পদার্থবিজ্ঞান [আলোর ব্যতিচার (Interference of light)]

ড. তিলক নারায়ণ ঘোষ

[বিভাগীয় প্রধান, ইলেকট্রনিক্স বিভাগ, মেদিনীপুর কলেজ(স্বশাসিত)]

Syllabus: Division of amplitude and division of wavefront. Young's Double Slit experiment. Lloyd's Mirror and Fresnel's Biprism. Phase change on reflection: Stokes' treatment. Interference in Thin Films: parallel and wedge-shaped films. Fringes of equal inclination (Haidinger Fringes); Fringes of equal thickness (Fizeau Fringes). Newton's Rings: measurement of wavelength and refractive index.

আলোর ব্যতিচার কাকে বলে? দুইটি আলোক উৎস থেকে আগত তরঙ্গগুলির উপরিপাতনের ফলে কোন বিন্দুতে আলোর প্রাবল্যের রাশিমালা প্রতিষ্ঠা কর। অতঃপর গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্তগুলি নির্ণয় কর।

আলোর ব্যতিচার — যদি সমকম্পাঙ্ক এবং সমান বা প্রায় সমান বিস্তারের দুটি আলোকতরঙ্গ একই মাধ্যমে চলতে চলতে একে অপরের উপর আপতিত হয়, তখন দেখা যায় যে উপরিপাতের ফলে নির্দিষ্ট সময়ে ও স্থানে ওরা পরস্পরকে পুরোপুরি বা আংশিকভাবে ধ্বংস করে দেয় এবং অন্য সময়ে ও স্থানে ওরা পরস্পরের শক্তি বৃদ্ধি করে প্রবলতর আলোড়ন সৃষ্টি করে। এই ঘটনাকে ব্যতিচার বলে। একই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ দুইটি উৎস থেকে সমদশায় বা কোন নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যে নির্গত হলে তাদের সুসঙ্গত উৎস বলে। ব্যতিচার সৃষ্টির জন্য দুটি সুসঙ্গত উৎসের প্রয়োজন হয়ে থাকে।

মনে করি দুইটি তরঙ্গের সরণ যথাক্রমে

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_1) \; ; \qquad y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}\{ct - (x + \delta)\}$$

এখানে δ = তরঙ্গ দুইটির পথে দশা পার্থক্য

উপরিপাতের নীতি অনুযায়ী $y = y_1 + y_2$

$$= a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x) + a \sin \frac{2\pi}{\lambda}\{ct - (x + \delta)\}$$

$$= 2a \cos \frac{\pi\delta}{\lambda} \sin \frac{2\pi}{\lambda}\left[ct - \left(x + \frac{\delta}{2}\right)\right] \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

(1) থেকে লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার $= 2a \cos \frac{\pi\delta}{2}$

যখন $\delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \ldots\ldots (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$

তখন $2a\cos\frac{\pi\delta}{2} = 0$

অর্থাৎ লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার ন্যূনতম (শূন্য) হবে।

যে সকল বিন্দুতে দুই তরঙ্গের পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$-এর অযুগ্ম গুণিতক সেই সকল বিন্দুতে আলোকের তীব্রতা শূন্য বা সেই সকল বিন্দু অন্ধকার বিন্দু। ঐ সকল বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার করে।

অতএব, ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হল $\delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \ldots\ldots (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

যেখানে $n = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots$ ইত্যাদি।

আবার, যখন $\delta = 0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2} \ldots\ldots 2\pi\frac{n\lambda}{2}$

তখন $2a\cos\frac{\pi\delta}{2} = 2a$ অর্থাৎ বিস্তার বৃহত্তম হবে।

অর্থাৎ, যেসব বিন্দুতে তরঙ্গ দুটির পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর যুগ্ম গুণিতক সেই বিন্দুগুলি পর্দার উপর উজ্জ্বল বিন্দু সৃষ্টি করে।

সুতরাং, গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল $\delta = 0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2} \ldots\ldots 2\pi\frac{n\lambda}{2}$

যেখানে, $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$ ইত্যাদি।

কোন বিন্দুতে আলোর প্রাবল্যের রাশিমালা ঃ- পর্দার উপরে যে কোন বিন্দুতে আলোক প্রাবল্য, $I = KA^2 = K\left(2a\cos\frac{\pi\delta}{\lambda}\right)^2 = 4Ka^2\cos^2\frac{\pi\delta}{\lambda} = I_0\cos^2\phi$;

যেখানে, A = লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার ; $\phi = \pi\delta/\lambda$.

ব্যতিচার সৃষ্টিকারী তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার সমান না হলে কি ঘটনা ঘটবে ?

ব্যতিচার সৃষ্টিকারী উৎসদ্বয়ের বিস্তার সমান না হলে, উজ্জ্বল বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য একটু কম হবে এবং অন্ধকার বিন্দু সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে না। তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার a এবং b হলে $(a > b)$ উজ্জ্বল বিন্দুর তীব্রতা হবে $(a+b)^2 < (2a)^2$ এবং অন্ধকার বিন্দুর তীব্রতা হবে $(a-b)^2 > 0$

দুটির অধিক সুসংগত উৎস দ্বারা কি ব্যতিচার পটি গঠন করা কী সম্ভব ?

দুটির অধিক সুসংগত উৎস ব্যবহার করলে, প্রতি জোড়া উৎস নিজস্ব ব্যতিচার ঝালর গঠন করবে কিন্তু সমস্ত ঝালরগুলি উপরিপন্ন হয়ে বিশেষ কোন ব্যতিচার পটি দেখা যাবে না।

গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্বক ব্যতিচার কাকে বলে ?

. দুটি সুসংগত উৎস থেকে আগত আলোকতরঙ্গ তাদের যাত্রাপথের যে সকল বিন্দুতে বিপরীত দশায় উপরিপন্ন হয়, সেসব বিন্দুতে আলোর তীব্রতা হয় শূন্য। উক্ত বিন্দুগুলিতে তরঙ্গদ্বয় পরস্পরের সঙ্গে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার ঘটায় এবং বিন্দুগুলি অন্ধকারাচ্ছন্ন হয়। আবার যেসব বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় সমদশায় উপরিপন্ন হয়, সেইসব বিন্দুতে আলোর তীব্রতা হয় সর্বাধিক। উক্ত বিন্দুগুলিতে তরঙ্গদ্বয় পরস্পরের সঙ্গে গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটায় এবং বিন্দুগুলিকে খুব উজ্জ্বল করে।

দেখাও যে ব্যতিচার ঘটনায় শক্তির সৃষ্টি বা ধ্বংস কোনটাই হয় না ; শক্তির সংরক্ষণ হয়।

দুটি আলোক-তরঙ্গের ব্যতিচারে যখন অন্ধকার বিন্দু সৃষ্টি হয় তখন আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় যেন একটি তরঙ্গের আলোকশক্তি অপর তরঙ্গের আলোকশক্তি দ্বারা সম্পূর্ণরূপে বিনষ্ট হল। কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ নীতি অনুযায়ী, আমরা কোন শক্তি বিনষ্ট করতে পারি না বা কোন নতুন শক্তি সৃষ্টি করতে পারি না। তা হলে অন্ধকার বিন্দুগুলিতে যে আলোকশক্তি থাকার কথা, তার কি হল ? আলোর ব্যতিচার কি অলঙ্ঘনীয় শক্তির সংরক্ষণ নীতিকে লঙ্ঘন করে ? এই প্রশ্নের উত্তর এই যে আলোর ব্যতিচার উক্ত নীতির ব্যতিক্রম নয়। অন্ধকার বিন্দুতে যে শক্তি থাকার কথা, তা উজ্জ্বল বিন্দুগুলিতে স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং ব্যতিচার শক্তির স্থানান্তরণের দৃষ্টান্ত— শক্তি ধ্বংসের নয়। এটা নিম্নলিখিত বিবরণ থেকে বোঝা যাবে।

মনে কর, আমরা ব্যতিচার পটি (interference band)-এর দুটি উজ্জ্বল বিন্দু এবং দুটি অন্ধকার বিন্দু— মোট চারিটি বিন্দুর কথা বিবেচনা করছি। প্রতি উজ্জ্বল বিন্দুতে কণার লব্ধ সরণ $= 2a$; হলে প্রতি উজ্জ্বল বিন্দুতে আলোর তীব্রতা (আলোকশক্তি) $\propto 4a^2$ সুতরাং দুটি উজ্জ্বল বিন্দুর মোট আলোকশক্তি $= k \times 2 \times 4a^2 = 8ka^2$ [k = আনুপাতিক ধ্রুবরাশি]

দুটি অন্ধকার বিন্দুর মোট আলোকশক্তি $= 0$

অতএব, চারটি বিন্দুর মোট শক্তি $= 8ka^2 + 0 = 8ka^2$

এখন, ব্যতিচারী তরঙ্গদ্বয় যুগপৎ না অগ্রসর হয়ে যদি পৃথক পৃথক ভাবে অগ্রসর হয় তবে উক্ত চারটি বিন্দুই আলোকিত হবে। কারণ, এখন আর ব্যতিচার হবে না। প্রতি বিন্দুতে প্রতি তরঙ্গের দরুন সরণ $= a$ অতএব প্রতি বিন্দুতে আলোর তীব্রতা (অথবা আলোকশক্তি) $\propto a^2$; চারটি বিন্দুতে একটি তরঙ্গের দরুন আলোকশক্তি $= 4ka^2$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় তরঙ্গের দরুন চারটি বিন্দুর আলোকশক্তি $= 4ka^2$

$\therefore$ চারটি বিন্দুর মোট শক্তি $= 4ka^2 + 4ka^2 = 8ka^2$

কাজেই, দেখা যাচ্ছে মোট আলোকশক্তি অপরিবর্তিত থাকছে। অর্থাৎ, শক্তির সংরক্ষণ নীতি মেনে চলা হয়েছে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার কি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙঘন করে? **[Tripura U. 1998]**

ধ্বংসাত্মক ব্যাতচার ঘটনা শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘন করে না। ব্যতিচার ঝালরে যে অন্ধকার পটি সৃষ্টি হয় যেখানে শক্তির বিনাশ হয় না। ঐ স্থান থেকে শক্তি নিকটবর্তী উজ্জ্বল পটিতে স্থানান্তরিত হয় মাত্র। প্রমাণ করা যায়, অন্ধকার ও উজ্জ্বল পটিতে আলোর গড় তীব্রতা সুষমভাবে আলোকিত অংশের তীব্রতার সমান।

সাদা আলো কি ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে ?

হ্যাঁ পারে ; তবে এক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পটি (central fringe) সাদা হবে এবং অনান্য পটি রঙিন হবে।

কিভাবে দুটি সুসংগত আলোক উৎস তৈরি করা যায় ? তরঙ্গমুখ বিভাজন পদ্ধতি বিস্তার বিভাজন পদ্ধতি বলতে কি বোঝায় ?

