$

$\therefore \frac{n\lambda}{3} = p\lambda \quad \therefore \boxed{n = 3p}$

$\therefore p = 1, 2, 3, \ldots$ etc হলে, $n = 3, 6, 9 \ldots$ etc.

এক্ষেত্রে, 3rd, 6th, 9th ইত্যাদি চরম বিন্দু missing হবে। এবং কেন্দ্রীয় অপবর্তন চরম পটির মধ্যে পাঁচটি চরম বিন্দু অবস্থান করবে।

Case-3: যদি $a+b = a$ হয়, তবে, $b=0$ এক্ষেত্রে রেখাছিদ্রদ্বয় পরস্পর মিলে 2a-প্রস্থের একক রেখাছিদ্র উৎপন্ন করবে।

এক্ষেত্রে $p = n$; $p = 1, 2, 3, \ldots$ etc
$n = 1, 2, 3, \ldots$ etc.

$\therefore$ সকল চরম (ক্রমের) বিন্দুগুলিই নিরুদ্দিষ্ট হবে। এবং শুধুমাত্র একক রেখাছিদ্র যেরূপ অপবর্তন ফলাফল উৎপন্ন করে সেইরকম ফলাফল দেখা যাবে।

অপবর্তন গ্রেটিং (Diffraction grating):

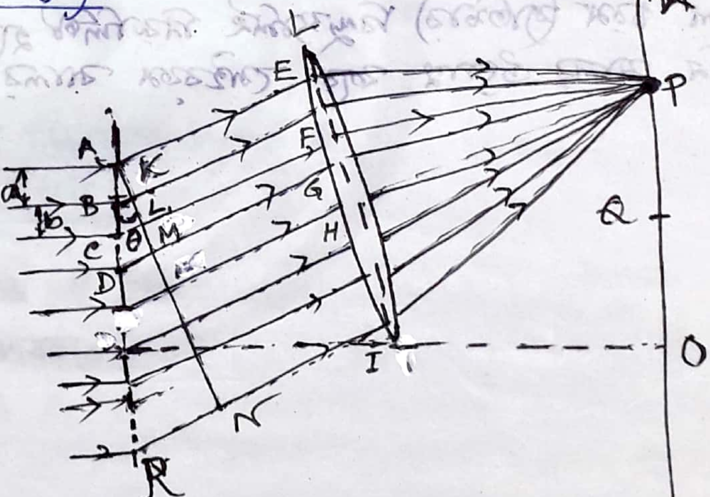
বহুসংখ্যক সমদূরত্ব বিশিষ্ট রেখাছিদ্রকে পাশাপাশি বসালে অপবর্তন গ্রেটিং প্রস্তুত হয়। গ্রেটিং সাধারণত: দুই প্রকার হয়। যথা-

(i). নিঃসরণ গ্রেটিং বা transmission grating এবং
(ii) প্রতিফলন গ্রেটিং বা reflection grating।

নিঃসরণ গ্রেটিং-ই আমরা বেশি ব্যবহার করি। একটি প্যারালাল অথচ সমান বেধবিশিষ্ট স্বচ্ছ কাচের উপর হীরক বিন্দু দিয়ে রেখা কল্পনা করা হয়, এই রেখাগুলি অস্বচ্ছ অংশের কাজ করে। আলো এই রেখাতে আপতিত হলে চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত হয়, কিন্তু রেখাগুলির মাঝের কাচের স্বচ্ছ অংশ রেখা ছিদ্রের মত কাজ করে। কোন কোন গ্রেটিংয়ের ক্ষেত্রে অঙ্কিত রেখার জন্য প্রতি সংখ্যা প্রতি সেন্টিমিটারে 6000—8000 পর্যন্ত হয়।

সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং দ্বারা অপবর্তন (Diffraction by a plane transmission grating):

