ভৌত আলোকবিজ্ঞান
Physical Optics

ইউনিট
৭

ভূমিকা (Introduction)

১৮৬৪ সালে বিজ্ঞানী জেম্স ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল আলোর তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ তত্ত্বের প্রবর্তন করেন। তার মতে তড়িৎ ক্ষেত্র তরঙ্গ ও চৌম্বক ক্ষেত্র তরঙ্গের সমন্বয়ে গঠিত তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ আকারে আলো সঞ্চালিত হয়। ১৮৮৭ সালে বিজ্ঞানী হেনরিক হার্জ ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বের পরীক্ষামূলক প্রমাণে সমর্থ হন। এর প্রায় দু'শ বছর আগে ডাচ্ বিজ্ঞানী ক্রিষ্টিয়ান হাইগেন্স (Christian Huygens) ১৬৭৮ সালে আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের উপস্থাপন করেন। তার মতে মহাবিশ্বে সর্বত্র এবং সকল বস্তুর মধ্যে ইথার নামক এক প্রকার মাধ্যম বাহিত হয়ে আলো অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হয়। আলোক তরঙ্গ যখন রেটিনার উপর আপতিত হয় তখন দৃষ্টির অনুভূতি জন্মে। তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ভিন্নতা থেকে বিভিন্ন বর্ণের অনুভূতি সৃষ্টি হয়। তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি আলোকীয় ঘটনার ব্যাখ্য প্রদান করা সম্ভব হয়।

পাঠ ৭.১: তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ
Electromagnetic Waves

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৭.১.১ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ (Electromagnetic Waves): বিজ্ঞানী জেম্স ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (James Clerk Maxwell) ১৮৬৫ সালে আলোকে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গরূপে উপস্থাপন করেন। তিনি বলেন আলো তড়িৎক্ষেত্র (Electric field) ও চৌম্বক ক্ষেত্রের (Magnetic field) চলতরঙ্গ অর্থাৎ আলো একটি তড়িৎচুম্বক তরঙ্গ। এই সময় দৃশ্যমান আলো, অবলোহিত ও অতিবেগুনী রশ্মি ছাড়া অন্য কোনো তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের অস্ড়িত্ব জানা ছিল না। ম্যাক্সওয়েলের তড়িতচৌম্বক তত্ত্ব অনুসারে, যে কোনো তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের গতি পথের প্রতিটি বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র বিদ্যমান। এই ক্ষেত্র দুটি সরল ছন্দিত স্পন্দনে কম্পিত হতে থাকে এবং এই কম্পন এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে সঞ্চালিত হয়। এই ভাবে তড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বিস্ড়ার লাভ করে। তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো জড় মাধ্যম ছাড়াই চারিদিকে ছড়িয়ে পরতে পারে। অর্থাৎ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। এই তরঙ্গ শূন্য মাধ্যমেও চলাচল করতে পারে।

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া অধ্যায়ে আমরা দেখেছি,

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র, $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ ……………………………………… (৭.১)

এই সূত্রের কিছু সীমাবদ্ধতা আছে। তড়িৎ প্রবাহ পরিবর্তনশীল হলে সমীকরণটি কী রূপ নিবে তা বলা হয় নি। যেমন, কোনো বর্তনীতে ধারক থাকলে ধারকটি যখন চার্জিত হয় বা অচার্জিত হয় তখন বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটে কিন্তু ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যে কোনো তড়িৎ প্রবাহ হয় না। সুতরাং, এই ক্ষেত্রে উপরের সমীকরণটি প্রযোজ্য হবে না। সমীকরণটির এই ত্রুটি দূর করার জন্য ম্যাক্সওয়েল সমীকরণটির ডানদিকে অতিরিক্ত একটি রাশিমালা যুক্ত করেন।

রাশিটি হলো, $\mu_0 I_d = \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{d\phi_E}{dt}$ ……………………………………… (৭.২)

ম্যাক্সওয়েল I_d রাশিটিকে সরণ প্রবাহমাত্রা (displacement current) হিসাবে উলেণ্ঢখ করেন।

এই রাশির ε_0 শূন্য মাধ্যমে তড়িৎ ভেদন যোগ্যতা এবং এবং $\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ হলো কোনো গাউসীয় তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় তড়িৎ ফ্লাক্স। তাহলে, $\frac{d\phi_E}{dt}$ হলো তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হার। সুতরাং, $I_d = \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$ রাশিটি পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্রকে নির্দেশ করে। আর এই পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্রই হলো বর্তনীতে সংযুক্ত ধারকের চার্জিত বা অচার্জিত হবার সময় পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলে উপস্থিত তড়িৎ প্রবাহের সমতুল্য। সুতরাং এই জাতীয় বর্তনীকে বিচ্ছিন্ন বর্তনী হিসাবে ধরা হয় না।

সূতরাং, অ্যাম্পিয়ারের সূত্রের পরিবর্তিত রূপ হলো, $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$ ... ... (৭.৩)

যা অ্যাম্পিয়ার-ম্যাক্সওয়েল সূত্র নামে পরিচিত।

তাড়িতচৌম্বক আবেশ অধ্যায়ে আমরা দেখেছি ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, $E = -n \frac{d\phi_B}{dt}$ ... ... (৭.৪)

এই সমীকরণ নির্দেশ করে পরিবর্তিত চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে।
এই সমীকরণ দুটি সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এই পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র তরঙ্গের মত ছড়িয়ে পড়ে যাকে আমরা তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বলি।
অতএব, **কোনো স্থানে পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের অস্ড়িত্ব থাকলে সেটি যে তরঙ্গ আকারে ছড়িয়ে পড়ে তাকে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বলে।**

ম্যাক্সওয়েল গাণিতিক ভাবে আরো প্রমাণ করেন যে, শূন্য স্থানে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বেগ, $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$

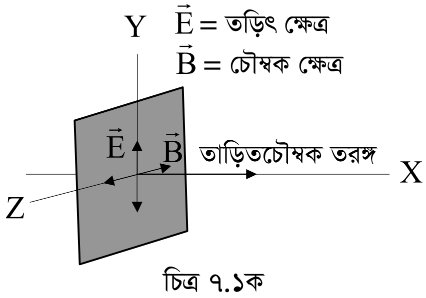
এখানে, μ_0 = শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (permeability) = $1.26 \times 10^{-6}\,\mathrm{Hm^{-1}}$
এবং ε_0 = শূন্য স্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা (permitivity) = $8.85 \times 10^{-12}\,\mathrm{Fm^{-1}}$

সমীকরণে এই মান বসালে, $v = \frac{1}{\sqrt{1.26 \times 10^{-6} \times 8.85 \times 10^{-12}}} = 2.99 \times 10^{8}\,\mathrm{ms^{-1}} \approx 3 \times 10^{8}\,\mathrm{ms^{-1}} = c$

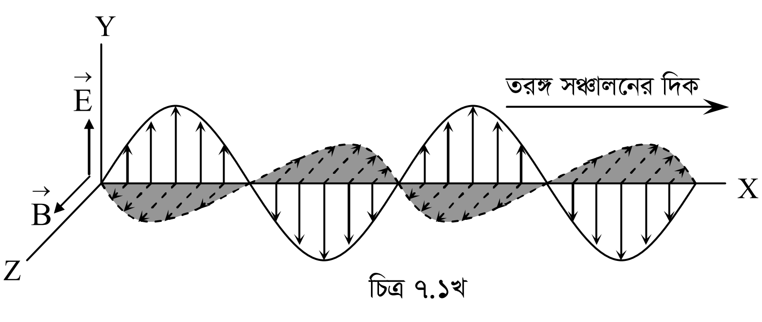
শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগের সমান হয়। এর থেকে ম্যাক্সওয়েল সিদ্ধান্ড় নেন, আলো তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ।

সুতরাং, শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ, $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ ... ... (৭.৫)

শুধু আলোই নয়, বেতার তরঙ্গ, মাইক্রো তরঙ্গ, অবলোহিত রশ্মি, অতিবেগুনী রশ্মি, এক্স রশ্মি, গামা রশ্মি ইত্যাদি সবই তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ।
১৮৮৮ সালে জার্মান বিজ্ঞানী হাইনরিচ হার্জ (Heinrich Hertz) সর্বপ্রথম তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ পরীক্ষামূলকভাবে উৎপাদন করেন এবং সনাক্ত করার ব্যবস্থা করেন। তার পরীক্ষার মাধ্যমে ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণগুলোর সত্যতা প্রমাণিত হয়।
৭.১.২ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের তরঙ্গ প্রকৃতি (Wave Nature of Electromagnetic Waves): তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের



চিত্র ৭.১ক



চিত্র ৭.১খ

তড়িৎক্ষেত্র $\vec{\mathrm{E}}$, চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{\mathrm{B}}$ এবং তরঙ্গের গতির অভিমুখ সর্বদাই পরস্পর লম্বভাবে থাকে (চিত্র ৭.১ক)। সুতরাং, তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ এক ধরণের তির্যক তরঙ্গ। (চিত্র ৭.১ক)। ধরা যাক, একটি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ ধনাত্মক $X-$অক্ষ বরাবর বিস্ড়্রর লাভ করে। সেক্ষেত্রে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{\mathrm{E}}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{\mathrm{B}}$ যথাক্রমে Y-অক্ষ এবং Z-অক্ষের সমান্ড়রালভাবে কম্পনশীল হয়। t সময়ে মূলবিন্দু থেকে x দূরত্বে তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রকে যে দুটি রাশিমালা দিয়ে প্রকাশ করা হয় তা হলো যথাক্রমে,

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx) = E_0 \sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - x) \quad \text{(৭.৬)}$$

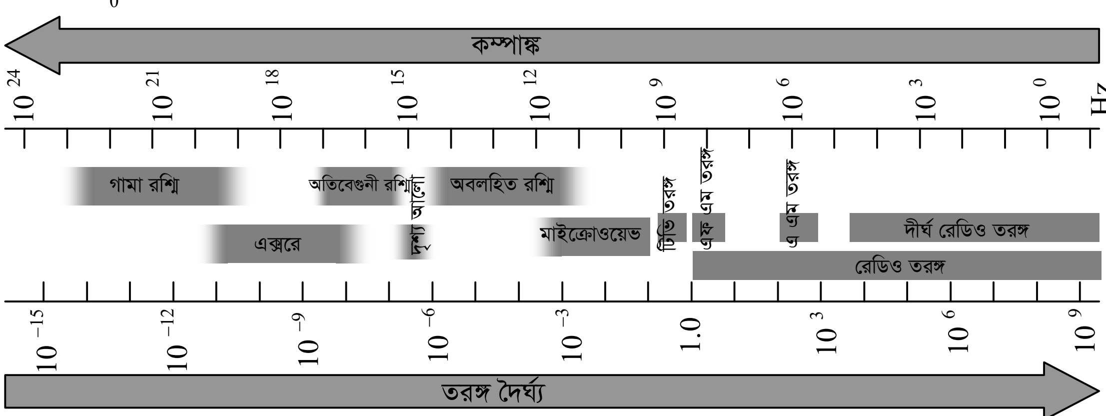
$$B = B_0 \sin(\omega t - kx) = B_0 \sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - x) \quad \text{(৭.৭)}$$

এখানে, k হলো তরঙ্গ সংখ্যা। এই দুটি সমীকরণ চলতরঙ্গের সমীকরণ। এই দুটি ক্ষেত্রের কোনোটিই প্রকৃতিতে একক ভাবে থাকতে পারে না। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ, তড়িৎক্ষেত্র তরঙ্গ ও চৌম্বক ক্ষেত্র তরঙ্গের কম্পাঙ্ক সমান এবং উভয়ের দশা একই। দুটি ক্ষেত্র অনবরত একে অপরকে আবেশের মাধ্যমে সৃষ্টি করে চলে এবং ক্ষেত্র দুটির সাইনধর্মী (Sinusodial) পরিবর্তনই তরঙ্গ হিসাবে এগিয়ে চলে। (৭.১খ) চিত্রে তড়িৎক্ষেত্র তরঙ্গ XY-তলে ও চৌম্বকক্ষেত্র তরঙ্গ XZ-তলে অবস্থান করছে এবং তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ X-অক্ষ বরাবর অগ্রসর হচ্ছে। ম্যাক্সওয়েল আরো দেখান যে, তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্ড়্ররের অনুপাত থেকেও তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বেগের মান পাওয়া যায়।

অর্থাৎ, $$\frac{E_0}{B_0} = c \quad \text{(৭.৮)}$$

(৭.৬) ও (৭.৭) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়, $\dfrac{E}{B} = \dfrac{E_0 \sin(\omega t - kx)}{B_0 \sin(\omega t - kx)} = \dfrac{E_0}{B_0}$

বা, $$\frac{E}{B} = \frac{E_0}{B_0} = c \quad \text{(৭.৯)}$$



চিত্র- ৭.২

কোনো তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ, কোনো মাধ্যমে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ν হলে ঐ মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ হবে $\nu\lambda$। মাধ্যম পরিবর্তন হলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যর তথা বেগের মানের পরিবর্তন হয়ে যায় কিন্তু কম্পাঙ্ক অপরবর্তিত থাকে।

৭.১.৩ তাড়িতচৌম্বক বর্ণালী (Electromagnetic Spectrum): এখন আমরা তাড়িতচৌম্বক বর্ণালী বিষয়ে আলোচনা করবো। তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গের মাঝে আমরা ডুবে আছি। কিছু বিশেষ বৈশিষ্ট্য ও ব্যবহারের উপর ভিত্তি করে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য পালণ্ডার কয়েকটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়েছে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমানুসারে রেডিও তরঙ্গ, মাইক্রোওয়েভ, অবলোহিত রশ্মি, দৃশ্যমান আলো, অতিবেগুণী রশ্মি, এক্সরে, গামা রশ্মি হলো কয়েকটি উলেণ্ডখযোগ্য তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। (৭.২ নং) চিত্রে তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্কের বিন্যাস দেখানো হয়েছে। বর্ণনার সুবিধার জন্য তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীর ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যর পালণ্ডায় অবস্থিত তাড়িতচৌম্বক

তরঙ্গগুলোকে ভিন্ন ভিন্ন নাম দেয়া হয়েছে। বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লার একটি তালিকা এবং এর বিভিন্ন অংশের বর্ণনা নিচে দেয়া হলো তবে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এই পাল্লা খুব সুনির্দিষ্ট নয়।

তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ	**তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে পাল্লা**	**উৎস**	**ব্যবহার**
রেডিও তরঙ্গ	0.1m থেকে 10^4m	কোনো পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে ত্বরণসহ গতিশীল চার্জ, *LC* স্পন্দকের মত ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি ইত্যাদি।	মোবাইল ফোন, বিমান চালনা, রেডিও এবং টিভি সংক্রান্ড় যোগাযোগ ব্যবস্থায় এই তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়।
মাইক্রোওয়েভ	10^{-4}m থেকে 0.3m	বিভিন্ন ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি।	মাইক্রোওয়েভ চুলিণ্ডতে এই ধরণের বিকিরণ ব্যবহার করে রান্না করা হয়। রাডার ব্যবস্থায় তথ্য সংগ্রহ করা এবং পদার্থের পারমাণুবিক ও আনবিক ধর্ম পরীক্ষা সংক্রান্ড় কাজে এই তরঙ্গ তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়।
অবোলহিত রশ্মি	7×10^{-7}m থেকে 10^{-3}m	পদার্থের অণু এবং ঘরের তাপমাত্রায় থাকা কোনো বস্তু হলো এর উৎস।	চিকিৎসা ক্ষেত্রে, কম্পন সংক্রান্ড় বর্ণালী বিদ্যায় এবং অবলহিত ফটোগ্রাফিতে এই তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়।
দৃশ্যমান আলো	7×10^{-7}m থেকে 4×10^{-4}m	অণু ও পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের পুনর্বিন্যাসের কারণে দৃশ্যমান আলোর নিঃসরিত হয়।	এই তরঙ্গ আমাদের দেখার অনুভূতি জাগায়। লাল বর্ণ থেকে বেগুনী বর্ণ এই এঙ্গ তরঙ্গের সীমা।
অতিবেগুণী রশ্মি	6×10^{-8}m থেকে 4×10^{-7}m	সূর্য।	সূর্যালোকের অতিবেগুনী রশ্মির উপস্থিতিতে ত্বকে ভিটামিন *D* সংশেণ্ডষিত হয়। ত্বকের বিভিন্ন রোগ নিরাময়ে এই রশ্মি ব্যবহার করা হয়।
এক্সরে	10^{-11}m থেকে 10^{-8}m	উচ্চ গতিশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন স্রোত দিয়ে আঘাত প্রাপ্ত ধাতব লক্ষ্যবস্তু।	বিভিন্ন প্রকার রোগের কারণ অনুসন্ধানে, ক্যান্সার কোষ ধ্বংসের জন্য এই রশ্মি ব্যবহার করা হয়। তবে এই রশ্মি কোনো জীবিত কোষে আপতিত হলে সেই কোষ ধ্বংস করে। কেলাসিত পদার্থের গঠন অনুসন্ধানে এই রশ্মি ব্যবহার করা হয়।
গামা রশ্মি	10^{-11}m থেকে ছোট তরঙ্গদৈর্ঘ্য		এই রশ্মি বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা নিরীক্ষায় বেশী ব্যবহৃত হয়। এই রশ্মি কোনো জীবিত কোষে আপতিত হলে সেই কোষ ধ্বংস করে। এর ভেদন ক্ষমতা অত্যধিক বেশী যে পুর" সিসার তৈরি পর্দা ছাড়া এই রশ্মি শোষিত হয় না।