নিম্নলিখিত বিভিন্ন পদ্ধতিতে দুটি সুসংগত আলোক উৎস তৈরি করা যায় ঃ

(i) একটি আলোক উদ্ভাসিত (illuminated) সরু রেখাছিদ্র এবং প্রতিফলনের সাহায্যে তার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি দ্বারা,

(ii) প্রতিসরণের সাহায্যে একই উৎসের (আলোক উদ্ভাসিত সরু রেখাছিদ্র) দুটি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি দ্বারা,

(iii) তরঙ্গের বিস্তারের বিভাজন দ্বারা। এই পদ্ধতিতে একটি রশ্মি এবং তার প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত অংশের ভিতর ব্যতিচার ঘটানো হয়।

তরঙ্গমুখ বিভাজন পদ্ধতি (Division of wave front) ঃ এই পদ্ধতিতে একটি বিন্দু-উৎস অথবা একটি সরু রেখা উৎস নেওয়া হয়। বিন্দু-উৎস থেকে গোলীয় তরঙ্গমুখ এবং রেখা উৎস থেকে চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ উৎপন্ন হয়। গোলীয় তরঙ্গমুখ বা চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখের যে-কোনো দুটি বিন্দুকে সুসংগত উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

সুসংগত উৎস গঠনের এই পদ্ধতি যে-সকল ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়েছে সেগুলি হল ঃ (i) লয়েডের একক দর্পণ (Lloyd's single mirror), (ii) ফ্রেনেলের যুগ্ম-প্রিজম (Frenel's bi-prism), iii) অপবর্তন গ্রেটিং (diffraction grating)।

(i) লয়েডের একক দর্পণ পরীক্ষায় একটি সরু আলোকিত ছিদ্র এবং প্রতিফলনের সাহায্যে উৎপন্ন এর অসদ্ প্রতিবিম্ব দুটি সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করে।

(ii) ফ্রেনেলের যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় একটি সরু আলোকিত ছিদ্রের প্রতিসরণের সাহায্যে দুটি অসদ্ প্রতিবিম্ব দুটি সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করে।

বিস্তার বিভাজন পদ্ধতি (Division of Amplitude method) ঃ এই পদ্ধতিতে একটি প্রশস্ত আলোক-উৎস প্রয়োজন হয়। এক্ষেত্রে একটি তরঙ্গের বিস্তারকে প্রতিফলন, প্রতিসরণ বা উভয় প্রকার পদ্ধতির সাহায্যে বিভাজিত করে দুটি সুসংগত আলোক-উৎস গঠন করা হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে একটি রশ্মি এবং এর প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত উপাংশের সঙ্গে ব্যতিচার ঘটানো হয় অথবা একটি রশ্মির দুটি প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত উপাংশের মধ্যে ব্যতিচার ঘটে।

সুসংগত উৎস গঠনের এই পদ্ধতি যে-সকল ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়েছে সেগুলি হল ঃ নিউটন রিং

দীর্ঘস্থায়ী ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করার প্রয়োজনীয় শর্তগুলি উল্লেখ কর।

[N.B.U. 2001 ; Vid.U. 2002 ;C.U. 1998, 2008]

স্থায়ী ব্যতিচারের জন্য নিম্নলিখিত শর্তাবলী পূরণ করা প্রয়োজন।

(i) উৎসদ্বয় নিরন্তর সমদৈর্ঘ্যের এবং সমবিস্তারের তরঙ্গ প্রেরণ করবে,

(ii) উৎসদ্বয় থেকে নির্গত তরঙ্গদ্বয় পারস্পরিক দশা সম্পর্ক সর্বক্ষণের জন্য বজায় রাখবে,

(iii) উৎসদ্বয় খুব কাছাকাছি থাকবে,

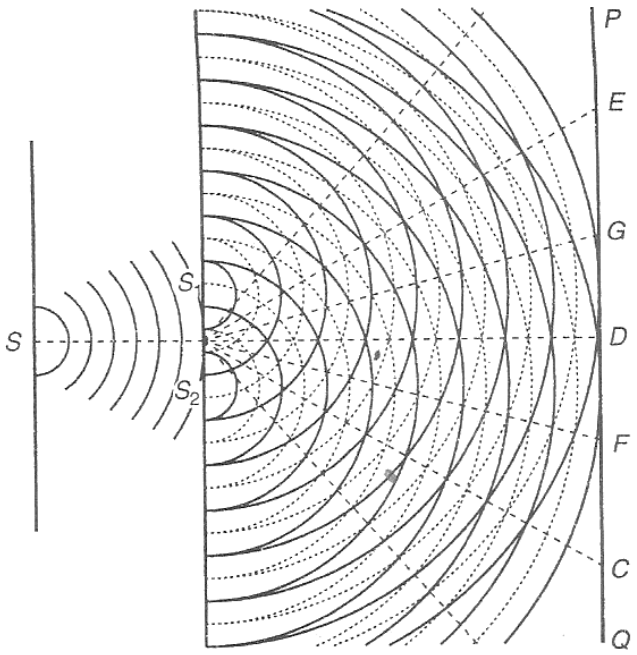
(iv) অন্ধকার বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\lambda/2$-এর অযুগ্ম গুণিতক এবং উজ্জ্বল বিন্দুতে $\lambda/2$ এর যুগ্ম গুণিতক হবে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে দশা পার্থক্য এবং পথ-পার্থক্যের মান কত ? [C.U. 2008]

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে পথ-পার্থক্য $\delta = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ এবং দশা-পার্থক্য $= \frac{\pi}{2}$ হবে।

আলোর ব্যতিচার সম্পর্কে ইয়ং-এর পরীক্ষা (Young's Experiment on Interference of Light)

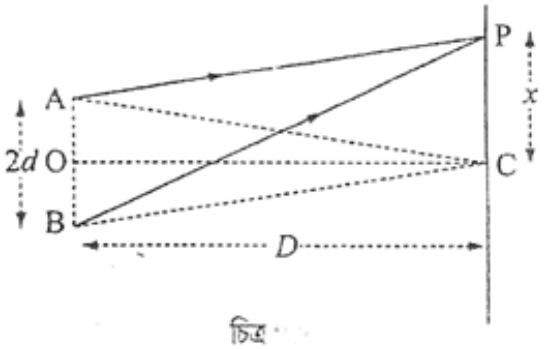
S একটি সরু রেখাছিদ্র কাগজের তলের অভিলম্বভাবে রাখা আছে। S_1 ও S_2 অপর দুইটি রেখাছিদ্র S রেখাছিদ্রের সমান্তরাল এবং পরস্পরের খুব কাছাকাছি। ধরা যাক, সূর্য হতে আগত সাদা রশ্মি S-এর ভিতর দিয়ে প্রবেশ করে S_1 ও S_2-এর উপর পড়ল। রেখাছিদ্র S_1 ও S_2-এর ভিতর দিয়ে যাওয়ার ফলে আলোক তরঙ্গ দুই ভাগে বিভক্ত হল এবং মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হওয়ার সময় ব্যতিচার গঠন করল। PQ অবস্থানে একটি পর্দা রেখে ইয়ং পর্দার উপর C, F, D ইত্যাদি ব্যতিচার পটি (interference bands) দেখতে পান। সূর্যের আলো সাদা বলে এই পটি বিশেষ বর্ণবিশিষ্ট হয়।



সাদা সূর্য রশ্মির পরিবর্তে যদি একবর্ণের আলো নেওয়া হয় তবে একান্তরভাবে উজ্জ্বল এবং অন্ধকার বিন্দু দেখা যাবে। কিন্তু S_1 বা S_2 যে কোন একটি রেখাছিদ্র বন্ধ করে দিলে ব্যতিচার পটি আর দেখা যায় না। এইরূপে ইয়ং সর্বপ্রথম আলোর ব্যতিচার প্রদর্শন করেন এবং ইহার তরঙ্গ প্রকৃতি প্রমাণ করেন।

দুটি সুসংগত উৎস কর্তৃক সৃষ্ট ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থের (fringe width)-এর রাশিমালা নির্ধারণ কর। **[Vid. U. 2000 ; K.U. 1999]**

ধর, A এবং B দুটি একবর্ণী সুসঙ্গত উৎস। উৎসদ্বয় থেকে নিরন্তর সমদৈর্ঘ্য, সমবিস্তার এবং সমদশাসম্পন্ন তরঙ্গমালা নির্গত হয়ে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। তরঙ্গমালার পথে এবং কাগজের তলের লম্বভাবে একটি পর্দা রাখলে, ঐ পর্দা সমভাবে আলোকোজ্জ্বল হবে না। পর্দায় একান্তরভাবে উজ্জ্বল এবং অন্ধকার পটি অথবা কৃষ্ণপটি (dark band) দেখা যাবে, কারণ, কোন কোন বিন্দুতে তরঙ্গমালা সমদশায়— আবার কোন কোন বিন্দুতে বিপরীত দশায় উপস্থিত হয়ে গঠনমূলক এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি করবে। পর্দার উপরকার উজ্জ্বল এবং কৃষ্ণপটিগুলিকে একসঙ্গে ব্যতিচার ঝালর (interference fringe) বলা হয় [চিত্র . .]।



চিত্র

AB দূরত্বের মধ্যবিন্দু O থেকে পর্দার উপর OC লম্ব টান। ধর, AB = $2d$ এবং OC = D

একথা সহজে বোঝা যায় যে, A এবং B বিন্দু থেকে C বিন্দুর দূরত্ব সমান বলে উৎসদ্বয় থেকে তরঙ্গমালা সমদশা নিয়ে যাত্রা শুরু করে C বিন্দুতে সমদশাতেই উপস্থিত হবে, কারণ, তারা সমান দূরত্ব অতিক্রম করল। অতএব, C বিন্দুর বিস্তার অথবা আলোর তীব্রতা হবে সর্বাধিক। একে বলা হয় কেন্দ্রীয় চরমবিন্দু (central maximum)।

এখন পর্দার উপর আর একটি বিন্দু P নেওয়া হল। ধর, PC = x ; AP এবং BP যোগ কর। যেহেতু এই দুই পথের দৈর্ঘ্য সমান নয়, সেইহেতু, তরঙ্গমালা P বিন্দুতে পৌঁছালে তাদের দশা পৃথক হবে। সুতরাং P বিন্দু উজ্জ্বল হবে কি অন্ধকার হবে তা নির্ভর করবে এই পথ পার্থক্যের উপর।

এখন, $BP^2 = D^2 + (x + d)^2$ এবং $AP^2 = D^2 + (x - d)^2$

অতএব, $BP^2 = (x + d)^2 - (x - d)^2 = 4dx$

$$\therefore BP - AP = \frac{4d \cdot x}{BP + AP} = \frac{4d \cdot x}{2D} = \frac{2d \cdot x}{D}$$

[d-এর তুলনায় D অনেক বড় বলে BP = AP = D (প্রায়) ধরা যেতে পারে]

সুতরাং P বিন্দুতে উপস্থিত হলে, তরঙ্গদ্বয়ের পথ-পার্থক্য

$$\delta = BP - AP = \frac{2d \cdot x}{D}$$

আমরা জানি উজ্জ্বল বিন্দুর শর্ত হল, $\delta = 2n\frac{\lambda}{2}$ হতে হবে। সুতরাং P বিন্দু উজ্জ্বল বিন্দু হলে,

$\frac{2 \cdot dx}{D} = 2.n.\frac{\lambda}{2} = n\lambda$ অথবা, $x = \frac{D \cdot n\lambda}{2d}$

C বিন্দু থেকে $(n + 1)$র উজ্জ্বল বিন্দুর দূরত্ব x_{n+1} হলে পূর্বোক্ত সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$x_{n+1} = D(n + 1)\lambda/2d$$

একইভাবে C বিন্দু থেকে n তম উজ্জ্বল বিন্দুর দূরত্ব x_n হলে, $x_n = \frac{D \cdot n\lambda}{2d}$

কাজেই পরপর দুটি উজ্জ্বল বিন্দুর দূরত্ব = $x_{n+1} - x_n$

$$= \frac{D(n+1)\lambda}{2d} - \frac{Dn\lambda}{2d} = \frac{D\lambda}{2d} \ldots.$$

কৃষ্ণবিন্দু ঃ

কৃষ্ণবিন্দুর শর্ত হল $\delta = (2n + 1)\ \lambda/2$

কেন্দ্রীয় পটি থেকে n তম কৃষ্ণবিন্দুর দূরত্ব x হলে,

$\frac{2d \cdot x}{D} = (2n + 1)\ \lambda/2$ অথবা, $x = \frac{D}{2d}(2n + 1)\ \lambda/2$

পূর্বের ন্যায় দুটি পরপর কৃষ্ণবিন্দু বিবেচনা করলে দেখানো যায় যে দুই পরস্পর কৃষ্ণবিন্দুর ব্যবধান

$= \frac{D}{2d}\lambda$ ... ... (iv)

দুটি পরপর উজ্জ্বল বিন্দু বা দুটি পরপর কৃষ্ণবিন্দুর ব্যবধানকে বলা হয় ঝালর প্রস্থ। সুতরাং ঝালর প্রস্থ = $\frac{D \cdot \lambda}{2d}$

ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং এর পরীক্ষায় n^{th} উজ্জ্বল বিন্দুর শর্ত কি ?

n^{th} উজ্জ্বল বিন্দুর শর্ত হল ঃ

পথ-পার্থক্য $\delta = n\lambda$ যেখানে পটির ক্রমসংখ্যা $n = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ ইত্যাদি।

সুসংগত উৎস বলতে কি বোঝায় ? **[C.U.1996]**

দুটি উৎস যদি সমান তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এবং অপরিবর্তিত দশা পার্থক্য বজায় রেখে বেশ কিছু সময়ের জন্য তরঙ্গ উৎপন্ন করে তবে তাদের সুসংগত উৎস বলা হয়।

সময় সুসংগতি (time coherence) কাকে বলে ?