চিত্রে, ABCDR- হল একটি প্লেন নিঃসরণ গ্রেটিং এর ছেদ যার প্রত্যেক স্বচ্ছ রন্ধ্রের প্রস্থ a এবং অস্বচ্ছ অংশের প্রস্থ b; $(a+b)$ কে গ্রেটিংয়ের উপাদান (grating element) বলে। A ও C বিন্দু অথবা B ও D বিন্দুকে পরস্পরের অনুরূপ বিন্দু বলে।



যদি একটি সমতল তরঙ্গমুখ লম্বভাবে গ্রেটিংয়ের সমতলে আপতিত হয় তবে বেশিরভাগ রশ্মি সোজা O-বিন্দুতে একত্রিত হয়ে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু (central maxima) উৎপন্ন করে, কারণ এক্ষেত্রে, তরঙ্গগুলির কোন দশা পার্থক্য থাকে না। কিন্তু অপবর্তন ধর্মের জন্য তরঙ্গমুখের কিছু অংশ প্রান্তিক রন্ধ্র অতিক্রম করার সময় অপবর্তিত হয়। এই অপবর্তিত রশ্মিগুলি সমদশায় থাকে না, তাদের পথ-পার্থক্য থাকে ফলে একটি উত্তল লেন্স দ্বারা XY পর্দায় এ তরঙ্গগুলিকে একত্রিত করলে (P বিন্দুতে) তা উজ্জ্বল বিন্দু বা কৃষ্ণ বিন্দু উৎপন্ন করবে — ইহা নির্ভর করবে পথ পার্থক্যের উপর।

তরঙ্গমুখ AKLMN তল অতিক্রম করার পূর্বে পর্যন্ত বিভিন্ন দশায় থাকবে, কিন্তু ইহা অতিক্রম করলে বিভিন্ন দশায় চলে যাবে।

A ও C এই অনুরূপ বিন্দুগুলি হতে নির্গত আলোক তরঙ্গের পথ পার্থক্য হল

$CL = AC\sin\theta = (a+b)\sin\theta$

আবার, B ও D - অনুরূপ বিন্দুগুলি হতে নির্গত আলোক তরঙ্গের পথ পার্থক্য হল;

$DM = AD\sin\theta - a\sin\theta = (a+b+a)\sin\theta - a\sin\theta = (a+b)\sin\theta$

$\therefore$ যে কোন দুটি অনুরূপ বিন্দুর পথ পার্থক্য $= (a+b)\sin\theta$

চরম বিন্দু (maxima): P - বিন্দুতে nth চরম বিন্দু হওয়ার শর্ত হল,

$$(a+b)\sin\theta_n = n\lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \cdots)$$

$\therefore$ $n=0$ বসালে, কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু (central maxima) পাওয়া যায়।

এখন, $n=1$ হলে, $(a+b)\sin\theta_1 = \lambda$ → প্রথম চরমবিন্দু

$n=2$ " $(a+b)\sin\theta_2 = 2\lambda$ → দ্বিতীয় "

$n=3$ " $(a+b)\sin\theta_3 = 3\lambda$ → তৃতীয় " ইত্যাদি।

– এই সকল বিন্দুকে মুখ্য চরম বিন্দু বলে।

অবম বিন্দু (minima):

P - তে nth অবম বিন্দু হওয়ার শর্ত হল;

$$(a+b)\sin\theta_n' = (2n+1)\lambda/2 \quad (\theta_n' = \text{অপবর্তন কোণ})$$

$\therefore$ $n=0$ হলে $(a+b)\sin\theta_0' = \lambda/2$

$n=1$ " $(a+b)\sin\theta_2' = \frac{3}{2}\lambda/2$ ইত্যাদি।

$n=2$ " $(a+b)\sin\theta_3' = 5/_2\,\lambda/_2$ "

অর্থাৎ প্রত্যেক, দুটি অপবর্তন অবম বিন্দুর মাঝে একটি চরম বিন্দু থাকে। চরম বিন্দুগুলি কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর চারদিকে অবস্থান করে। কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু সহ অন্যান্য চরম বিন্দুগুলিকে অপবর্তন বর্ণালী বলে। $n=1, 2, 3$ ইত্যাদি বসালে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয় তৃতীয় ইত্যাদি পর্যায়ের বর্ণালী পাওয়া যায়।

এখন nth বর্ণালীর ক্ষেত্রে $(a+b)\sin\theta_n = n\lambda$

$$\Rightarrow \sin\theta = \frac{n\lambda}{a+b} = Nn\lambda \quad \text{--- (1)}$$

যেখানে, $N = \frac{1}{a+b}$ কে বলা হয় গ্রেটিং-এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা (no. of rulings per centimeter).