উদাহরণ ৭.১: শূন্য স্থানে একটি তাড়িতচৌম্বক বিকিরণের সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্র $9\times10^2\,\text{NC}^{-1}$ । এর সর্বোচ্চ চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর"ন।

সমাধান: দেয়া আছে, $E_m = 9\times10^2\,\text{NC}^{-1}$, $c = 3\times10^8\,\text{ms}^{-1}$ এবং $B_m = ?$

আমরা জানি, তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের দ্রুতি, $c = \dfrac{E_m}{B_m}$

বা, $B_m = \dfrac{E_m}{c}$

মান বসালে $B_m = \dfrac{9\times10^2}{3\times10^8} = 3\times10^{-6}\ \mathrm{T}$

উঃ $3\times10^{-6}\ \mathrm{T}$

উদাহরণ ৭.২: কোনো স্থানে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের তড়িৎক্ষেত্র তরঙ্গের সমীকরণ হল, $E = 100\sin\dfrac{2\pi}{\lambda}(ct-r)\ \mathrm{NC^{-1}}$ এর চৌম্বকক্ষেত্র তরঙ্গের সমীকরণ নির্ণয় কর।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $E = 100\ \sin\dfrac{2\pi}{\lambda}(ct-r)$, $c = 3\times10^8\ \mathrm{ms^{-1}}$ এবং $B = ?$

আমরা জানি, তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের দ্রুতি, $c = \dfrac{E}{B}$

বা. $B = \dfrac{E}{c}$

মান বসালে, $B = \dfrac{60\sin\dfrac{2\pi}{\lambda}(ct-r)}{3\times10^8} = 2\times10^{-7}\sin\dfrac{2\pi}{\lambda}(ct-r)\ \mathrm{T}$ উত্তর।

সার-সংক্ষেপ :

তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গঃ কোনো স্থানে পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের অস্তিত্ব থাকলে সেটি যে তরঙ্গ আকারে ছড়িয়ে পড়ে তাকে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বলে। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$, চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং তরঙ্গের গতির অভিমুখ সর্বদাই পরস্পর লম্বভাবে থাকে। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ এক ধরণের তির্যক তরঙ্গ। শূন্য স্থানে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বেগ, $c = \dfrac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$

তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীঃ কিছু বিশেষ বৈশিষ্ট্য ও ব্যবহারের উপর ভিত্তি করে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাল্লাকে কয়েকটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়েছে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমানুসারে রেডিও তরঙ্গ, মাইক্রোওয়েভ, অবলোহিত রশ্মি, দৃশ্যমান আলো, অতিবেগুণী রশ্মি, এক্সরে, গামা রশ্মি হলো কয়েকটি উল্লেখযোগ্য তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গের মাঝে আমরা ডুবে আছি।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১. নীচের কোনটি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ নয়?

ক. অতিবেগুনী রশ্মি খ. এক্সরে গ. β-রশ্মি ঘ. গামা রশ্মি

২. শূন্য স্থানে কোনো তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তারের অনুপাত

ক. $\dfrac{1}{\mu_0\varepsilon_0}$ খ. $\dfrac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ গ. $\mu_0\varepsilon_0$ ঘ. $\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$

পাঠ ৭.২: তরঙ্গ : হাইগেনস্ এর নীতি
Waves : Huygens' Principles

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- তরঙ্গ ও তরঙ্গমুখের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তরঙ্গ সঞ্চালন সংক্রান্ড় হাইগেনস্ এর নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৭.২.১ তরঙ্গ ও তরঙ্গমুখের ধারণা (Concept of Wavefront):

স্থির পানিতে ঢিল ফেললে তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। ঢিলটি যেখানে পড়ে সেই স্থান থেকে নির্দিষ্ট বেগে পানির তলের উপর চারিদিকে এই তরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ে। পনির কণা কিন্তু তরঙ্গের সাথে অনুভূমিক ভাবে ছড়ায় না বরং একই স্থানে থেকে উলম্ব বরাবর কম্পিত হতে থাকে। ধরা যাক, আলোড়নের কেন্দ্র থেকে কিছু দূরে অবস্থিত একটি পানির কণার উলম্ব সরণ সর্বাধিক। সে সময় আলোড়ন কেন্দ্র অর্থৎ তরঙ্গ উৎস থেকে ঐ কণার দূরত্বের সমান ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তের পরিধি উপর অবস্থিত অন্য সব উলম্ব সরণ সর্বাধিক। সুতরাং তরঙ্গ উৎস থেকে সমদূরত্বে থাকা প্রতিটি কণা যে কোনো মুহূর্তে সম দশা সম্পন্ন।

কোনো উৎস থেকে তরঙ্গ যখন শূন্য বা কোনো মাধ্যমে মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয় তখন শূন্য বা কোনো মাধ্যমের বিন্দুগুলো কম্পিত হতে থাকে। যেকোনো মুহূর্তে একই দশা সম্পন্ন বিন্দুগুলো যে রেখায় বা তলের উপর অবস্থিত থাকে তাকে তরঙ্গমুখ বলে।

ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনো বিন্দু কম্পিত হলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় সেটি ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ। এই ক্ষেত্রে সেই বিন্দুকে কেন্দ্র করে একটি গোলক কল্পনা করলে ঐ গোলকের পৃষ্ঠের উপর অবস্থিত বিন্দুগুলি সমদশা সম্পন্ন। সুতরাং এই ক্ষেত্রে গোলকীয় তরঙ্গমুখ পাওয়া যাবে। আর যদি গোলকের ব্যাসার্ধ খুব বড় হয় তবে সেক্ষেত্রে গোলকীয় তরঙ্গমুখের ক্ষুদ্র অংশকে সমতল তরঙ্গমুখ হিসাবে বিবেচনা করা যাবে।

তরঙ্গমুখ সাধারণত তিন প্রকারের হয়;

(ক) **গোলীয় তরঙ্গমুখ:** কোনো বিন্দু উৎস বা ক্ষুদ্র ছিদ্র থেকে আলোক তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়লে যে তরঙ্গমুখ অগ্রসর হয় সেটি গোলাকার তরঙ্গমুখ।

(খ) **চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ:** কোনো রেখা থেকে বা চিড় থেকে আলোক তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়লে যে তরঙ্গমুখ অগ্রসর হয় সেটি চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ। কারণ কোনো রেখা উৎস থেকে সমদূরত্বে অবস্থিত বিন্দুগুলো একটি চোঙের তলে অবস্থান করে।

(গ) **সমতল তরঙ্গমুখ:** অসীমে অবস্থিত উৎস থেকে যে রশ্মিগুলো আসে সেগুলো সমান্ড়রাল হওয়ায় এর তরঙ্গমুখ সমতল হয়। ফলে সমতল তরঙ্গমুখ সৃষ্টি হয়।

৭.২.২ তরঙ্গমুখের বৈশিষ্ট (Properties of Wavefront):

তরঙ্গমুখের কতকগুলি বৈশিষ্ট আছে, তা নীচে দেয়া হলো।

১। তরঙ্গমুখের যেকোনো বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব ঐ বিন্দুতে তরঙ্গের বেগের দিক নির্দেশ করে।

২। কোনো তরঙ্গের বেগ বলতে প্রকৃত পক্ষে তরঙ্গমুখের বেগকে বোঝায়। অথাৎ, তরঙ্গের বেগ v হলে তরঙ্গমুখের বেগও v ।

৩। তরঙ্গমুখ সমতল বা গোলীয় যাই হোক না কেন,পরস্পর দুটি সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গমুখের লম্ব দূরত্বকে ঐ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

৪। একই তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত যে কোনো দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য সর্বদাই শূন্য।

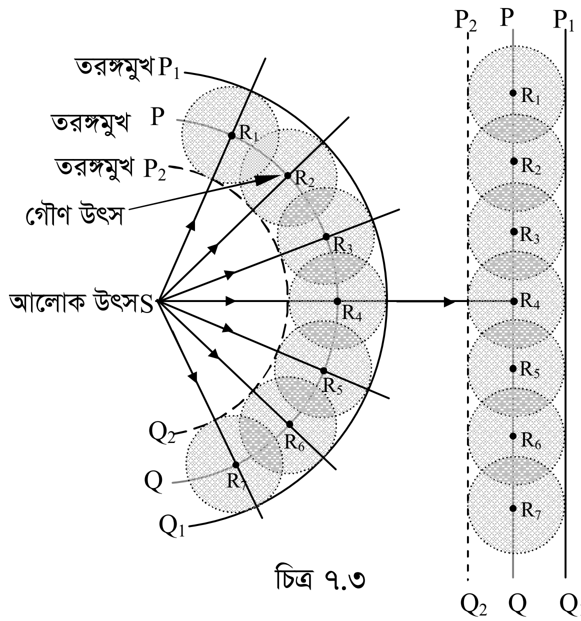
৭.২.৩ হাইগেনস্রে নীতি (Huygens' Principles):