দুটি উৎস যদি দীর্ঘসময়ব্যাপী পারস্পরিক দশা-সম্পর্ক বজায় রেখে তরঙ্গ উৎপন্ন করতে সমর্থ হয়, তবে সেই ঘটনাকে সময় সুসংগতি বলা হয়।

দৈর্ঘ্য সুসংগতি (length coherence) কাকে বলে ?

দুটি উৎস যদি নিরন্তর সমান দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করতে সমর্থ হয়, তবে সেই ঘটনাকে দৈর্ঘ্য সুসঙ্গতি বলে।

আলোক উৎসে দুটি পৃথক তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত তরঙ্গ থাকলে ব্যতিচার ঝালরে কি পরিবর্তন হবে ?

পৃথক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ থাকলে ব্যতিচার ঝালর গঠিত হবে না।

ব্যতিচার গঠনকারী তরঙ্গদ্বয়ের পারস্পরিক দশা পার্থক্য নিরন্তর পরিবর্তিত হলে ব্যতিচার ঝালরে কি পরিবর্তন হবে ?

কোন স্থায়ী ব্যতিচার ঝালর দেখা যাবে না। পর্দা সমভাবে আলোকিত হবে।

দুটি ভিন্ন আলোকউৎস পাশাপাশি রেখে ব্যতিচার ঝালর গঠন করা যাবে কি ? [Burd. U. 2005]

দুটি পৃথক স্বাধীন (independent) আলোক উৎস ব্যতিচার ঝালর গঠন করতে পারে না ; কারণ তারা পারস্পরিক দশা সম্পর্ক বজায় রাখতে সমর্থ নয়।

ইয়ং-এর পরীক্ষায় ব্যবহৃত এক বর্ণী আলোক উৎসের পরিবর্তে হ্রস্বতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আর একটি এক বর্ণী উৎস ব্যবহার করলে ফল কি হবে ?

ঝালর প্রস্থ এবং পটিগুলির কৌণিক ব্যবধান (angular seperation) দুই-ই হ্রাস পাবে।

ইয়ং-এর যুগ্ম ছিদ্র পরীক্ষা ব্যবস্থাটি জলে নিমজ্জিত করলে ব্যতিচার ঝালরের কি পরিবর্তন হবে ?

ঝালর প্রস্থ $y = \frac{D}{2d}.\lambda$; বায়ুর তুলনায় জলে আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হ্রাস পায়। ফলে ঝালর প্রস্থ কমে যাবে— অর্থাৎ পটিগুলি কাছাকাছি সরে আসবে।

রেখাছিদ্র (slit)-এর বেধ বৃদ্ধি করলে ব্যতিচার ঝালরের কিরূপ পরিবর্তন হয় ? [C.U. 1972]

রেখাছিদ্রের বেধ বৃদ্ধি করলে, সেটা অনেকগুলি রেখাছিদ্রের সমষ্টি বলে ধরা যেতে পারে। প্রত্যেকটি সরু রেখাছিদ্র নিজস্ব ব্যতিচার ঝালর গঠন করবে এবং ঐ ঝালরগুলি পরস্পরের উপর পড়ে পর্দায় রেখাছিদ্রের একটি আলোকিত প্রতিবিম্ব তৈরি করবে।

3 mm পারস্পরিক দূরত্বে অবস্থিত দুইটি ঋজু এবং সমান্তরাল রেখাছিদ্রকে একবর্ণের আলোক উৎস ($\lambda = 5.9 \times 10^{-7}$ m) দ্বারা উদ্ভাসিত করা হল । রেখাছিদ্র হইতে 0.3 m দূরে ব্যতিচার ঝালর দেখা হইল। ঝালর-প্রস্থ কত হবে ?

ঝালর-প্রস্থ y হলে

$$y = \frac{D}{2d} \cdot \lambda$$

এখানে, $D = 0.3$ m; $2d = 3$ mm $= 3 \times 10^{-3}$ m এবং $\lambda = 5.9 \times 10^{-7}$ m

$$y = \frac{0.3 \times 5.9 \times 10^{-7}}{3 \times 10^{-3}} = 0.59 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$= 0.0059 \text{ cm}.$$

. ইয়ং-এর ব্যতিচার পরীক্ষায় দুইটি ব্যবহৃত রেখাছিদ্রের মধ্যে ব্যবধান যদি 0.1 mm হয় এবং রেখাছিদ্র দুইটির অবস্থান-তল হইতে পর্দার দূরত্ব যদি 50 cm হয়, তবে পর্দার উপরে সৃষ্ট ব্যতিচার পটির কেন্দ্রীয় চরম অবস্থান হইতে প্রথম চরম অবস্থানের দূরত্ব কত হইবে বাহির কর; ব্যবহৃত একবর্ণী আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5000 Å (500 nm) দেওয়া আছে।

এখানে, $D = 50$ cm, $\lambda = 5000$ Å $= 5000 \times 10^{-8}$ cm, $2d = 0.01$ cm

এক্ষেত্রে নির্ণেয় ব্যবধান একটি পটির বেধের সমান।

$$\therefore \quad \beta = \frac{D}{2d}\lambda$$

D, $2d$ ও λ-এর মান বসাইয়া পাই,

$$\beta = \frac{50 \times 5000 \times 10^{-8}}{0.01} \text{ cm} = 0.25 \text{ cm}.$$

ব্যতিচার সম্পর্কিত ইয়ং-এর পরীক্ষায় রেখাছিদ্র দুইটির পারস্পরিক দূরত্ব ছিল 0.1 mm এবং রেখাছিদ্রের তল হতে পর্দার দূরত্ব ছিল 50 cm; 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণ আলো ব্যবহার করলে, পর্দার উপর কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু হতে প্রথম চরম বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় কর।

কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু হতে প্রথম চরম বিন্দুর দূরত্ব ঝালর-প্রস্থের সমান। ঐ প্রস্থ যদি y হয় তবে,

$$y = \frac{D}{2d} \cdot \lambda$$

এখানে, $D = 50$ cm; $\lambda = 5000$ Å $= 5000 \times 10^{-8}$ cm $= 5 \times 10^{-5}$ cm

$2d = 0.1$ mm $= 0.01$ cm

$$\therefore \quad y = \frac{50 \times 5 \times 10^{-5}}{0.01} = 0.25 \text{ cm}.$$

আলোর ব্যতিচার সম্পর্কিত ইয়ং-এর পরীক্ষায় দুটি রেখাছিদ্রের ব্যবধান 0.2 cm এবং রেখাদ্বয়কে হলদে আলোয় ($\lambda = 5896\text{Å}$) আলোকিত করলে রেখাছিদ্র তল থেকে 1 m দূরে রাখা পর্দায় উৎপন্ন ঝালরের প্রস্থ (fringe width) নির্ণয় কর। [C.U. 2005]

ইয়ং এর পরীক্ষায় ঝালর-প্রস্থ $y = \frac{D}{2d}\lambda$

এখানে, D = রেখাছিদ্রতল থেকে পর্দার দূরত্ব = 1m = 100 cm ;

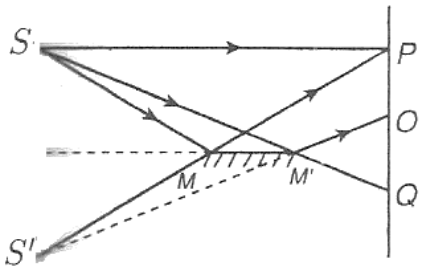
λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য = $5896\text{A}° = 5896 \times 10^{-8}$ cm এবং

$2d$ = রেখাছিদ্র দুটির ব্যবধান = 0.2 cm

$$y = \frac{100 \times 5896 \times 10^{-8}}{0.2} = 0.02988 \text{ cm} \simeq 0.03 \text{ cm}$$

লয়েডের একক আয়না (Lloyd's Single Mirror)

লয়েডের একক আয়নার সাহায্যে খুব সহজেই কোন ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।



চিত্র

ধরা যাক, MM' একটি আয়না এবং S একটি সোডিয়াম আলোর উৎস। আয়নার উপর S থেকে আলোকরশ্মি আপতিত হলে উহা আয়না কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে PQ পর্দার উপর পড়বে (চিত্র) । এর ফলে উৎস S-এর অসদ্‌বিম্ব S' বিন্দুতে গঠিত হবে। S এবং S' খুব কাছাকাছি অবস্থান করে এবং এদের সুসংগত উৎস হিসাবে ধরা হয়। সুসংগত এই উৎস দুইটির দ্বারা পর্দার OP অংশে ব্যতিচারের উৎপত্তি হয়।

এখানে, আয়নায় প্রতিফলনের ফলে প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতিত রশ্মিদ্বয়ের মধ্যে দশা-পার্থক্য π এবং পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$।

সুতরাং ব্যতিচারী পটির উজ্জ্বল রেখার জন্য

$$\left(S'P \pm \frac{\lambda}{2}\right) - SP = 2n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

অথবা $$S'P - SP = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$$

আবার, অন্ধকার রেখার জন্য

$$\left(S'P \pm \frac{\lambda}{2}\right) - SP = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$$

অথবা $$S'P - SP = 2n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

∴ লয়েডের একক আয়নার ক্ষেত্রে আমরা লিখতে পারি,

$$S'P - SP = 2n \cdot \frac{\lambda}{2} = x \cdot \frac{2d}{D}$$

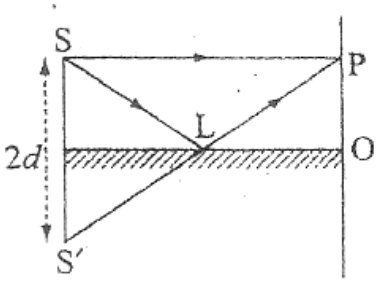
বা, $$\lambda = \frac{2d}{D} \cdot \frac{x}{n} = \frac{2d}{D}\beta$$

যেখানে, $2d = S$ ও S'-এর মধ্যবর্তী দূরত্ব, $\beta =$ পর পর দুইটি অন্ধকার রেখার দূরত্ব,

এবং $D =$ উৎস হইতে পর্দার দূরত্ব।

সমীকরণ ( )-এর সাহায্যে আমরা λ-র মান নির্ণয় করতে পারি।

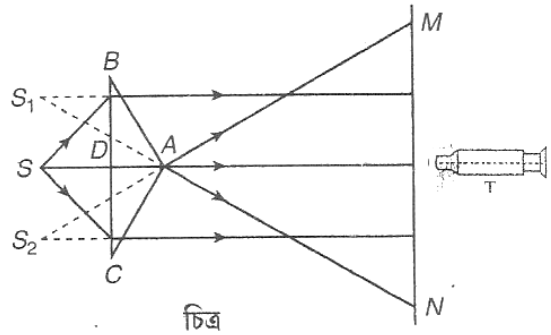
লয়েড দর্পণ পরীক্ষায় ব্যতিচার ঝালরের অর্ধেকেরও কম অংশ দৃষ্টিগোচর হয় কেন ?