গৌণ চরম ও অবম বিন্দু (secondary maxima or minima):

গ্রেটিং সৃষ্ট অপবর্তন বর্ণালীতে মুখ্য চরম ও অবম বিন্দু ছাড়াও আরও একদল চরম ও অবম বিন্দু পাওয়া যায়। যাদের ঔজ্জ্বল্য মুখ্য চরম ও অবম বিন্দুর থেকে কম হলে এবং সাধারণত অন্ধকারাচ্ছন্ন হয়ে থাকে। এই প্রকার চরম ও অবম বিন্দুগুলিকে গৌন চরম ও অবম বিন্দু বলে।

অপবর্তন গ্রেটিং-এর সাহায্যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় (Determination of wave length by a diffraction grating):

n তম পর্যায়ের বর্ণালীর অপবর্তন কোন θ_n হলে, চরম বিন্দু গঠিত হওয়ার শর্ত হল: $(a+b)\sin\theta_n = n\lambda$

$$\therefore \lambda = \frac{(a+b)\sin\theta_n}{n}$$

$$\boxed{\lambda = \frac{\sin\theta_n}{Nn}}$$

যেখানে, $N = \frac{1}{a+b}$ = প্রতি সেন্টিমিটারে রেখার সংখ্যা,

উপরোক্ত সমীকরণে, বর্ণালীর পর্যায়সংখ্যা (n), অপবর্তন কোন θ_n এবং N - জানা থাকলে, আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যাবে।

অপবর্তন গ্রেটিং দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালীতে সর্বাধিক পর্যায় সংখ্যা:

কোন অপবর্তন গ্রেটিং দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালীর পর্যায়সংখ্যা n, অপবর্তন কোণ θ_n, অপবর্তিত তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ, গ্রেটিং-এর উপাদান $(a+b)$ হলে, চরম বিন্দুর জন্য,

$$(a+b)\sin\theta_n = n\lambda$$

$$\therefore n = \frac{(a+b)\sin\theta_n}{\lambda} \quad \text{--- (I)}$$

এখন, n-এর মান সর্বোচ্চ হবে যদি $\theta = 90°$ হয় এবং সেক্ষেত্রে,

$$n = \frac{(a+b)}{\lambda} = \frac{1}{N\lambda} \qquad N = \text{no. of rulings per cm.}$$

Example: $N = 2000$, $\lambda = 6000 Å$ হলে, $n = \frac{1}{2000 \times 6000 \times 10^{-8}} \approx 8$

গ্রেটিং-এর অনুপস্থিত / নিরুদ্দিষ্ট বর্ণালী:

গ্রেটিং যে বর্ণালী উৎপন্ন করে তাতে অনেক সময় দেখা যায় যে, কোন কোন বিন্দু চরম বিন্দুর শর্ত পালন করা সত্ত্বেও দেখা যায় না। এই ধরনের বিন্দুকে অনুপস্থিত বিন্দু এবং বর্ণালী রেখাকে অনুপস্থিত বর্ণালী বা নিরুদ্দিষ্ট বর্ণালী বলে।

গ্রেটিং-এর ক্ষেত্রে, n তম বিন্দু চরম হওয়ার শর্ত হল,

$$(a+b)\sin\theta_n = n\lambda \quad \text{--- (I)} \qquad n = \text{অখণ্ড সংখ্যা}$$

এখন, n তম বিন্দু অবম হওয়ার শর্ত, $a\sin\theta_n' = p\lambda$ $\qquad p = $ " "