ডাচ বিজ্ঞানী ক্রিস্টিয়ান হাইগেন্স (Christian Huygens) ১৬৭৮ সালে তরঙ্গমুখের সঞ্চালন বিষয়ে একটি জ্যামিতিক পদ্ধতির অবতারণা করেন। তার এই পদ্ধতি প্রয়োগ করলে আলেকের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যাতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি খুব সহজেই ব্যাখ্যা করা যায় এবং অনুভব করা যায়। অর্থাৎ আলোকীয় ঘটনাগুলো ব্যাখ্যার জন্য খুব উপযোগী।

হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে একটি তরঙ্গমুখের আকৃতি ও অবস্থান থেকে পরবর্তী তরঙ্গমুখের আকৃতি ও অবস্থান খুব সহজেই নির্ণয় করা যায়।

হাইগেন্সের নীতি ঃ একটি তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু এক একটি আন্দোলনের ক্ষুদ্র উৎস (গৌণ উৎস) এবং ঐ বিন্দুগুলো থেকে গৌণ তরঙ্গমালা নির্গত হয়ে একই বেগে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এ সব গৌণ তরঙ্গমালা সম্মুখ দিকে মোড়ক বিবেচনা করলে বা ঐ সব তরঙ্গমালার সম্মুখ দিক স্পর্শ করে একটি তল অঙ্কন করলে তরঙ্গ মুখের নতুন অবস্থান পাওয়া যায়। এটিই হাইগেন্সের নীতি।

ব্যাখ্যা ঃ চিত্রে হাইগেন্সের নীতি দেখানো হলো। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে উৎস থেকে আলো আড় তরঙ্গ আকারে ইথার মাধ্যমের ভিতর দিয়ে চারিদিকে t সময় পর ছড়িয়ে পড়ে। আলোর বেগ c হয় তবে t` সময়ে $S$ উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গ $ct$` দূরত্ব অতিক্রম করবে। সুতরাং S উৎস থেকে ct` এর সমান ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি PQ গোলক অঙ্কণ করলে গোলকের উপর সমদশা সম্পন্ন বিন্দুর সঞ্চার পথকে তরঙ্গমুখ বলে (চিত্র ৭.৩)। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ এক একটি গৌণ উৎস হিসাবে কাজ করে এবং সেখান থেকে গোলীয় অনুতরঙ্গ চারিদিকে প্রসারিত হতে শুরু করে। এখন, t সময় পর গৌণ উৎস থেকে উৎপন্ন তরঙ্গ ct দূরত্ব অতিক্রম করবে। সুতরাং, $R_1, R_2, R_3,\ \ R_4, R_5, R_6$ প্রতিটি গৌণ উৎস থেকে ct এর সমান ব্যাসার্ধ নিয়ে এক একটি গোলক কল্পনা করলে $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ বিন্দু থেকে অনুতরঙ্গগুলো t সময় পরে গোলকগুলোর উপরিতলে পৌঁছাবে। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে ছোট ছোট গোলকগুলোর সামনের দিকের স্পর্শতল P_1Q_1 হবে t সময় পর সামনের দিকে এগিয়ে যাওয়া তরঙ্গমুখ। মনে রাখতে হবে P_1Q_1 গোলীয় তরঙ্গমুখের কেন্দ্র S।



চিত্র ৭.৩

আলোক উৎস অর্থাৎ কেন্দ্র থেকে তরঙ্গমুখের দূরত্ব খুব বেশী না হলে তরঙ্গমুখ গোলীয় হয় (চিত্র ৭.৩) এবং আলোক উৎস অর্থাৎ কেন্দ্র থেকে তরঙ্গমুখের দূরত্ব খুব বেশী হলে তরঙ্গমুখকে সমতল ধরা হয়।

হাইগেন্সের অঙ্কণ পদ্ধতি থেকে দেখা যায় যে, PQ তরঙ্গমুখের পিছনে P_1Q_1 তরঙ্গমুখের মত P_2Q_2 তরঙ্গমুখ পাওয়া যায়, যাকে পশ্চাদ্‌বর্তী তরঙ্গমুখ বলা যেতে পারে। হাইগেন্সের মতে পশ্চাদ্‌বর্তী তরঙ্গমুখের কোনো অস্তিত্ব নাই। তার এই বক্তব্যের তাত্ত্বিক এবং পরীক্ষণমূলক প্রমাণ পরে পাওয়া গেছে।

সার-সংক্ষেপ :

তরঙ্গমুখ: কোনো উৎস থেকে তরঙ্গ যখন শূন্য বা কোনো মাধ্যমে মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয় তখন শূন্য বা কোনো মাধ্যমের বিন্দুগুলো কম্পিত হতে থাকে। যেকোনো মুহূর্তে একই দশা সম্পন্ন বিন্দুগুলো যে রেখার বা তলের উপর অবস্থিত থাকে তাকে তরঙ্গমুখ বলে।

গোলীয় তরঙ্গমুখ: কোনো বিন্দু উৎস বা ক্ষুদ্র ছিদ্র থেকে আলোক তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়লে যে তরঙ্গমুখ অগ্রসর হয় সেটি গোলাকার তরঙ্গমুখ।

চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ: কোনো রেখা থেকে বা চিড় থেকে আলোক তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়লে যে তরঙ্গমুখ অগ্রসর হয় সেটি চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ। কারণ কোনো রেখা উৎস থেকে সমদূরত্বে অবস্থিত বিন্দুগুলো একটি চোঙের তলে অবস্থান

করে।

সমতল তরঙ্গমুখ: অসীমে অবস্থিত উৎস থেকে যে রশ্মিগুলো আসে সেগুলো সমান্তরাল হওয়ায় এর তরঙ্গমুখ সমতল হয়। ফলে সমতল তরঙ্গমুখ সৃষ্টি হয়।

হাইগেন্সের নীতি: একটি তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু এক একটি আন্দোলনের ক্ষুদ্র উৎস (গৌণ উৎস) এবং ঐ বিন্দুগুলো থেকে গৌণ তরঙ্গমালা নির্গত হয়ে একই বেগে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এ সব গৌণ তরঙ্গমালা সম্মুখ দিকে মোড়ক বিবেচনা করলে বা ঐ সব তরঙ্গমালার সম্মুখ দিক স্পর্শ করে একটি তল অঙ্কন করলে তরঙ্গ মুখের নতুন অবস্থান পাওয়া যায়। এটিই হাইগেন্সের নীতি।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। কোনটি আলোর তরঙ্গমুখ **নয়?**

ক. গোলীয় তরঙ্গমুখ খ. সমতল তরঙ্গমুখ গ. চোঙাকৃতি তরঙ্গমুখ ঘ. রৈখিক তরঙ্গমুখ

২। তরঙ্গমুখের বৈশিষ্ট হিসাবে বলা যায়,

i. তরঙ্গমুখের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব ঐ বিন্দুতে তরঙ্গের বেগের দিক নির্দেশ করে।

ii. পরস্পর দুটি সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গমুখের লম্ব দূরত্বকে ঐ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

iii. একই তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত যে কোনো দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য সর্বদাই শূন্য।

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii.

পাঠ ৭.৩ : হাইগেনস্ এর নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ব্যাখ্যা

Explanation of Reflection and Refraction of Light by Huygens' Principles

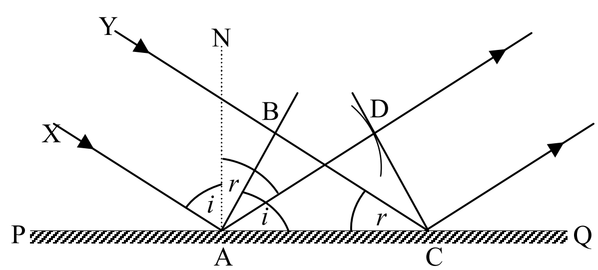
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- হাইগেনস্ এর নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলনের সূত্র বিশেণ্টষণ করতে পারবেন।
- হাইগেনস্ এর নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিসরণের সূত্র বিশেণ্টষণ করতে পারবেন।

৭.৩.১ হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে প্রতিফলণের সূত্রের প্রমাণ (Verification of Laws of Reflaction by Huygens' Principles)ঃ