চিত্র

লয়েড দর্পণ পরীক্ষায় ব্যতিচার ঝালরের কেন্দ্রীয় পটি O বিন্দুতে (চিত্র) ; কিন্তু ঐ কেন্দ্রীয় পটি দৃষ্টি গোচর হয় না। কারণ কোন প্রতিফলিত রশ্মিই O বিন্দুতে পৌঁছাতে পারে না। প্রকৃতপক্ষে ব্যতিচার ঝালরের অর্ধেকেরও বেশি অংশ O বিন্দুর তলায় থেকে যায় এবং দৃষ্টিগোচর হয় না।

ফ্রেনেলের যুগ্ম প্রিজ্‌ম পরীক্ষা (Fresnel's Biprism Experiment)



চিত্র

ABC একটি প্রিজ্‌ম যাহা দুইটি পৃথক প্রিজ্‌ম ABD ও CAD-এর সমন্বয়ে গঠিত। প্রিজ্‌ম ABC-এর A কোণটি $180°$; B ও C এর অপর দুটি কোণ। S হইল আলোক উৎস এবং MN একটি পর্দা। S থেকে আলোকরশ্মি যখন যুগ্ম প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়ে গমন করে তখন আলোকের বিচ্যুতির ফলে অসদ্‌বিম্ব S_1 ও S_2 গঠিত হয়। যুগ্ম প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ কোণ B ও C খুব ক্ষুদ্র বলে S_1 ও S_2- এর মধ্যে ব্যবধান $2d$ খুব সামান্য হয়। এই সংলগ্ন উৎসদ্বয় থেকে নির্গত তরঙ্গের উপরিপাত দ্বারা পর্দার MN অংশে ব্যতিচারী পটির উৎপত্তি হয়।

মূলতত্ত্ব ঃ

S_1S_2 অর্থাৎ সুসঙ্গত উৎসদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $= 2d$; উৎসদ্বয়ের তল থেকে অভিনেত্রের ফোকাস তল EF পর্যন্ত দূরত্ব $= D$ এবং তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $= \lambda$

আমরা জানি, $$y = \frac{D\lambda}{2d}$$

অথবা, $\lambda = \frac{2d \cdot y}{D}$ [যখন $y =$ ঝালর প্রস্থ]

$2d$, D এবং y পরিমাপ করলে, আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ নিণয় করা যায়।

পরীক্ষা ঃ

একটি আলোকীয় বেঞ্চ (optical bench)-এর উপর উপযুক্ত স্টান্ডে আবদ্ধ সরু রেখাছিদ্র S, যুগ্ম প্রিজম ABC এবং অভিনেত্র T বসানো হয়। অভিনেত্রের ফোকাস তলে একটি রেখন-তার (cross-wire) থাকে। প্রত্যেক স্টান্ডের আসন (base)-এ একটি করে সূচক চিহ্ন (index mark) থাকে। আলোকীয় বেঞ্চের স্কেলের উপর ঐ চিহ্নগুলির অবস্থান পাঠ করে তাদের পারস্পরিক দূরত্ব নির্ণয় করা হয়। অভিনেত্রের মাইক্রোমিটার স্ক্রুর সঙ্গে একটি রৈখিক স্কেল এবং চক্রাকার স্কেল যুক্ত থাকে। ঐ স্ক্রুর সাহায্যে অভিনেত্রকে আলোকীয় বেঞ্চের অভিলম্বভাবে সরানো যায় এবং স্কেল থেকে ঐ সরণ পরিমাপ করা যায়।

সাদা আলো ব্যবহার করে যুগ্মপ্রিজম (biprism) পরীক্ষা করলে, ফল কি হবে ?

সাদা আলো ব্যবহার করলে, যুগ্মপ্রিজমের দ্বারা যে ব্যতিচার ঝালর গঠিত হয় তার কেন্দ্রীয় পটি (central band) সাদা হবে কিন্তু কেন্দ্রীয় পটির উভয়দিকের পটি রঙিন হবে কারণ ঝালর প্রস্থ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল।

তরঙ্গমুখের বিভাজন (division of wave front) দ্বারা কিভাবে সুসংগত উৎস পাওয়া যায় ?

ফ্রেনেল যুগ্ম প্রিজমের পরীক্ষায় তরঙ্গমুখ বিভাজন পদ্ধতিতে সুসংগত উৎস গঠন করা হয়। একটি তরঙ্গমুখ যুগ্মপ্রিজমের দুই অংশে আপতিত হয়ে দুটি তরঙ্গমুখে বিভাজিত হয় এবং দুটি সুসগত উৎস তৈরি করে।

ফ্রেনেলের ব্যতিচার পরীক্ষায় যুগ্ম প্রিজমের কোণ ক্ষুদ্র রাখা হয় কেন ?

সুসংগত উৎসদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $2d = 2a\,(\mu - 1)\alpha$

[a = সুসংগত উৎসদ্বয়ের তল থেকে যুগ্ম প্রিজম পর্যন্ত দূরত্ব এবং α = যুগ্মপ্রিজমের কোণ] বলা বাহুল্য α ক্ষুদ্র হলে $2d$ এর মান ক্ষুদ্র হবে। তাতে ব্যতিচার ঝালর প্রস্থ বৃদ্ধি পাবে $\left(y = \frac{D}{2d}\lambda\right)$।

ফ্রেনেলের যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় রেখাছিদ্রের প্রস্থ ক্রমাগত বাড়িয়ে গেলে কি ঘটবে ?

রেখাছিদ্রের প্রস্থ ক্রমশ বাড়িয়ে গেলে উজ্জ্বল এবং অন্ধকার পটিগুলির বৈষম্য হ্রাস পেতে থাকবে। যখন রেখাছিদ্রের প্রস্থ ঝালর পটির অর্ধেক হবে, তখন ঝালর আর দেখা যাবে না, পর্দা একটানা উজ্জ্বল আলোকে আলোকিত হবে।

ফ্রেনেল যুগ্ম প্রিজম (biprism) পরীক্ষায় যদি অভিনেত্র (eye-piece) দূরে সরিয়ে নেওয়া হয়, তাহলে ব্যতিচার ঝালরে কি পরিবর্তন দেখা যাবে ? **[Burd. U. 2000]**

ব্যতিচার ঝালর পটির বেধ $y = \frac{D\lambda}{2d}$; অভিনেত্র দূরে সরিয়ে নিলে D-এর মান বৃদ্ধি পাবে। ফলে, পটির বেধ y বেড়ে যাবে।

ফ্রেনেলের যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় ব্যতিচার সৃষ্টিকারী দুটি তরঙ্গের একটির পথে কাচের একটি পাতলা প্লেট রাখলে ব্যতিচার ঝালরের কি পরিবর্তন হবে ?

দুটি তরঙ্গের একটির পথে কাচের পাতলা প্লেট রাখলে ব্যতিচার ঝালরের সরণ হবে কিন্তু ঝালর প্রস্থের কোনো পরিবর্তন হবে না। প্লেটের বেধ t হলে, ঝালরের কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পটির সরণ = $\frac{D}{2d}(\mu - 1)$

ফ্রেনেল যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় ব্যতিচার ঝালরের আকৃতি কিরূপ হয় ?

যুগ্ম-প্রিজম পরীক্ষায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার পটিগুলি পরাবৃত্তীয় পৃষ্ঠে (hyperboloidal surface) অবস্থান করে বলে পর্দাতে পরাবৃত্তাকার ঝালর উৎপন্ন হবে। ঝালরের মাঝখানে পটিগুলি সরলরৈখিক হবে। যদি উৎসদ্বয়ের দূরত্ব কম হয় তাহলে পটিগুলিও ছোট হবে এবং তাদের সরলরেখা বলে মনে হবে।

লয়েড দর্পণ এবং ফ্রেনেল যুগ্ম-প্রিজম দ্বারা গঠিত ব্যতিচার ঝালরের তুলনা

ফ্রেনেল যুগ্ম-প্রিজম	লয়েড দর্পণ
(i) যুগ্ম-প্রিজম পদ্ধতিতে দুটি উৎসই প্রিজমের দ্বারা সৃষ্ট অলীক উৎস।	(i) লয়েড দর্পণ পদ্ধতিতে যে দুটি সুসঙ্গত উৎস ব্যতিচার সৃষ্টি করে তাহাদের একটি প্রকৃত (real) এবং অপরটি দর্পণ কর্তৃক সৃষ্ট অলীক (virtual) উৎস
(ii) যুগ্ম-প্রিজম পরীক্ষায় কেন্দ্রীয় পটির উভয় পাশে পূর্ণ ঝালর পটি পাওয়া যায়।	(ii) লয়েড দর্পণে অলীক উৎস হতে আসা রশ্মিগুলির সীমাবদ্ধতার দরুণ পূর্ণ ঝালর পটি পাওয়া যায় না। প্রকৃতপক্ষে পূর্ণ পটির অর্ধেকেরও কম অংশ পাওয়া যায়।
(iii) ফ্রেনেল যুগ্ম-প্রিজম পরীক্ষায় দুটি সুসংগত উৎসের দূরত্ব $(2d)$ ধ্রুবক। ফলে, উৎসদ্বয়ের সকল অংশের জন্য ঝালর প্রস্থ (fringe width) সমান থাকে।	(iii) লয়েড দর্পণে উৎসদ্বয়ের সকল অংশের জন্য ঝালর প্রস্থ সমান থাকে না।
(iv) ফ্রেনেল যুগ্ম-প্রিজমে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কেন্দ্রীয় পটি উজ্জ্বল হয়।	(iv) লয়েড দর্পণে কেন্দ্রীয় ঝালর কৃষ্ণবর্ণের হয়

যুগ্ম-প্রিজমের একটি পরীক্ষায় আলোক উৎস হতে অভিনেত্র 120 cm দূরে রাখা ছিল। উৎসের দুইটি অসদ্‌বিম্বের ভিতর দূরত্ব দেখা গেল 0.075 cm। অভিনেত্রকে 1.888 cm সরাইলে দৃষ্টি ক্ষেত্র অতিক্রম করে 20টি ঝালর চলে যায়। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

ঝালর প্রস্থ, $y = \dfrac{1.888}{20}$ cm, $2d = 0.075$ cm, $D = 120$ cm

$$\therefore \quad \lambda = \frac{2d}{D} \cdot y = \frac{0.075}{120} \times \frac{1.888}{20} = 5900 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$= 5900 \text{ Å}.$$

সোডিয়াম আলোয় আলোকিত একটি সরু রেখাছিদ্রের সম্মুখে 5 cm দূরে একটি যুগ্ম-প্রিজম স্থাপন করা হইলে ইহা দ্বারা গঠিত রেখাছিদ্রের অসদ্ বিম্বদ্বয়ের ব্যবধান হয় 0.05 cm। যুগ্ম-প্রিজমের সম্মুখে 75 cm দূরে স্থাপিত পর্দার উপর যে ব্যতিচার-ঝালর সৃষ্ট হয় তাহার পটির বেধ নির্ণয় কর। (ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 5.89 \times 10^{-5}$ cm.)