এখন, এই দুটি শর্ত একই সাথে পালিত হলে n th বর্ণালী অনুপস্থিত থাকবে।

$\therefore$ সেক্ষেত্রে, $\theta_n' = \theta_n$ হবে,

$$\therefore \frac{n\lambda}{a+b} = \frac{p\lambda}{a} \text{ হবে,}$$

$$\Rightarrow \frac{a+b}{a} = \frac{n}{p}$$

এখন, $a = b$ হলে, $\frac{n}{p} = \frac{2}{1} = \frac{2}{1}, \frac{4}{2}, \frac{6}{3}, \frac{8}{4}, \ldots$ ইত্যাদি।

$\therefore$ $p = 1, 2, 3, 4$ ইত্যাদি হলে,
$n = 2, 4, 6, 8$ ইত্যাদি হবে, } এই অবস্থায় 2nd, 4th, 6th etc. যুগ্ম পর্যায়ের বর্ণালীই অনুপস্থিত থাকবে,

আবার, $b = 2a$ হলে, $\frac{n}{p} = \frac{3}{1}$; $\therefore p = 1, 2, 3, 4 \ldots$ ইত্যাদি হলে,
$n = 3, 6, 9, 12, \ldots$ " হবে,

অর্থাৎ সেক্ষেত্রে, 3rd, 6th, 9th ইত্যাদি বর্ণালী রেখা অনুপস্থিত থাকবে।

গ্রেটিং-এর বিচ্ছুরণ ক্ষমতা (Dispersive power of grating):

অপবর্তন গ্রেটিং-এ একবর্ণী আলোর পরিবর্তে সাদা বর্ণের আলো ব্যবহার করলে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু সাদা হবে, কিন্তু অন্যান্য পর্যায়গুলিতে সাতটি বর্ণ বিভক্ত হয়ে যাবে। লাল বর্ণের বর্ণালীর দূরত্ব সর্বাধিক হবে এবং বেগুনীর দূরত্ব কম হবে।

nth বর্ণালীর ক্ষেত্রে $\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a+b}$ $\therefore \theta_n \propto \lambda$ —— (1)

এখন, যদি λ পরিবর্তিত হয়ে $\lambda+d\lambda$ হলে অপবর্তন কোণ θ থেকে পরিবর্তিত হয়ে $\theta+d\theta$ হয় তবে, $\frac{d\theta}{d\lambda}$ কে গ্রেটিং-এর বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

এখন, (1) নং সমীকরণ থেকে পাই, $\cos\theta_n d\theta = \frac{n\,d\lambda}{a+b} = Nn\,d\lambda$ $\left(N=\frac{1}{a+b}\right.$ no. of rulings/cm$\left.\right)$

$\therefore \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{Nn}{\cos\theta_n}$ $\therefore \frac{d\theta}{d\lambda} \propto n$ অর্থাৎ বর্ণালীর পর্যায় সংখ্যার বৃদ্ধির সাথে বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

$\frac{d\theta}{d\lambda} \propto N$, অর্থাৎ একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যার বৃদ্ধির সাথে গ্রেটিং-এর বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

$\frac{d\theta}{d\lambda} \propto \frac{1}{\cos\theta}$; $\therefore \theta = 0$ হলে বিচ্ছুরণ ক্ষমতা সর্বনিম্ন হয়।

গ্রেটিং-বর্ণালী এবং প্রিজম বর্ণালীর তুলনা (comparison between grating spectrum and prism spectrum):

I). প্রিজম একটি মাত্র বর্ণালী উৎপন্ন করে, কিন্তু গ্রেটিং কেন্দ্রীয় চরমবিন্দুর উভয় পার্শ্বে একাধিক বর্ণালী উৎপন্ন করে। প্রিজম বর্ণালীতে লাল বর্ণের বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হয় এবং বেগুনী বর্ণের ~~বর্ণ~~ বিচ্যুতি সর্বাধিক হয়, কিন্তু গ্রেটিং-এর ক্ষেত্রে বিপরীত ঘটনা ঘটে।