ধরা যাক, X, Y দুটি সমান্তরাল আলোক রশ্মি। সুতরাং এর তরঙ্গমুখ AB সমতল। এই তরঙ্গমুখ PQ সমতল প্রতিফলক পৃষ্ঠে আপতিত হলো। এখানে উলেণ্টখ্য যে, আপতিত সমতল তরঙ্গমুখ এবং কাগজতল পরস্পর AB তলে ছেদ করেছে (চিত্র ৭.৪)। PQ প্রতিফলকতল ও কাগজতলের সাথে লম্ব ভাবে অবস্থিত। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে, AB তরঙ্গমুখের প্রতি বিন্দু গৌণ উৎস হিসাবে কাজ করবে। মনে করি, $t = 0$ সময়ে AB তরঙ্গমুখের এক প্রান্ত (XA রশ্মি) PQ প্রতিফলকতলকে A বিন্দুতে স্পর্শ করে এবং সেই মুহূর্তে AB তরঙ্গমুখের প্রতি বিন্দু অণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই অণুতরঙ্গগুলো ক্রমে ক্রমে প্রতিফলক তলে গিয়ে পৌছাবে। মনে করি, t সময় B



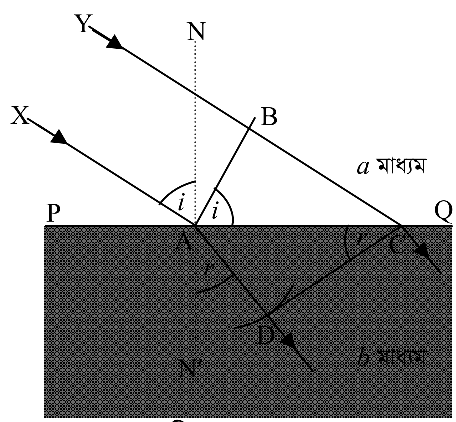
চিত্র ৭.৪

বিন্দুর অণুতরঙ্গ C বিন্দু স্পর্শ করে। আলোর বেগ c হলে $ct = BC$ । ঐ সময়ে A বিন্দু থেকে উৎপন্ন অণুতরঙ্গ ct দূরত্ব অতিক্রম করবে। এখন A বিন্দুকে কেন্দ্র করে $ct = BC$ ব্যাসার্ধের বৃত্তচাপ অঙ্কন করলে ঐ বৃত্তচাপে তরঙ্গমুখ অবস্থান করবে। এই সময় C বিন্দুতে প্রথম গৌণ তরঙ্গ সৃষ্টি হবে। সুতরাং C বিন্দু থেকে D বৃত্তচাপ এর উপর স্পর্শক অঙ্কন করলে CD হবে প্রতিফলিত তরঙ্গের পরবর্তী তরঙ্গমুখ।

প্রমাণঃ A বিন্দু থেকে AN অভিলম্ব অঙ্কন করি।
তাহলে, আপাতন কোণ $\angle \mathrm{XAN} = \angle i$ এবং প্রতিফলন কোণ $\angle \mathrm{NAD} = \angle r$
$\Delta\mathrm{ABC}$ এবং $\Delta\mathrm{ADC}$ এর মধ্যে $\angle \mathrm{ABC} = \angle \mathrm{ADC} =$ এক সমকোণ
$\mathrm{BC} = \mathrm{AD} = ct$ এবং AC সাধারণ বাহু। সুতরাং ত্রিভুজ দুটি সর্বসম।
অতএব, $\angle \mathrm{BAC} = \angle \mathrm{DCA}$ … … … … … … …… … … … … … … … … … … … (৭.১০)
আবার, $\angle \mathrm{XAN} + \angle \mathrm{NAB} = \angle \mathrm{NAB} + \angle \mathrm{BAC} =$ এক সমকোণ
বা, $\angle \mathrm{XAN} = \angle \mathrm{BAC} = \angle i$
এবং, $\angle \mathrm{NAD} + \angle \mathrm{DAC} = \angle \mathrm{DAC} + \angle \mathrm{DAC} =$ এক সমকোণ
বা, $\angle \mathrm{NAD} = \angle \mathrm{DAC} = \angle r$
(৭.১০ নং) সমীকরণ থেকে পাই, $\angle i = \angle r$ … … … … …… … … … … … … … … … … … (৭.১১)
অর্থাৎ আপতন কোণ = প্রতিফলিত কোণ। এটাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র।
আবার, আপতিত রশ্মি XA, প্রতিফলিত রশ্মি AD এবং অভিলম্ব AN কাগজ তলে অর্থাৎ একই সমতলে অবস্থিত। এটিই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র। সুতরাং হাইগেন্স নীতির সাহায্যে প্রতিসরণের সূত্র প্রমাণিত হলো।

৭.৩.২ হাইগেন্সেন নীতির সাহায্যে প্রতিসরণের সূত্রের প্রমাণ (Verification of Laws of Refraction by Huygens' Principles)ঃ

ধরা যাক, PQ হলো a ও b মাধ্যমের বিভেদ তল এবং a ও b মাধ্যমে আলার বেগ যথাক্রমে c_a ও c_b । XA ও YB দুটি সমান্ড়্রাল আলোক রশ্মি PQ বিভেদতলে আপতিত হলো। রশ্মিগুলোর উপর অঙ্কিত লম্ব AB হলো সমান্ড়্রাল তরঙ্গমুখ। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে, AB তরঙ্গমুখের প্রতি বিন্দু গৌণ উৎস হিসাবে কাজ করবে। মনে করি, $t = 0$ সময়ে AB তরঙ্গমুখের এক প্রান্ড় (XA রশ্মি) PQ প্রতিসারকতলকে A বিন্দুতে স্পর্শ করে এবং সেই মুহূর্তে AB তরঙ্গমুখের প্রতি বিন্দু অণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই অণুতরঙ্গগুলো ক্রমে ক্রমে প্রতিসারকতলে গিয়ে পৌছাবে। মনে করি, t সময় B বিন্দুর অণুতরঙ্গ C বিন্দু স্পর্শ করে। a মাধ্যমে আলোর বেগ c_a হলে $c_a t = BC$ । b মাধ্যমে আলোর বেগ c_b হলে এই t সময়ে A বিন্দু থেকে হাইগেন্স নীতি অনুসারে উৎপন্ন অনুতরঙ্গ b মাধ্যমে $c_b t = AD$ দূরত্ব অতিক্রম করবে। এখন A বিন্দুকে কেন্দ্র করে $c_b t = AD$ ব্যাসার্ধের বৃত্তচাপ অঙ্কণ করলে ঐ বৃত্তচাপে তরঙ্গমুখ অবস্থান করবে। এই সময় C বিন্দুতে প্রথম অনুতরঙ্গ সৃষ্টি হবে। সুতরাং C বিন্দু থেকে D বৃত্তচাপের উপর স্পর্শক অঙ্কণ করলে CD হবে প্রতিসরিত তরঙ্গের নতুন তরঙ্গমুখ।



চিত্র ৭.৫

প্রমাণঃ A বিন্দু থেকে NAN′ অভিলম্ব অঙ্কণ করি। তাহলে, (৭.৫ নং) চিত্র অনুসারে, আপাতন কোণ, $\angle \mathrm{XAN} = \angle i$
এবং প্রতিসরণ কোণ, $\angle \mathrm{NAB'} = \angle r$
আবার, $\angle \mathrm{XAN} + \angle \mathrm{NAB} = \angle \mathrm{NAB} + \angle \mathrm{BAC} =$ এক সমকোণ
বা, $\angle \mathrm{XAN} = \angle \mathrm{BAC} = \angle i$
এবং, $\angle \mathrm{N'AD} + \angle \mathrm{DAC} = \angle \mathrm{DAC} + \angle D\mathrm{CA} =$ এক সমকোণ
বা, $\angle \mathrm{N'AD} = \angle D\mathrm{CA} = \angle r$

এখন, $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\sin \angle BAC}{\sin \angle DCA} = \dfrac{\frac{BC}{AC}}{\frac{AD}{AC}} = \dfrac{BC}{AD} = \dfrac{c_a t}{c_b t} = \dfrac{c_a}{c_b} =$ ধ্রুবক।

এটিই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র।

আমরা জানি, a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাংক ${}_a\mu_b = \dfrac{\sin i}{\sin r}$ ।

অতএব, ${}_a\mu_b = \dfrac{c_a}{c_b}$ ……………………………………………………………… (৭.১২)

আবার, আপতিত রশ্মি XA, প্রতিসরণের রশ্মি AD এবং অভিলম্ব NAN′ কাগজ তলে অর্থাৎ একই সমতলে অবস্থিত। এটিই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র। সুতরাং হাইগেন্স নীতির সাহায্যে প্রতিসরণের সূত্র প্রমাণিত হলো।

সার-সংক্ষেপ :

হাইগেন নীতি অনুসারে: ${}_a\mu_b = \dfrac{c_a}{c_b}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। কোনটি প্রতিসরণের সূত্র **নয়?**

ক. ${}_a\mu_b = \dfrac{\sin i}{\sin r}$ খ. ${}_a\mu_b = \dfrac{c_a}{c_b}$ গ. ${}_a\mu_b = \dfrac{\lambda_a}{\lambda_b}$ ঘ. ${}_a\mu_b = \dfrac{f_a}{f_b}$

২। আলোর প্রতিসরণ হবার কারণ হলো

i. ভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগের ভিন্নতা।
ii. ভিন্ন মাধ্যমে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ভিন্নতা।
iii. ভিন্ন মাধ্যমে আলোর কম্পাঙ্কের ভিন্নতা।

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii.