এখানে, উৎস হইতে পর্দার দূরত্ব, $D = (75 + 5)$ cm $= 80$ cm

$\lambda = 5.89 \times 10^{-5}$ cm এবং $2d = 0.05$ cm

$$\therefore \quad \text{পটির বেধ, } \beta = \frac{D}{2d}\lambda = \frac{80 \times 5.89 \times 10^{-5}}{0.05}$$

$$= 0.0942 \text{ cm}.$$

ফ্রেনেল-এর যুগ্ম-প্রিজ্‌ম পরীক্ষায়, সোডিয়াম আলো ব্যবহার করিয়া রেখাছিদ্র হইতে 100 cm দূরে 0.0196 cm প্রস্থের ব্যতিচার ঝালর পাওয়া গেল। অতঃপর দর্শক এবং প্রিজ্‌ম-এর ভিতর একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করে রেখাছিদ্র হতে 100 cm দূরে উৎসদ্বয়ের প্রতিবিম্ব গঠন করা হল । বিম্বদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব হল 0.7 cm এবং রেখাছিদ্র হতে লেন্সের দূরত্ব ছিল 30 cm। সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

রেখাছিদ্র থেকে লেন্স 30 cm দূরে থাকায় বস্তু দূরত্ব $u = 30$ cm., প্রতিবিম্ব দূরত্ব $v = 100 - 30 = 70$ cm. সুতরাং, বিবর্ধন $= \frac{v}{u} = \frac{70}{30} = \frac{7}{3}$। রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বদ্বয়ের দূরত্ব 0.7 cm বলিয়া সুসঙ্গত উৎসদ্বয়ের দূরত্ব $2d = 0.7 \times \frac{3}{7} = 0.3$ cm.

$$D = 100 \text{ cm} \quad \text{এবং} \quad \text{ঝালর-প্রস্থ } y = 0.0196 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{2d}{D} y$$

কাজেই, $\lambda = \frac{0.3 \times 0.0196}{100} = 5880 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5880 \text{ Å}.$

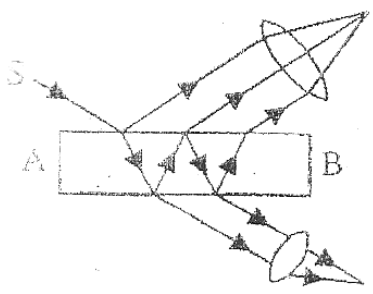
প্রতিফলনের জন্য তরঙ্গের দশার পরিবর্তন (স্টোকসের পদ্ধতি) (Stokes' treatment)

লয়েডের একক দর্পণ পরীক্ষায় আমরা দেখি যে, রেখাছিদ্র ও দর্পণে প্রতিফলনের ফলে উৎপন্ন ছিদ্রের অসদ্‌বিম্ব সুসংগত উৎস সৃষ্টি করে এবং এরা যে ব্যতিচার ঝালর গঠন করে তাতে যে স্থানে উজ্জ্বল পটী সৃষ্টি হবার কথা সেখানে অন্ধকার পটী সৃষ্টি হয় এবং যেখানে অন্ধকার পটী সৃষ্টি হবার কথা সেখানে উজ্জ্বল পটী সৃষ্টি হয়। এর কারণ হিসাবে বলা হয় যে, যখন আলোকতরঙ্গ লঘুমাধ্যম থেকে ঘনতর মাধ্যমে আপতিত হয়ে প্রতিফলিত হয় তখন প্রতিফলিত তরঙ্গের π দশা-পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। এই ধরনের দশা-পার্থক্য শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রেও ঘটে।

সুতরাং, ঘনতর মাধ্যম কর্তৃক তরঙ্গের প্রতিফলন হলে আলোকতরঙ্গের আলোকীয় পথ $\frac{\lambda}{2}$ পরিমাণ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। তাই আলোকীয় পথের সঙ্গে $\frac{\lambda}{2}$ দূরত্ব যোগ বা বিয়োগ করতে হবে।

বহু প্রতিফলনের জন্য ব্যতিচার ঃ পাতলা সরের রং (Interference involving multiple reflection : Colours of thin film) ঃ

জলের উপর কোনো তেলের পাতলা স্তরে সূর্যের আলো পড়লে বর্ণের সমারোহ। ওই তেলের স্তরে বা সরের উপর এবং নীচের তল থেকে আলোকরশ্মির বারবার প্রতিফলন হয় এবং ওই প্রতিফলিত রশ্মিগুলি ব্যতিচার পদ্ধতিতে নানা রকমের বর্ণ সৃষ্টি করে। উৎপন্ন বর্ণের তীব্রতা সরের বেধের উপর নির্ভর করে। সরের বেধ একটি নির্দিষ্ট মানের চেয়ে বেশি হলে রংগুলি আর দেখা যায় না।



চিত্রে পাতলা সর কর্তৃক রশ্মির বহু প্রতিফলন দেখানো হয়েছে। AB একটি পাতলা সর। উৎস থেকে একটি আলোকরশ্মি এসে ওই সরের উপরিতল থেকে বহুবার প্রতিফলিত হয়েছে এবং নীচের তল থেকে বহুবার প্রতিসৃত হয়েছে। উপর তল থেকে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ ব্যতিচার ঘটিয়ে বিভিন্ন বর্ণ উৎপন্ন করে। আবার সরের নীচের তল থেকে প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ ব্যতিচার ঘটিয়েও বিভিন্ন বর্ণ-সৃষ্টি করতে পারে। উভয় ক্ষেত্রেই ব্যতিচারের জন্য বিভিন্ন বর্ণের সমারোহ পরিলক্ষিত হয়।

প্রতিফলিত আলোকতরঙ্গের ব্যতিচার ঃ

নং চিত্রে OR_1 এবং BR_2 রশ্মি দুটি একই উৎস থেকে নির্গত হয়েছে এবং এদের প্রাবল্য প্রায় সমান। তাই এরা কোনো বিন্দুতে মিলিত হলে ব্যতিচার সৃষ্টি করবে। সরের উভয় তল সমান্তরাল বলে OR_1 এবং BR_2 পরস্পরের সমান্তরাল। কিন্তু এদের মধ্যে পথ-পার্থক্য বর্তমান। মোট পথ-পার্থক্য দুটি কারণের জন্য সৃষ্ট পথ-পার্থক্যের সমান।

(i) পথ-পার্থক্যের একটি কারণ হল সরের মধ্যে প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের জন্য QR_2 তরঙ্গ OR_1 তরঙ্গ অপেক্ষা বেশি পথ অতিক্রম করে।

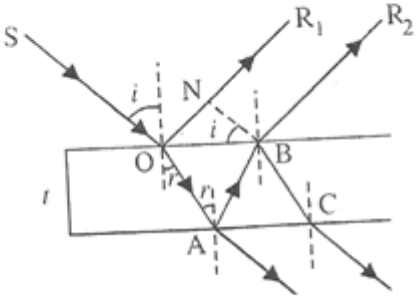
(ii) পথ-পার্থক্যের আর একটি কারণ হল—OR_1 তরঙ্গ ঘনতর মাধ্যমে প্রতিফলিত হওয়ার জন্য এর $\frac{\lambda}{2}$ পথ-পার্থক্য ঘটে। BR_2 তরঙ্গের এই রকম পথ-পার্থক্য ঘটে না, যেহেতু এটি ঘন থেকে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়েছে।

BR_2 রশ্মি সরের মধ্যে প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের জন্য OR_1 রশ্মির তুলনায় যে অতিরিক্ত পথ অতিক্রম করে তা নির্ণয়ের জন্য B বিন্দু থেকে OR_1-এর উপর BN লম্ব টানা হল। তাহলে BN-এর মধ্য

দিয়ে কাগজের তলের সমকোণে অবস্থিত তলই হল নতুন তরঙ্গামুখ। স্পষ্টত BR_2 এবং NR_1 বরাবর গামী আলোকতরঙ্গের একটি প্রাথমিক দশা-পার্থক্য থাকে। এই দুটি তরঙ্গের মধ্যে প্রাথমিক পথ-পার্থক্য হল—

$$\delta_1 = \text{সরের মধ্যে OAB পথ} - \text{বায়ুতে ON পথ}$$
$$= \mu(OA + AB) - ON$$
$$= 2\mu \cdot OA - ON \qquad [\because \ OA = AB]$$
$$= 2\mu \cdot OA - OB\sin i$$

এখন, $\frac{t}{OA} = \cos r$ বা, $OA = \frac{t}{\cos r}$ এবং $OB = 2t\tan r$



$$\therefore \quad \delta_1 = 2\mu \cdot \frac{t}{\cos r} - 2t\tan r \cdot \sin i = \frac{2\mu \cdot t}{\cos r} - \frac{2t\sin r \cdot \sin i}{\cos r}$$

$$\therefore \quad \delta_1 = 2\mu t\left(\frac{1}{\cos r} - \frac{\sin^2 r}{\cos r}\right) \quad \left[\therefore \ \mu = \frac{\sin i}{\sin r}\right]$$
$$= \frac{2\mu t}{\cos r}(1 - \sin^2 r) = 2\mu t\cos r$$

আবার যেহেতু OR_1 রশ্মির ঘনতর মাধ্যমে প্রতিফলনের জন্য $\frac{\lambda}{2}$ অতিরিক্ত পথ-পার্থক্য ঘটে তাই, তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে মোট পথ-পার্থক্য

$$\delta = \delta_1 \pm \frac{\lambda}{2} = 2\mu t\cos r \pm \frac{\lambda}{2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

এবং দশা-পার্থক্য $\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}(2\mu t \cos r) \pm \pi$

যদি পথ-পার্থক্য $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$-এর সমান হয় তাহলে তরঙ্গ দুটি ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি করবে এবং অন্ধকার ঝালর (fringe) উৎপন্ন হবে। সুতরাং অন্ধকার ঝালর গঠিত হওয়ার শর্ত হল—

$$\delta = 2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

বা, $2\mu t \cos r = n\lambda$ ..... (2)

আবার, এই পথ-পার্থক্য $2n \cdot \frac{\lambda}{2}$ হলে তরঙ্গ দুটি গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করবে এবং উজ্জ্বল ঝালর উৎপন্ন হবে। সুতরাং উজ্জ্বল ঝালর উৎপন্ন হবার শর্ত হল—

$$\delta = 2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

$$\therefore \quad 2\mu t \cos r = \left(n \pm \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{..... (3)}$$

পাতলা বেধযুক্ত সর (film) কর্তৃক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে গঠনমূলক এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারে শর্ত কী ?

উঃ (i) পাতলা সর কর্তৃক প্রতিফলিত আলোকরশ্মির ব্যতিচারের ক্ষেত্রে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হল ঃ $2\mu t \cos r = n\lambda$

এবং গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল ঃ $2\mu t \cos r = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

(ii) পাতলা সর কর্তৃক নিঃসৃত আলোকরশ্মির ব্যতিচারের ক্ষেত্রে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হল ঃ

$$2\mu t \cos r = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

এবং গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল ঃ $2\mu t \cos r = n\lambda$

স্পষ্টত সর কর্তৃক প্রতিফলিত আলোতে সরের বর্ণানুভূতি নিঃসৃত আলোতে বর্ণানুভূতির পরিপূরক।

জলের উপর ভাসমান অলিভ তেলের ($\mu = 1.6$) সরের উপর সমান্তরাল সোডিয়াম আলো আপতিত হইল। অভিলম্বের সহিত $30°$ কোণ করে দেখলে অষ্টম কৃষ্ণপটি দেখা যায়। সরের বেধ কত? $\lambda = 5890$ Å.