II. প্রিজমের ক্ষেত্রে $\theta \propto \lambda$ নয়, ফলে প্রিজম বর্ণালীতে লাল থেকে বেগুনী বর্ণের দিকে অগ্রসর হলে কৌণিক ব্যবধান বৃদ্ধি পায়, এই কারণে প্রিজম বর্ণালীকে অমূলদ বর্ণালী বলে, গ্রেটিং-এর বর্ণালীকে মূলদ বর্ণালী বলা হয় কারণ এক্ষেত্রে $\theta \propto \lambda$।

III. প্রিজম বর্ণালী প্রিজমের উপাদানের উপর নির্ভর করে। এই জন্য দুটি বিভিন্ন উপাদানের প্রিজমের ক্ষেত্রে সাদা আলোর বর্ণালীর বিভিন্নতা লক্ষ্য করা যায়। গ্রেটিং-এর বর্ণালী উহার উপাদানের উপর নির্ভর করে না, প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখা সংখ্যা সমান থাকলে বিভিন্ন উপাদানের গ্রেটিং-এর বর্ণালীর সাদৃশ্য

দেখা যায়।

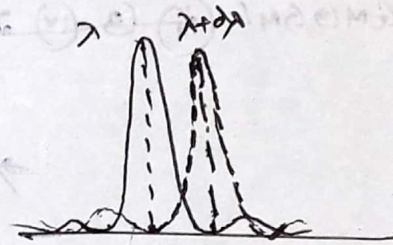
(iv) প্রিজম বর্ণালীর উজ্জ্বলতা গ্রেটিং বর্ণালী অপেক্ষা বেশি,

(v) প্রিজমের বিশ্লেষণী ক্ষমতা গ্রেটিং থেকে কম।

অপবর্তন গ্রেটিং এর বিশ্লেষণী ক্ষমতা (Resolving power of a diffraction grating)

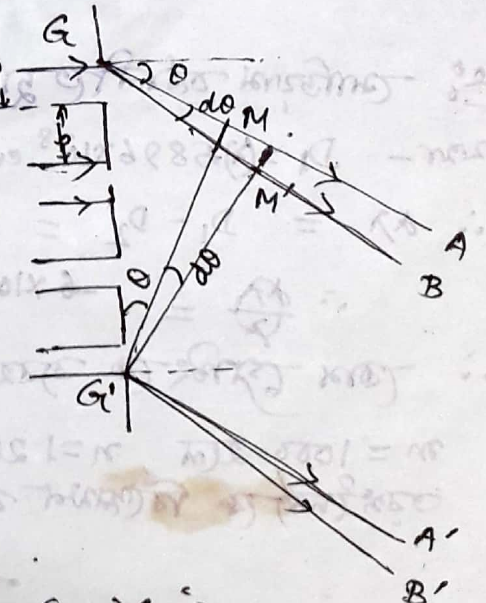
যে সকল ~~বর্ণালী~~ যন্ত্র আলো তথা বর্ণালীর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বিশ্লেষণ করে; যেমন, অপবর্তন গ্রেটিং, প্রিজম বর্ণালীবীক্ষণ ইত্যাদি, তাদের ক্ষেত্রে, দুটি কাছাকাছি বর্ণালী রেখার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ এবং $\lambda+d\lambda$ হলে $\frac{\lambda}{d\lambda}$ কে ঐ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে।

র‍্যালে নির্ণায়ক অনুযায়ী, অপবর্তন গ্রেটিং কাছাকাছি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ এবং $\lambda+d\lambda$ -কে মাত্র পৃথক বর্ণালী রেখা হিসাবে চিহ্নিত করবে যদি কোন নির্দিষ্ট পর্যায়ে একটির চরম বিন্দু অপরটির অবম বিন্দুর উপর উপরিপাতিত হয়।