পাঠ ৭.৪ : আলোর ব্যতিচার : ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা
Interference: Young's Double Slit Experiment

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আলোর ব্যতিচার ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ইয়ং এর দ্বি–চিড় পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।

৭.৪.১ উপরিপাতন নীতি (Superposition Principle):

তরঙ্গ প্রবাহের ফলে মাধ্যমের কণাগুলো আন্দোলিত হয়। মাধ্যমের যেকোনো কণার উপর একটি তরঙ্গ এসে আপতিত হলে কণাটির স্বাভাাবিক অবস্থান থেকে সরণ ঘটে। ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গের জন্য সরণ ভিন্ন ভিন্ন। ধরা যাক, মাধ্যমের যেকোনো কণার উপর এক যোগে একাধিক তরঙ্গ আপতিত হলো। এখন, প্রত্যেকটি তরঙ্গ পৃথক পৃথক ভাবে আপতিত হলে মাধ্যমের কণাটির স্বাভাাবিক অবস্থান থেকে পৃথক পৃথক সরণ হত। যেহেতু এক যোগে একাধিক তরঙ্গ আপতিত

হয়েছে সেহেতু কণাটির এই সরণগুলো সব একসাথে ঘটেছে। সুতরাং কণাটির একটি লব্ধি সরণ ঘটবে (যেহেতু সরণ একটি ভেক্টর রাশি)। অর্থাৎ কণাটির লব্ধি সরণ হলো পৃথক পৃথক সরণগুলোর ভেক্টর যোগফলের সমান। একেই উপরিপাতন নীতি বলে।

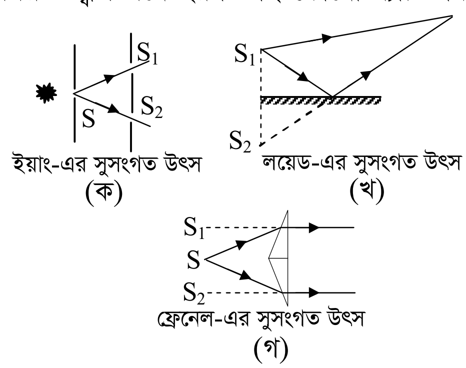
উপরিপাতন নীতিঃ তরঙ্গ প্রবাহের ফলে মাধ্যমের কণাগুলো আন্দোলিত হয়। কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে একাধিক তরঙ্গ সঞ্চালিত হলে কোন কণা বা বিন্দুর লব্ধি-সরণ ঘটবে। এ লব্ধি-সরণ তরঙ্গগুলো কর্তৃক পৃথক পৃথক সরণের ভেক্টর যোগফলের সমান। একে তরঙ্গের উপরিপাতন নীতি বলে।

ধরা যাক, দুটি তরঙ্গ মাধ্যমের কোনো একটি কণাকে একই সাথে অতিক্রম করল। একটি তরঙ্গে দরূন কণার সরণ y_1 এবং অপর তরঙ্গের দরূন কণার সরণ y_2 । তাহলে, উপরিপাতন নীতি অনুসারে কণাটির লব্ধি সরণ, $y = y_1 + y_2$

৭.৪.২ সুসঙ্গত উৎস (Coherent Sources):

যদি দুটি আলোক উৎস থেকে সব সময় একই দশার বা একই দশা পার্থক্যের তরঙ্গ নির্গত হয় তবে আলোক উৎস দুটিকে সুসংগত উৎস বলে।

আমরা পরে দেখব যে, আলোক তরঙ্গে স্থায়ী ব্যাতিচার জনিত ঝালর (Intreference Fringes) পেতে হলে দুটি সুসংগত উৎসের প্রয়োজন।। প্রকৃত পক্ষে উৎস দুটি সুসংগত না হলে কোনো বিন্দুতে কোনো এক মুহূর্তে উজ্জ্বল এবং পর মুহূর্তেই অন্ধকার দেখাবে। এই পরিবর্তন এত দ্রুত ঘটে যে বাস্ড়বে বিন্দুটি সব সময় উজ্জ্বল মনে হয়। তাই কোনো ব্যাতিচার পাওয়া যায় না।



চিত্র ৭.৬

একই ধরণের দুটি ভিন্ন আলোর উৎস কখনো সুসংগত হয় না। শুধু তাই নয়, একই উৎসের ভিন্ন দুটি অংশের আলোক রশ্মিও সুসংগত হয় না। বিভিন্ন আলোকীয় পরীক্ষায় বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন ভাবে সুসংগত উৎস সৃষ্টি করেন।

১। ইয়াং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় একটি আলোক উৎস S থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখা দুটি চিড় S_1 ও S_2 সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করে। (চিত্র ৭.৬ ক)

২। লয়েড-এ একক দর্পণ পরীক্ষায় একটি সরু ছিদ্র S_1 এবং একটি সমতল দর্পণ থেকে প্রতিফলনের ফলে সৃষ্ট S_1-এর একটি অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব S_2 দর্পণের বিপরীত পৃষ্ঠে গঠিত হয়। এই S_1 এবং S_2 সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করে। (চিত্র ৭.৬ খ)

৩। ফ্রেনেল-এর যুগ্ম প্রিজম পরীক্ষায় একটি আলোক উৎস S থেকে নির্গত আলো যুগ্ম প্রিজমে আপতিত হবার পর প্রতিসরিত হয়ে দুটি অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব S_1 ও S_2 গঠন করে। এই অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব S_1 ও S_2 সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করে। (চিত্র ৭.৬ গ)

৭.৪.৩ ব্যতিচার (Interference):

দুটি আলোক উৎস থেকে একই বিস্ড়ারের এবং একই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো নির্গত হয়ে কোনো বিন্দুতে আপতিত হলে উপরিপাতনের ফলে কোথাও উজ্জ্বল এবং কোথাও অন্ধকার সৃষ্টি হয়। আলোর এই উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধির ঘটনাকে ব্যতিচার বলে। সমদশা সম্পন্ন আলো রশ্মির উপরিপাতনের ফলে উজ্জ্বল বা চরম এবং বিপরীত দশা সম্পন্ন আলো রশ্মির উপরিপাতনের ফলে অন্ধকার বা অবম-এর সৃষ্টি হয়। এটি একটি অবস্থানিক ঘটনা।

ব্যতিচারের শর্তঃ-

১। উৎস দুটি সুসঙ্গত হতে হবে।

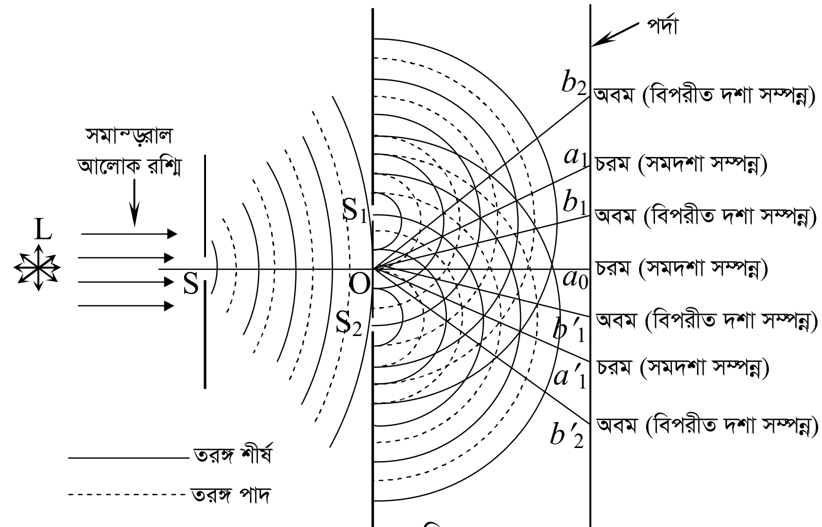
২। একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক উৎস হতে হবে।

৩। তরঙ্গ দুটির বিস্ড়ার সমান হতে হবে।

৪। তরঙ্গ উৎস দুটি খুব কাছাকাছি হতে হবে।

৭.৪.৪ ইয়াং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা (Young's Double Slit Experiment):