পাতলা সরে ব্যতিচারের জন্য,

$$2\mu t \cos r = n\lambda$$

এখানে, $\mu = 1.6$, $n = 8$ এবং $\lambda = 5890$ Å $= 5890 \times 10^{-10}$ m, আপতন কোণ $= 30°$ বলিয়া

$$\frac{\sin 30°}{\sin r} = 1.6$$

$$\therefore \quad \sin r = \frac{1}{2} \times \frac{1}{1.6} = 0.3125$$

সুতরাং, $\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} = \sqrt{1 - (0.3125)^2}$

$$= \sqrt{1.3125 \times 0.6875} = 0.9499$$

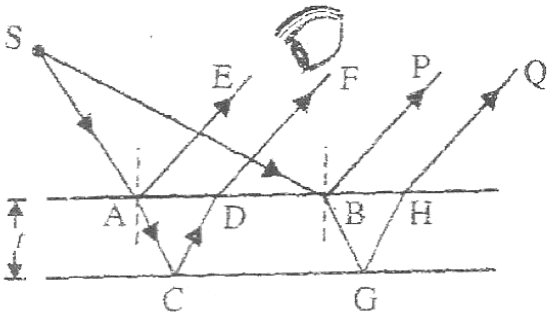
$$\therefore \quad t = \frac{n\lambda}{2\mu \cos r} = \frac{8 \times 5890 \times 10^{-10}}{2 \times 1.6 \times 0.9499}$$

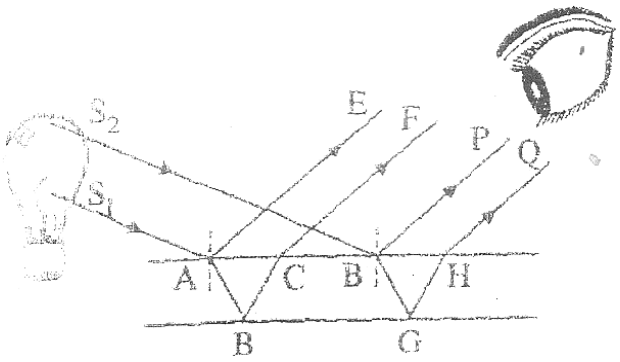
$$= 1.55 \times 10^{-6} \text{ m}.$$

পাতলা সর ব্যতিচার ঝালর ভালোভাবে দেখতে হলে বিস্তৃত আলোক-উৎস প্রয়োজন হয় কেন ?

পাতলা সরের ব্যতিচার ঝালর ভালোভাবে দেখতে হলে বিস্তৃত উৎস নিতে হয়। তা না হলে সরের খুব অল্প অংশ দেখা যায়। বিস্তৃত উৎস ব্যবহারের কারণ নীচে ব্যাখ্যা করা হল ঃ

চিত্রে S একটি বিন্দু উৎস। বেধের পাতলা সরের কাছে রাখা আছে। S উৎস থেকে দুটি রশ্মি SA এবং SB সরের উপর A এবং B বিন্দুতে আপতিত হয়। SA রশ্মি থেকে উৎপন্ন AE এবং DF রশ্মি চোখে পৌঁছায় এবং ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করে। কিন্তু SB আলোকরশ্মি থেকে উৎপন্ন রশ্মিদ্বয় চোখে ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করতে পারে না। এক্ষেত্রে কেবলমাত্র সরের AD অংশ দৃষ্টি গোচর হয় [চিত্র ৭]।





পক্ষান্তরে, আলোক উৎস বিস্তৃত হলে [চিত্র] S_1A রশ্মি সরের উপরিতল এবং নিম্নতল থেকে প্রতিফলিত হয়ে যথাক্রমে AE এবং CF রশ্মি রূপে সর থেকে নির্গত হয় এবং চোখে ব্যতিচার ঝালর উৎপন্ন করে। অন্য একটি বিন্দু S_2 থেকে আগত রশ্মি থেকে একইভাবে উৎপন্ন BP এবং HQ রশ্মিদ্বয় চোখে পৌঁছে ব্যতিচার ঝালর উৎপন্ন করে।

স্পষ্টত দেখা যাচ্ছে যে, আলোক-উৎস বিস্তৃত হলে এর বিভিন্ন বিন্দু থেকে নির্গত রশ্মিগুলি সরের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন কোণে আপতিত হয়ে প্রতিফলনের পর চোখে পৌঁছিতে পারে। তাই চোখের যে-কোনো অবস্থানে সরের বিস্তৃত অঞ্চল দেখা যায়।

স্বচ্ছ পদার্থের পাতলা সরের উপর সাদা আলো পড়লে সর-কে নানাবর্ণে রঞ্জিত হতে দেখা যায় কেন ?

পাতলা সরের উপর সাদা আলো পড়লে সরের উপরতল এবং নিচের তল থেকে আলোকরশ্মি বার বার প্রতিফলিত হয়। ঐ প্রতিফলিত রশ্মিগুলি ব্যতিচার করে নানাপ্রকার বর্ণের উদ্ভব ঘটায়।

পাতলা সরে ব্যতিচার ঝালর ভালভাবে দেখতে হলে বিস্তৃত আলোক উৎসের প্রয়োজন হয় কেন ?

[Burd. U. 1983]

পাতলা সরে ব্যতিচার ঝালরের সম্পূর্ণ অংশ দৃষ্টিগোচরে আনতে বিস্তৃত আলোক উৎসের প্রয়োজন কারণ ঐরূপ উৎস থেকে বিভিন্ন আলোকরশ্মি সরের সর্বত্র আপতিত হয়ে সম্পূর্ণ ব্যতিচার ঝালর গঠন করতে পারে। সরু রেখাছিদ্র ব্যবহার করলে ঝালরের অংশবিশেষ মাত্র দেখা যাবে।

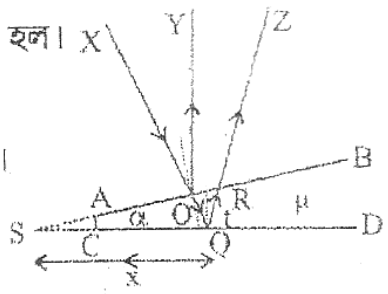
Thin Films: wedge-shaped films

গোঁজ আকৃতি বিশিষ্ট একটি সূক্ষ্ম ঝিল্লী AB ও CD নামক দুইটি তল দ্বারা α কোণে আবদ্ধ। একটি সূক্ষ্ম আলোক রশ্মি AB তলের উপর আপতিত হইয়া আংশিকভাবে প্রতিফলিত হইল এবং আংশিকভাবে প্রতিসৃত হইল। প্রতিসৃত রশ্মিটি আংশিকভাবে CD তলে প্রতিফলিত হইয়া AB তলে প্রতিসৃত হইল। এই রশ্মিটি AB তলের প্রতিফলিত রশ্মির সহিত P বিন্দুতে ব্যাতিচার সৃষ্টি করিল।

(ক) P বিন্দুটির আলোকে তীব্রতা সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন হইবার শর্তটি নির্ণয় কর।

গোঁজ আকৃতির সূক্ষ্ম ঝিল্লীতে ব্যাতিচার :

চিত্রে গোঁজ আকৃতির একটি সুক্ষ্মঝিল্লী দেখানো হল।



যেখানে, AB ও CD = ঝিল্লীটির দুটি তল।

α = ঝিল্লীর দুটি তলের মধ্যেকার কোণ।

μ = ঝিল্লীর প্রতিসরাঙ্ক।

OY ও RZ রশ্মির পথ পার্থক্য = $2\mu t\cos r$

যেখানে, t = Q বিন্দুতে ঝিল্লীর বেধ এবং r = OQ প্রতিসৃত রশ্মির প্রতিসরণ কোণ।

$\frac{\lambda}{2}$ মানের পথ পার্থক্যকে ধরে,

সুতরাং OY এবং OQRZ রশ্মি দুটির কার্যকরী পথ পার্থক্য হবে, $2\mu t\cos r-\frac{\lambda}{2}$

উক্ত পার্থক্য হবে, $\delta = 2\mu t-\frac{\lambda}{2}$ যখন লম্ব আপতন হবে।

অতএব গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য, পথ পার্থক্য,

$2\mu t - \frac{\lambda}{2} = n\lambda$ [যেখানে n = 1, 2, 3, ...]

বা, $\boxed{2\mu t = (2n+1)\frac{\lambda}{2}}$

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের দরুন পথ পার্থক্য,

$2\mu t-\frac{\lambda}{2} = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ [যেখানে, n = 0, 1, 2, 3, ...]

বা, $\boxed{2\mu t = n\lambda}$

যদি Q বিন্দুটি S বিন্দু থেকে অর্থাৎ ঝিল্লীর পাতলা প্রান্ত থেকে x দূরে হয়ে থাকে, তবে, $\frac{t}{x} = \tan\alpha$

বা, $t = x\tan\alpha$

অতএব (i) P বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল : $2\mu x\tan\alpha = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

(ii) P বিন্দুতে ধ্বংসাত্বক ব্যতিচারের শর্ত হল : $2\mu x\tan\alpha = n\lambda$

(খ) এই পরীক্ষায় আলোকীয় পটীকে কেন সীমাবদ্ধ পটী বলা হয়?

$\tan\alpha \approx \alpha$, যখন α এর মান ছোট।

n তম উজ্জ্বল পটীর জন্য

$2\mu x_n\alpha = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ..... (i)

x_n = ঝিল্লীর পাতলা প্রান্ত থেকে n তম উজ্জ্বল পটির দূরত্ব

(n+1) তম উজ্জ্বল পটীর জন্য

$2\mu x_{n+1}\alpha = \{2(n+1)+1\}\frac{\lambda}{2}$ ..... (ii)

এখন, (ii) নং থেকে (i) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই,

$$2\mu(x_{n+1}-x_n) = \lambda$$

বা, $x_{n+1}-x_n = \frac{\lambda}{2\mu\alpha}$

$\therefore$ ঝালর প্রস্থ = $W = \frac{\lambda}{2\mu\alpha}$

উক্ত ঝালরের প্রস্থের মান x এর উপর নির্ভর করে না।

এই কারণে বলা যায় যে আলোকীয় পটী সীমাবদ্ধ পটী।

সাবানের বুদ্‌বুদে রঙের সমাবেশ (Colours of soap bubbles)

সাবানের বুদ্‌বুদে অনেক সময় নানারঙের সমাবেশ দেখা যায়। অনেক সময়ে জলের ওপর তেল ভাসলেও তাতে নানা রঙ দেখতে পাওয়া যায়। সাবানের বুদ্‌বুদ্ এবং ভাসমান তেল অনেকটা ঝিল্লীর মত কাজ করে। আমরা জানি, সূর্যের আলোতে বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বিভিন্ন রঙ থাকে। পাতলা ঝিল্লীতে একটি রঙের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য পড়লে বিনাশী (destructive) ব্যতিচারের সৃষ্টি হলেও অপর রঙের তরঙ্গের জন্য তা হতে পারে না। এর ফলে বুদ্‌বুদটিতে একটি বিশেষ রঙ দেখা যায়। আবার বুদ্‌বুদটির সব অংশের বেধ যথার্থ সমান না হওয়ার জন্য বিভিন্ন রঙও দেখা যায়। জলের ওপর ভাসা তেলেও একই রকম ভাবে রামধনুর রঙ দেখা যায়।

একটি স্থায়ী পটীমালা পাইবার জন্য কেন একটি বৃহৎ উৎসের প্রয়োজন?