$\therefore$ এক্ষেত্রে বিশ্লেষণী ক্ষমতা = $\boxed{\frac{d\lambda}{\lambda}}$

GG' - একটি অপবর্তন গ্রেটিং এর কার্যকরী অংশ। যার রেখার সংখ্যা = m, উপাদান = $a+b$, ধরি, nth চরম বিন্দু গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় অপবর্তন কোণ = θ. এখন, গ্রেটিং এর কার্যকর অংশের দুই প্রান্ত G ও G' হতে আলোর অপবর্তিত হলে, তাদের পথ পার্থক্য হবে



$$GM = GG' \sin\theta$$

$$\Rightarrow GM = m(a+b)\sin\theta \longrightarrow (i)$$

এখন, আমরা জানি, $(a+b)\sin\theta = n\lambda$

গ্রেটিং দুটি অনুরূপ বিন্দুর পথ পার্থক্য = $(a+b)\sin\theta$

চরম বিন্দুর জন্য পথপার্থক্য = $n\lambda$।

$$\therefore GM = mn\lambda \longrightarrow (ii)$$

ধরি, θ-কোনকে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করে $(\theta+d\theta)$ করা হল যাতে অপবর্তিত আলো GB ও GB' পরস্পর ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের মাধ্যমে প্রথম যে গৌণ অবম বিন্দু গঠন করল। এই রশ্মি দুটির পথপার্থক্য = GM' অবশ্য GM' > GM হবে, কারণ, গ্রেটিং উর্ধ্বতম বিন্দু G এবং মধ্যবিন্দুর মধ্যে $\lambda/2$ এবং নিম্ন বিন্দু ও মধ্যবিন্দুর মধ্যে $\lambda/2$ অর্থাৎ মোট λ পথ পার্থক্য সৃষ্টি হবে।

$$\therefore \text{এক্ষেত্রে } GM' = GM+\lambda = mn\lambda+\lambda = (mn+1)\lambda \quad \text{—— (iii)}$$

আবার, GB এবং GB' রশ্মিদুটি $(\lambda+d\lambda)$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে nth চরম বিন্দু গঠন করলে,

$$GM' = GM' \sin(\theta+d\theta)$$
$$= m(a+b)\sin(\theta+d\theta) \text{ হবে।}$$

$$\therefore m(a+b)\sin(\theta+d\theta) = mn(\lambda+d\lambda) \text{ হবে।}$$

$$\therefore (a+b)\sin(\theta+d\theta) = n(\lambda+d\lambda) \quad \text{—— (iv)}$$

এখন, র‍্যালে নির্ণায়ক অনুযায়ী, λ এবং $\lambda+d\lambda$ তরঙ্গদ্বয়কে বিশ্লেষণ করতে হলে, GM' (iii) ও (iv) নং সমীকরণ সমান হতে হবে অর্থাৎ,

$$mn(\lambda+d\lambda) = (mn+1)\lambda$$
$$\Rightarrow mn\lambda + mnd\lambda = mn\lambda+\lambda$$
$$\Rightarrow \boxed{\frac{\lambda}{d\lambda} = mn}$$ = গ্রেটিং এর রেখাসংখ্যা × বর্ণালীর পর্যায় সংখ্যা

<u>Example:</u> সোডিয়াম বর্ণালীতে দুটি কাছাকাছি তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায়, যথা— $D_1 = (\lambda) = 5896\times10^{-8}$ cm এবং $D_2 = 5890\times10^{-8}$ cm $= (\lambda+d\lambda)$

$$\therefore d\lambda = D_1 - D_2 = 6\times10^{-8}$$

$$\therefore \frac{\lambda}{d\lambda} = \frac{5890\times10^{-8}}{6\times10^{-8}} \approx 1000$$

∴ কোন গ্রেটিং কে ব্যবহার করলে তার ক্ষেত্রে $mn = 1000$ হতে হবে, $m = 1000$ হলে, $n=1$ হবে, অর্থাৎ প্রথম পর্যায়েই গ্রেটিং টি এই দুটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে বিশ্লেষণ করতে পারবে।