L একটি একবর্ণী আলোক উৎস। এর সম্মুখে একটি সরু চিড় S-এর মধ্যদিয়ে তরঙ্গমুখ অতিক্রম করে S_1 ও S_2 দুটি সরু ও খুব কাছাকাছি চিড়ের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করে। S_1 ও S_2 চিড় দুটি প্রকৃত পক্ষে সুসঙ্গত, সমতরঙ্গ দৈর্ঘ্য সম্পন্ন ও একবর্ণী আলোক উৎস হিসাবে কাজ করে। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে S_1 ও S_2 চিড় দুটি গৌণ উৎস হিসাবে কাজ করবে এবং গৌণ উৎস দুটি হতে সৃষ্ট অনুতরঙ্গগুলো চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে উৎস এবং পর্দার মধ্যবর্তী অঞ্চলে অগ্রসর হবে। চিত্র নং (৭.৭)-এ অবিচ্ছিন্ন বক্র রেখা দিয়ে সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গ শীর্ষ এবং বিচ্ছিন্ন বক্র রেখা দিয়ে সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গ পাদ দেখানো হয়েছে। এই অনুতরঙ্গগুলোর উপরিপাতন ঘটবে। যে সব বিন্দুতে সমদশায় অনুতরঙ্গগুলোর উপরিপাতন ঘটে সে সব স্থানে উজ্জ্বল ডোরা বা চরম এবং যে সব বিন্দুতে বিপরীত দশায় অনুতরঙ্গগুলোর উপরিপাতন ঘটে সে সব স্থানে অন্ধকার ডোরা বা অবম-এর সৃষ্টি হয়। চিত্র নং (৭.৭)-তে O হলো চিড়দ্বয়ের মধ্য বিন্দু। O হতে পর্দা পর্যন্ত Oa_0, Oa_1, Oa_1' রেখাগুলো অনুতরঙ্গের সেই সব বিন্দু দিয়ে গেছে যে সব বিন্দুতে তরঙ্গ শীর্ষ বা তরঙ্গ পাদ পরস্পরকে ছেদ করেছে। অর্থাৎ ছেদ বিন্দুগুলো সমদশা সম্পন্ন। সুতরাং পর্দার a_0, a_1, a_1' বিন্দুগুলো চরম বিন্দু এবং এই বিন্দুগুলো উজ্জ্বল দেখাবে। দুটি পাশাপাশি সমদশা সম্পন্ন বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য(λ) বলে। তাই সমদশা সম্পন্ন বিন্দুগুলোর মধ্যে মধ্যবর্তী দূরত্বকে অবশ্যই λ এর পূর্ণগুণিতক হবে। সুতরাং O থেকে পর্দার যে যে বিন্দু $n\lambda$ হবে সেই সেই বিন্দু উজ্জ্বল দেখাবে। এখানে $n = 0, 1, 2, 3, 4......$।

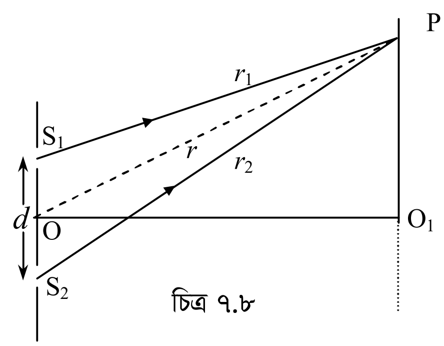


চিত্র ৭.৭

অপর দিকে O হতে পর্দা পর্যন্ত Ob_1, Ob_2, Ob_1', Ob_2' রেখাগুলো অনুতরঙ্গের সেই সব বিন্দু দিয়ে গেছে যে সব বিন্দুতে একটি তরঙ্গ শীর্ষ ও একটি তরঙ্গ পাদ পরস্পরকে ছেদ করেছে। অর্থাৎ ছেদবিন্দুগুলো বিপরীতদশা সম্পন্ন। সুতরাং পর্দার a_0, a_1, a_1' বিন্দুগুলো অবম বিন্দু এবং এই বিন্দুগুলো অন্ধকার দেখাবে। একটি তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ এর মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো $\frac{\lambda}{2}$। তাই বিপরীতদশা সম্পন্ন বিন্দুগুলোর মধ্যে মধ্যবর্তী দূরত্বকে অবশ্যই $\frac{\lambda}{2}$ এর পূর্ণগুণিতক হবে। সুতরাং O থেকে পর্দার যে যে বিন্দু $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ হবে সেই সেই বিন্দু অন্ধকার দেখাবে। এখানে $n = 0, 1, 2, 3, 4......$।

৭.৪.৫ ব্যতিচারের গাণিতিক ব্যাখ্যা (Mathematical Analysis of Interference):

মনে করি, খুব কাছাকাছি d দূরত্বে অবস্থিত S_1ও S_2 চিড় দুটি প্রকৃত পক্ষে সুসংহত, সমতরঙ্গ দৈর্ঘ্য সম্পন্ন ও একবর্ণী আলোক উৎস হিসাবে কাজ করছে (চিত্র ৭.৮)। এদের মধ্যবিন্দু O এবং OO_1 হলো মধ্য রেখা। উৎস দুটি হতে দুটি আলোক রশ্মি D দূরত্বে অবস্থিত পর্দায় P বিন্দুতে আপতিত হলে। ধরি,,S_1ও S_2 চিড় দুটি হতে P বিন্দুর দুরত্ব যথাক্রমে r_1 ও r_2। O হতে P বিন্দুর দুরত্ব r অর্থাৎ $\frac{r_1+r_2}{2} = r$ (গড় দূরত্ব)।



চিত্র ৭.৮

ধরি, S_1ও S_2 চিড় দুটি হতে উৎপন্ন দুটি আলোক তরঙ্গ যার প্রতিটির বিস্তার a এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ। তরঙ্গ দুটি P বিন্দুতে উপরিপাতিত হলো। S_1ও S_2 উৎস থেকে সৃষ্ট তরঙ্গের জন্য t সময়ে P বিন্দুর সরণ,

$y_1 = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_1)$ ……………………………………………………… (৭.১৩)

এবং $y_2 = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_2)$ ……………………………………………………… (৭.১৪)

তরঙ্গ দুটির দশা পার্থক্য, $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_1) - \frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_2)$

বা, $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$

বা, $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r$ ……………………………………………………… (৭.১৫)

উপরিপাতন নীতি অনুসারে,

$y = y_1 + y_2 = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_1) + a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r_2)$

বা, $y = 2a\sin\frac{2\pi}{\lambda}\frac{(ct - r_1 + ct - r_2)}{2}\cos\frac{2\pi}{\lambda}\frac{(ct - r_1 - ct + r_2)}{2}$

বা, $y = 2a\sin\frac{2\pi}{\lambda}\left(ct - \frac{r_1 + r_2}{2}\right)\cos\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{r_2 - r_1}{2}\right)$

ধরি, $\frac{r_1 + r_2}{2} = r$ (গড় দূরত্ব) এবং $r_2 - r_1 = \Delta r$ (পথ পার্থক্য)

অতএব, $y = 2a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r)\cos\frac{2\pi}{\lambda}\frac{\Delta r}{2}$

বা, $y = A\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct - r)$ ……………………………………………………… (৭.১৬)

এখানে, $A = 2a\cos\frac{2\pi}{\lambda}\frac{\Delta r}{2}$ ……………………………………………………… (৭.১৭)

এখানে, $A = 2a\cos\frac{2\pi}{\lambda}\frac{\Delta r}{2}$ হলো লব্ধি তরঙ্গের বিস্ড়ার।

বিস্ড়ারের বর্গ করলে, $A^2 = 4a^2\cos^2\frac{\pi\,\Delta r}{\lambda}$

যেহেতু প্রাবল্য বিস্ড়ারের বর্গের সমানুপাতিক অর্থাৎ $I \propto A^2$

অতএব, $I = k4a^2\cos^2\frac{\pi\,\Delta r}{\lambda}$

ধরি, $I_0 = k\,4a^2$

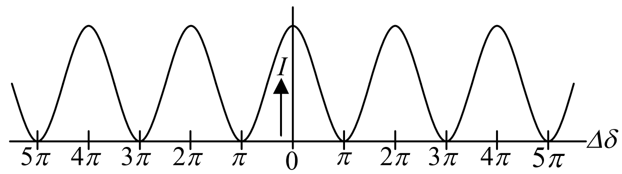
অতএব, $I = I_0\cos^2\frac{\pi\,\Delta r}{\lambda}$ ……………………………………………………… (৭.১৮)

আবার, 7.13 নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\Delta r = \frac{\lambda}{2\pi}\Delta\delta$

অতএব, $I = I_0\cos^2\frac{\pi}{\lambda}\times\frac{\lambda}{2\pi}\Delta\delta$

বা, $I = I_0\cos^2\frac{\Delta\delta}{2}$ ……………………………………………………… (৭.১৯)

এখন, I কে Y-অক্ষে এবং $\Delta\delta$ কে X-অক্ষে নিয়ে লেখ চিত্র অঙ্কন করা হলে (৭.৯ নং) চিত্রানুরূপ একটি বক্র রেখা পাওয়া যাবে। বক্র রেখাটি দশা পার্থক্যের সাথে তীব্রতার পরিবর্তন নির্দেশ করে।



চিত্র৭.৯

আপাত দৃষ্টিতে মনে হতে পারে, আলোর ব্যতিচারে শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে না। কিন্তু প্রকৃত পক্ষে এখানে শক্তির বিনাশ হয় না বরং শক্তির পুনর্বন্টন হয়। a বিস্ড়ারের দুটি আলোক তরঙ্গ ব্যতিচার না ঘটালে পর্দায় প্রাবল্য সর্বত্র $ka^2 + ka^2 = 2ka^2$ হতো। কিন্তু গঠনমূলক ব্যতিচারে তরঙ্গের বিস্ড়ার $2a$ তাই তীব্রতা $4ka^2$ এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারে তরঙ্গের বিস্ড়ার 0 তাই প্রাবল্য 0। অতএব গড় প্রাবল্য

$I_{av} = \dfrac{4ka^2 + 0}{2} = 2ka^2$। সুতরাং, ব্যতিচারের ফলে শক্তি ধ্বংস হয়নি, পূনর্বন্টিত হয়েছে মাত্র।

উদাহরণ ৭.৩ : একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\dfrac{\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত ?