বৃহৎ উৎসের প্রয়োজনীয়তা : বৃহৎ বা বিস্তৃত উৎস হলে ব্যাতিচার স্পষ্টভাবে দেখা যায় যেহেতু উৎস-এর বিভিন্ন বিন্দু থেকে বেশী সংখ্যক রশ্মি আগত হয়। এর কারণে চোখের যে কোন অবস্থানে সরের বিস্তৃত অঞ্চল দৃষ্টিগোচর হয়।

সমবেধেরঝালর ((Fringes of equal inclination (Haidinger Fringes))এবংসমনতিরঝালর(Fringes of equal thickness (Fizeau Fringes)) বলতে কি বোঝায়?

পাতলা সর কর্তৃক ব্যতিচার প্রসঙ্গে চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত আলোচনা করলে দেখা যায় যে, সরের বেধ t এবং রশ্মির প্রতিসরণ কোণ r এই দুটি রাশির উপরই শর্ত নির্ভর করে। যদি পরিবর্তনশীল বেধের সরের উপর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হয়, তবে r অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু সরের বিভিন্ন বিন্দুতে t বিভিন্ন হবে। তাতে উজ্জ্বল ও কৃষ্ণপটি বিশিষ্ট ঝালর পাওয়া যাবে। এই ঝালরগুলির আবার সরের দেহরেখা (contour)-এর অনুরূপ হবে। এই ঝালরকে বলা হয় সমবেধের ঝালর।

আবার সমান্তরাল তলবিশিষ্ট একটি পাতলা সরের উপর অভিসারী বা অপসারী (এক বর্ণের) আলো এসে পড়লে, বেধ (t) সর্বত্র সমান হলেও, বিভিন্ন বিন্দুতে আপতন কোণ এবং সেই কারণে প্রতিসরণ কোণ r বিভিন্ন হবে। ফলে, আর এক ধরনের ব্যতিচার ঝালর পাওয়া যাবে। এই ঝালরকে বলা হয় সমনতির ঝালর।

নিউটন রিং কাকে বলে ?

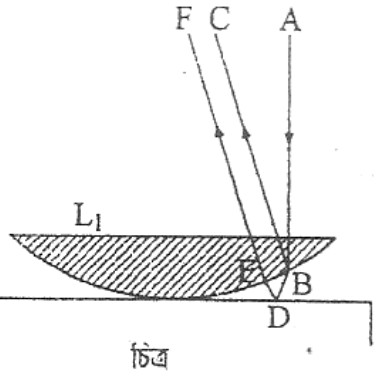
পরিবর্তনশীল বেধের পাতলা সর দ্বারা ব্যতিচার পদ্ধতিতে সমবেধের ঝালরকে নিউটন রিং বলা হয়। এই ঝালরগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের বা রিংঙের আকারে দেখা যায়।

নিউটন রিংগুলির ব্যাসার্ধের গাণিতিক সূত্র নির্ধারণ কর।

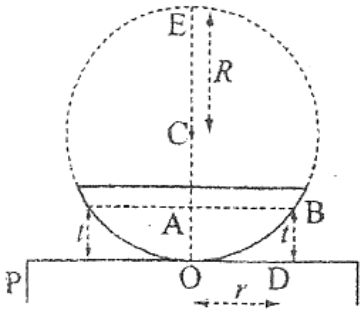
অথবা

নিউটন রিং উৎপত্তির তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর।

ধর, λ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোক তরঙ্গ AB অভিলম্বভাবে লেন্স L_1 এবং কাচ প্লেট P এর মধ্যে আবদ্ধ বায়ু সরে আপতিত হল [চিত্র]। আপতিত আলোর এক অংশ B বিন্দুতে প্রতিফলিত হয়ে BC অভিমুখে গমন করে। যেহেতু এই রশ্মি লঘুতর মাধ্যম কর্তৃক (বায়ু) প্রতিফলিত হয় তাই এর কোন দশা পরিবর্তন হয় না। অপর অংশ BD বায়ুস্তরে প্রবেশ করে কাচপ্লেট দ্বারা প্রতিফলিত হয় এবং প্রতিফলিত রশ্মি DEF পথে লেন্স থেকে নিস্ক্রান্ত হয়। বলাবাহুল্য প্রতিফলনের দরুন এই রশ্মির π পরিমাণ দশা পার্থক্য অথবা $\lambda/2$ পথ-পার্থক্য ঘটে। এই দুই প্রতিফলিত তরঙ্গ পরস্পরের উপর উপরিপন্ন হয়ে ব্যতিচার সৃষ্টি করে।



চিত্র



চিত্র

মনে কর, স্পর্শবিন্দু O থেকে D বিন্দুর দূরত্ব $= r$ অর্থাৎ $OD = r$; বায়ুসরের বেধ $= BD = t$ এবং লেন্সের উত্তল পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ $= R$ [চিত্র 2]। স্পর্শবিন্দু O-তে বায়ুসরের বেধ শূন্য এবং BD $(= t)$ বেধের বায়ুসর O বিন্দুকে কেন্দ্র করে OD $(= r)$ ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে সজ্জিত আছে। এই কারণে ঝালরগুলিকে বৃত্তাকার দেখা যায়।

এখন, B এবং D বিন্দু থেকে প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয়ের ভিতর মোট পথ-পার্থক্য $= 2\mu t \cos \angle r \pm \frac{\lambda}{2}$
কিন্তু এক্ষেত্রে আপতন অভিলম্ব হওয়ায় $\angle r = 0$ এবং বায়ুসরের বেলায় $\mu = 1$ হওয়ায় মোট পথ-পার্থক্য $= 2t \pm \frac{\lambda}{2}$

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হতে গেলে, $2t \pm \frac{\lambda}{2} = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$ অথবা, $2t = n\lambda$ ... (i)

এবং গঠনমূলক ব্যতিচার হতে গেলে, $2t \pm \frac{\lambda}{2} = 2n\lambda/2$ অথবা, $2t = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$ ... ... (ii)

কালো রিংগুলির ব্যাসার্ধ ঃ
বৃত্তের জ্যামিতি থেকে আমরা জানি
$(AB)^2 = OA \cdot AE = OA(2R - OA)$
অথবা, $r^2 = OA\,(2R - OA) = 2R \cdot OA = 2R \cdot BD$ [OA খুব ক্ষুদ্র তাই $(OA)^2$ উপেক্ষণীয়]

$\therefore BD = \frac{r^2}{2R}$ কিন্তু $BD = t$; অতএব, $t = \frac{r^2}{2R}$
এখন, OD যদি n-তম কালো রিংয়ের ব্যাসার্ধ হয় এবং ঐ ব্যাসার্ধকে যদি r_n বলা হয় তবে (i) নং সমীকরণের সহায়তায় লেখা যায়, $2 \times \frac{r_n^2}{2R} = n\lambda$ অথবা, $r_n^2 = n\lambda R$

উজ্জ্বল রিংগুলির ব্যাসার্ধ ঃ OD যদি n তম উজ্জ্বল রিঙের ব্যাসার্ধ হয় এবং ঐ ব্যাসার্ধকে যদি r'_n বলা হয় তবে (ii) নং সমীকরণের সাহায্যে লেখা যায়,

$\frac{2 \times r_n'^2}{2R} = (2n \pm 1)\,\lambda/2$ অথবা, $r_n'^2 = (2n \pm 1)\,\lambda/2 \cdot R$ ..... (iv)

(iii) এবং (iv) সমীকরণ থেকে নিউটন- রিংগুলির ব্যাসার্ধ পাওয়া যাবে।

নিউটনবলয়গুলির সাহায্যে একবর্ণী আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করার পরীক্ষা বর্ণনা করো।
[C.U. 2006, 2002, N.B.U. 1983, Burd. U. 1991]

n-তম কালো রিঙের ব্যাসার্ধের বেলায় আমরা জানি, $r_n^2 = n\lambda R$.
ঐ রিংয়ের ব্যাস D_n ধরলে, $D_n^2 = 4r_n^2 = 4n\lambda R$
অনুরূপভাবে D_{n+m} যদি $(n + m)$ তম কালো রিংঙের ব্যাস হয় তবে,

$$D^2_{n+m} = 4(n + m)\lambda R$$

$\therefore D^2_{n+m} - D^2_n = 4(n + m)\lambda R - 4n\lambda R = 4m\lambda R$

$$\text{অথবা, } \lambda = \frac{D^2_{n+m} - D^2_n}{4mR}$$

চলমান অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কালো রিংগুলির ব্যাস পরিমাপ করতে হবে। এরপর স্ফেরোমিটারের সাহায্যে লেন্সের উত্তল পৃষ্ঠের বক্রতা ব্যাসার্ধ R পরিমাপ করতে হবে ; এখানে উল্লেখযোগ্য যে এই পরীক্ষায় বিশেষ কোন ক্রমসংখ্যা (order number)-তে রিংঙের ব্যাস জানার প্রয়োজন হয় না ; যে-কোন একটি রিং থেকে শুরু করা যায়।

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য পরিমাপের আর একটি বিকল্প পদ্ধতি আছে। বিভিন্ন ক্রমসংখ্যার কালো রিং এর ব্যাস পরিমাপ করে D^2 এবং n-এর ভিতর লেখ আঁকতে হবে। এই লেখ একটি সরল রেখা হবে। অতঃপর লেখ থেকে ঐ রেখার নতি (slope) নির্ণয় করে তাকে $4R$ দ্বারা ভাগ করলে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ পাওয়া যাবে।

নিউটন রিং পরীক্ষায় বৃত্তাকার ঝালরের কেন্দ্রবিন্দু উজ্জ্বল না অন্ধকার ?

[C.U. 1996, Vid. U. 2002 Burd. 2000]

একটি সমতলোত্তল লেন্সের উত্তল পৃষ্ঠকে একখানি মসৃণ সমতল কাচপ্লেটের উপর রেখে এক বর্ণের আলো ফেললে সমকেন্দ্রিক নিউটন রিং ঝালর তৈরি হয়। ঐ ঝালরের কেন্দ্র বিন্দু হবে লেন্স ও কাচপ্লেটের স্পর্শবিন্দু। ঐ বিন্দুতে বায়ুসর (air film)-এর বেধ শূন্য হওয়ায়, ঐ বিন্দু থেকে যে-দুটি ব্যতিচারি রশ্মি পাওয়া যাবে তাদের ভিতর কোন পথ পার্থক্য থাকে না। তাই কেন্দ্র বিন্দু উজ্জ্বল হওয়াই উচিত। কিন্তু ব্যতিচারি রশ্মিদ্বয়ের একটিতে প্রতিফলনের জন্য π দশা-পার্থক্য এসে যাওয়ায় রশ্মিদ্বয় ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার ঘটায় এবং কেন্দ্রবিন্দুকে অন্ধকার বা কৃষ্ণবিন্দু করে।

নিউটন রিংগুলির ব্যাসার্ধ বড় করতে হলে কি করা প্রয়োজন ?

হিসাব করলে দেখা যায় যে রিং গুলির ব্যাসার্ধ লেন্সের বক্রপৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধের বর্গ মূলের সমানুপাতি ($r_n \propto \sqrt{R}$)। অতএব, বৃহৎ বক্রতা-ব্যাসার্ধের লেন্স ব্যবহার করলে নিউটন রিংগুলির ব্যাসার্ধ বড় হবে।

নিউটন রিং ব্যবস্থায় কাচপ্লেট এবং লেন্সের ভিতরকার বায়ুস্তরের পরিবর্তে জল ব্যবহার করা হল। রিং-এর কি পরিবর্তন ঘটবে ?

বায়ুর পরিবর্তে জল ব্যবহার করলে রিংগুলির ব্যাস হ্রাস পাবে — অর্থাৎ রিংগুলি সংকুচিত হবে।

নিউটন রিং পরীক্ষায় বৃত্তাকার ঝালরের কেন্দ্রবিন্দু উজ্জ্বল করতে হলে কি করা প্রয়োজন ?

কেন্দ্রবিন্দু উজ্জ্বল করতে হলে লেন্স ও কাচপ্লেটের মাঝখানে বায়ু সরের পরিবর্তে এরূপ একটি তরল পদার্থের সর (film) ব্যবহার করতে হবে যার প্রতিসরাঙ্ক (μ_L) লেন্সের প্রতিসরাঙ্ক (μ_{lens}) অপেক্ষা কম কিন্তু কাচ প্লেটের প্রতিসরাঙ্ক (μ_{glass}) অপেক্ষা বেশি ($\mu_{lens} > \mu_L > \mu_{glass}$) হবে। এ অবস্থায় প্রতিফলনের দরুন দশা-পার্থক্য আসবে না ; আবার স্পর্শবিন্দুতে $t = 0$ হওয়ায় কোন পথ-পার্থক্য থাকবে না। ফলে ব্যতিচারি তরঙ্গদ্বয় সমদশায় মিলিত হয়ে কেন্দ্র বিন্দুতে উজ্জ্বল করবে।

নিউটন রিংসমূহের ঠিক মধ্যের ঝালরটি অন্ধকার। কিন্তু সাদা আলোর ক্ষেত্রে ঝালরসমূহ রঙিন কেন ? **[C.U. 1990 ; Burd. U. 1983 ; Tripura U. 1993]**

এক বর্ণ আলোর পরিবর্তে সাদা আলো ব্যবহার করলে, কেন্দ্রবিন্দু কৃষ্ণবর্ণ হবে ; কৃষ্ণবর্ণ হবার শর্ত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু অন্য রিংগুলিতে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। এক এক জায়গায় এক একটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি করে অনুপস্থিত থাকে এবং অন্যান্য বর্ণের তরঙ্গগুলি উপস্থিত থেকে রিং-কে রঙিন করে। দূরবর্তী রিং-গুলি আবার সাদা দেখাবে কারণ দূরের রিং-এ বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলি সমাপতিত হয়ে রিঙের বর্ণ নষ্ট করে দেবে।

ফ্রেনেল যুগ্ম প্রিজম কর্তৃক গঠিত ব্যতিচার ঝালরকে একদেশতাবিহীন (non localised) ঝালর বলা হয় কেন ? নিউটন রিং ঝালরও কি এক দেশতাবিহীন ঝালর ?

ফ্রেনেল যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় অভিনেত্রকে যুগ্ম প্রিজমের সম্মুখে যে-কোন জায়গাতে রাখলে অভিনেত্রের ভিতর দিয়ে ব্যতিচার ঝালর দেখা যায়। ব্যতিচার ঝালর কোন নির্দিষ্ট জায়গায় সীমাবদ্ধ নয় বলে, একে একদেশতাবিহীন ঝালর বলে। নিউটন রিং এই অর্থে একদেশতাবিহীন ঝালর নয়। নিউটন রিং ঝালর কেবলমাত্র উত্তল লেন্স এবং কাচপ্লেটের মধ্যে আবদ্ধ বায়ুতে গঠিত হয় বলে, একে একদেশতাযুক্ত (localised) ঝালর বলা হয়।

নিউটন রিং পরীক্ষায় পঞ্চম ও পঁচিশতম কালো রিংঙের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1.8 mm এবং 5 mm হলে ও ব্যবহৃত সমতলোত্তল লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 50 cm হলে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। **[C.U. 2007]**

আমরা জানি, $\lambda = \dfrac{D_{n+m}^2 - D_n^2}{4mR}$

এখানে, $D_{n+m}^2 = (5\text{mm})^2 = (0.5\text{ cm})^2 = 0.25\text{ cm}^2$ এবং

$D_n^2 = (1.8\text{ mm})^2 = 0.0324\text{ cm}^2$

$\therefore \lambda = \dfrac{0.25 - 0.0324}{4 \times 20 \times 50} = \dfrac{0.2176}{4 \times 10^3} = 5.44 \times 10^{-5}\text{ cm}$

নিউটন বলয়ের তৃতীয় উজ্জ্বল রিং-এর ব্যাস 0.00181 m এবং 23তম উজ্জ্বল রিং-এর ব্যাস 0.00501 m। লেন্সের নিম্ন তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ 0.50 m হলে, আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত ? **[C.U. 2004]**

নিউটন বলয়ের ক্ষেত্রে উজ্জ্বল রিংঙের ব্যাস $D_n^2 = 4(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}R$

অনুরূপভাবে, $(n+m)$ তম উজ্জ্বল রিংঙের ব্যাসার্ধ $D_{n+m}^2 = 4\{2(n+m)+1\}\dfrac{\lambda}{2}R$

$\therefore D_{n+m}^2 - D_n^2 = 4\dfrac{\lambda}{2}(2n + 2m + 1 - 2n - 1)R = 4mR\lambda$

অথবা, $\lambda = \dfrac{D_{n+m}^2 - D_n^2}{4mR}$

এখানে, $D_{n+m}^2 = (0.00501)^2$; $D_n^2 = (0.00181)^2$; $m = 23 - 3 = 20$ এবং $R = 0.5$ m

$\therefore \lambda = \dfrac{(0.00501)^2 - (0.00181)^2}{4 \times 20 \times 0.5} = \dfrac{0.00682 \times 0.00320}{40}\text{ m} = 5456 \times 10^{-10}\text{ m}.$

সমতল কাচপ্লেট এবং তার উপর অবস্থিত plano-convex লেন্স এর মধ্যে কোন তরল রেখে লম্বভাবে একবর্ণী আলোর সাহায্যে উৎপন্ন নিউটন রিং-এর n তম এবং $(n+10)$-তম উজ্জ্বল রিংয়ের ব্যাস যথাক্রমে 2.18 mm এবং 4.51 mm দেখা যায়। তরলটির প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। দেওয়া আছে লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধ = 90 cm এবং আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য = 5893 Å. [N.B.U. 1983]

$$\mu = \frac{4m\lambda R}{d_{m+n}^2 - d_n^2}$$

এক্ষেত্রে $m = (n+10-n) = 10$; $\lambda = 5893\text{Å} = 5893 \times 10^{-8}$ cm ; $d_{m+n} = 4.51$ mm $= 0.451$ cm, $d_n = 2.18$ mm $= 0.218$ cm এবং $R = 90$ cm

$$\therefore \mu = \frac{4 \times 10 \times 5893 \times 10^{-8} \times 90}{(0.451)^2 - (0.218)} = \frac{4 \times 9 \times 10^{-6} \times 5893}{0.669 \times 0.233} = \frac{36 \times 5893}{669 \times 233} = 1.36$$

নিউটন রিং পরীক্ষায় পঞ্চম এবং পঞ্চদশ কালো রিং-এর ব্যাস যথাক্রমে 0.336 cm এবং 0.590 cm; যদি ব্যবহৃত সমতলোত্তল লেন্সের বক্রপৃষ্ঠের বক্রতা ব্যাসার্ধ 100 cm হয় তবে ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = \dfrac{D_{n+s}^2 - D_n^2}{4Rs} = \dfrac{(0.590)^2 - (0.336)^2}{4 \times (15-5) \times 100}$

$$= \frac{0.926 \times 0.254}{4 \times 10 \times 100} = 5880 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$= 5800 \text{ Å}.$$

নিউটনের বলয়সমূহের পরীক্ষায়, n-তম অন্ধকার বলয়ের ব্যাসার্ধ 4 mm এবং $(n+5)$-তম অন্ধকার বলয়ের ব্যাসার্ধ 6 mm পাওয়া গেল। যদি লেন্সের নিচের তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 10 মিটার হয়, তাহলে ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং বলয়সংখ্যা (n) নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\lambda = \dfrac{P^2_{n+s} - P^2_n}{RS}$

এখানে $S = 5$, $R = 10^3$ cm, $P_{n+5} = 0{\cdot}6$ cm, $P_n = 0{\cdot}4$ c

$$\therefore \quad \lambda = \frac{(0{\cdot}6)^2 - (0{\cdot}4)^2}{5 \times 10^3} = 4 \times 10^{-5} \text{ cm.}$$

n-তম অন্ধকার বলয়ের ব্যাসার্ধ পাই

$$P_n^2 = Rn\lambda \qquad or, \quad n = \frac{P_n^2}{R\lambda}$$

$$or, \quad n = \frac{(0{\cdot}4)^2}{10^3 \times 4 \times 10^{-5}} \qquad or, \quad n = 4$$

নিউটনের বলয়সমূহের পদ্ধতিতে যদি একটি জলের ফোঁটা ($\mu = \frac{4}{3}$) লেন্স এবং প্লেটের মধ্যে রাখা হয়, তাহলে 10-তম বলয়ের ব্যাস পাওয়া যায় 0·6 cm ; প্লেটের সংস্পর্শে লেন্সের যে তল আছে তার বক্রতা ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000Å.

আমরা জানি, $D_n^2 = \frac{4n\lambda R}{\mu}$ $\quad or, \quad R = \frac{\mu D_n^2}{4n\lambda}$

এখানে, $\mu = \frac{4}{3}$, $D_n = 0.6$ cm, $n = 10$, $\lambda = 6000Å = 6 \times 10^{-5}$ cm

$$\therefore \quad R = \frac{4 \times (0.6)^2}{3 \times 4 \times 10 \times 6 \times 10^{-5}} \qquad \therefore \quad R = 200\text{cm}$$

নিউটনের বলয়ের সাহায্যে পরীক্ষা পদ্ধতিতে 10তম বলয়ের ব্যাস 1·40 cm থেকে 1·27 cm হল, যখন লেন্স এবং প্লেটের মধ্যে একটি তরল রাখা হল। তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

তরল মাধ্যমের জন্য $D_1^2 = \frac{4n\lambda R}{\mu}$ (1)

এবং বায়ু মাধ্যমের জন্য $D_2^2 = 4n\lambda R$ (2)

(2) কে (1) দিয়ে ভাগ করে পাই,

$$\mu = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

এখানে $D_1 = 1{\cdot}27$ cm এবং $D_2 = 1{\cdot}40$ cm.

$$\therefore \quad \mu = \left(\frac{1{\cdot}40}{1{\cdot}27}\right)^2 = 1{\cdot}215.$$

সোডিয়াম আলো দ্বারা কাচ প্লেট এবং উত্তল লেন্সের মধ্য দিয়ে অভিলম্ব-ভাবে নিউটনের বলয় দেখা গেল। অন্ধকার বলয়ের ক্রম (order) কত হলে, সেটি 10 তম অন্ধকার বলয়ের ব্যাসের দ্বিগুণ হবে?

n-তম বলয়ের ব্যাসের বর্গ ঝালরের ক্রমের (order) সঙ্গে সমানুপাতী। যদি ঝালরের ক্রম (order) n হয়, তখন

$$\frac{n}{40} = \frac{D_n^2}{D_{40}^2} = \frac{4D_{40}^2}{D_{40}^2} = 4. \qquad [\because D_n = 2D_{40}]$$

$$\therefore \quad n = 160.$$

সুতরাং, 160তম অন্ধকার বলয়ের ক্রমের (order) ব্যাস 40তম অন্ধকার বলয়ের ক্রমের (order) ব্যাসের দ্বিগুণ।