সমাধানঃ দেওয়া আছে, $\Delta r = \dfrac{\lambda}{4}$ এবং $\Delta\delta = ?$

আমরা জানি, $\Delta\delta = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta r$

মান বসালে, $\Delta\delta = \dfrac{2\pi}{\lambda} \times \dfrac{\lambda}{4} = \dfrac{\pi}{2}$

উঃ $\dfrac{\pi}{2}$

উদাহরণ ৭.৪ : ইয়াং-এর দ্বি-চিড় ব্যবহৃত আলোক তরঙ্গের বিস্ড়ার 800Å। যখন আলোরশ্মিদ্বয়ের পর্দার কোনো বিন্দুতে উপরিপাতন ঘটে তখন এদের পথ পার্থক্য $\dfrac{2}{3}\lambda$। ঐ বিন্দুতে লব্ধি তরঙ্গের বিস্ড়ার নির্ণয় কর‍ুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $a = 800\text{Å} = 8 \times 10^{-8}\,\text{m}$, , $\Delta r = \dfrac{2}{3}\lambda$ এবং $A = ?$

আমরা জানি, লব্ধি তরঙ্গের বিস্ড়ার, $A = 2a\cos\dfrac{2\pi}{\lambda}\dfrac{\Delta r}{2}$

মান বসালে, $A = 2 \times 8 \times 10^{-8} \times \cos\dfrac{2\times\pi}{\lambda} \times \dfrac{\frac{2}{3}\lambda}{2}$

বা, $A = 16 \times 10^{-8} \times \cos\dfrac{2\times\pi}{3} = 16 \times 10^{-8} \times 0.999 = 15.98 \times 10^{-8}\,\text{m}$

উঃ $15.98 \times 10^{-8}\,\text{m}$

সার-সংক্ষেপ :

উপরিপাতন নীতিঃ তরঙ্গ প্রবাহের ফলে মাধ্যমের কণাগুলো আন্দোলিত হয়। কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে একাধিক তরঙ্গ সঞ্চালিত হলে কোনো কণা বা বিন্দুর লব্ধি-সরণ ঘটবে। এ লব্ধি-সরণ তরঙ্গগুলো কর্তৃক পৃথক পৃথক সরণের ভেক্টর যোগফলের সমান। একে তরঙ্গের উপরিপাতন নীতি বলে।

সুসঙ্গত উৎসঃ যদি দুটি আলোক উৎস থেকে সব সময় একই দশার বা একই দশা পার্থক্যের তরঙ্গ নির্গত হয় তবে আলোক উৎস দুটিকে সুসংগত উৎস বলে।

ব্যতিচারঃ দুটি আলোক উৎস থেকে একই বিস্ড়ারের এবং একই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো নির্গত হয়ে কোন বিন্দুতে

আপতিত হলে উপরিপাতনের ফলে কোথাও উজ্জ্বল এবং কোথাও অন্ধকার সৃষ্টি হয়। আলোর এই উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধির ঘটনাকে ব্যতিচার বলে। সমদশা সম্পন্ন আলো রশ্মির উপরিপাতনের ফলে উজ্জ্বল বা চরম এবং বিপরীত দশা সম্পন্ন আলো রশ্মির উপরিপাতনের ফলে অন্ধকার বা অবম-এর সৃষ্টি হয়। এটি একটি অবস্থানিক ঘটনা।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক উৎসে দশা পার্থক্য সর্বদা সমান থাকলে তাকে বলে

ক. গৌণ উৎস খ. সুসংগত উৎস গ. অসমবর্তিত উৎস ঘ. সমবর্তিত উৎস

২। উপরিপাতনের ফলে ব্যাতিচার ঘটানোর শর্তানুসারে

i. আলোক উৎস দুটি একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সুসংগত হতে হবে।
ii. তরঙ্গ দুটির বিস্ড়ার সমান হতে হবে।
iii. তরঙ্গ উৎস দুটি খুব কাছাকাছি হতে হবে।

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

পাঠ ৭.৫ : ব্যতিচার ডোরার প্রস্থ
Interferance Fringe Width

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আলোর ব্যতিচারের শর্তসমূহ বিশেণ্ঢষণ করতে পারবেন।
- আলোর ব্যতিচার ডোরার প্রস্থ নির্ণয় করতে পারবেন।

৭.৫.১ আলোর ব্যতিচারের শর্ত (Condition of Intreference)

(৭.১৬ নং) সমীকরণটি নির্দেশ করে যে, লব্ধি তরঙ্গটিও λ তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরঙ্গ যার বেগ c। কিন্তু (৭.১৭ নং) সমীকরণটি লব্ধি তরঙ্গের বিস্ড়ার নির্দেশ করে যা মূল দুটি তরঙ্গের বিস্ড়ারের সমান নয় এবং Δr পথ পার্থক্যের উপর নির্ভর করে। এই Δr পথ পার্থক্যের উপর নির্ভর করে আমরা গঠনমূলক ব্যতিচার (চরম) এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার (অবম) ব্যাখ্যা করা যায়।

৭.৫.২ গঠনমূলক ব্যতিচারের (চরম বা উজ্জ্বল ডোরার) শর্ত (Condition of Constructive Intreference):

যে সব বিন্দুতে সর্বাধিক প্রাবল্য হবে সেখানেই গঠনমূলক ব্যতিচার হবে অর্থাৎ চরম বা উজ্জ্বল ডোরার পাওয়া যাবে।

সুতরাং, গঠনমূলক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে, $I_{\max} = 4a^2$ যখন $\cos^2 \frac{\pi \Delta r}{\lambda} = 1$ হবে।

বা, $\frac{\pi \Delta r}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, ...$ হবে

অর্থাৎ $\frac{\pi \Delta r}{\lambda} = n\pi$ হবে। এখানে $n = 0, 1, 2, 3, 4, ...$

বা, $\Delta r = n\pi \times \frac{\lambda}{\pi}$

বা, $\Delta r = n\lambda$ … … … … …… … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৭.২০)

সুতরাং, যেসব বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার গঠিত হবে সেই সব বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $n\lambda$,

বিস্ড়ার, $A = \sqrt{I_{\max}} = \pm 2a$

এবং দশা পার্থক্যকের জন্য (৭.১৫ নং) সমীকরণে (৭.২০ নং) সমীকরণের মান বসালে,

দশা পার্থক্য, $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times n\lambda = 2n\pi$

৭.৫.৩ ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের (অবম বা অন্ধকার ডোরার) শর্ত (Condition of Destructive Intreference):

যে সব বিন্দুতে সর্বনিু প্রাবল্য হবে সেখানেই ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হবে অর্থাৎ অবম বা অন্ধকার ডোরার পাওয়া যাবে।

সুতরাং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে, $I_{\min} = 0$ যখন $\cos^2 \frac{\pi\Delta r}{\lambda} = 0$ হবে।

বা, $\frac{\pi\Delta r}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots\ldots\ldots\ldots$ হবে

অর্থাৎ $\frac{\pi\Delta r}{\lambda} = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ । এখানে $n = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots\ldots..$

বা, $\Delta r = (2n+1)\frac{\pi}{2} \times \frac{\lambda}{\pi}$

বা, $\Delta r = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ … … … … …… … … … … … … … … … … … … … … … (৭.২১)

সুতরাং, যেসব বিন্দুতে ধ্বৎসাত্মক ব্যতিচার গঠিত হবে সেই সব বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$,

বিস্ড়ার, $A = \sqrt{I_{\min}} = 0$

এবং দশা পার্থক্যের জন্য (৭.১৫ নং) সমীকরণে (৭.২১ নং) সমীকরণের মান বসালে,

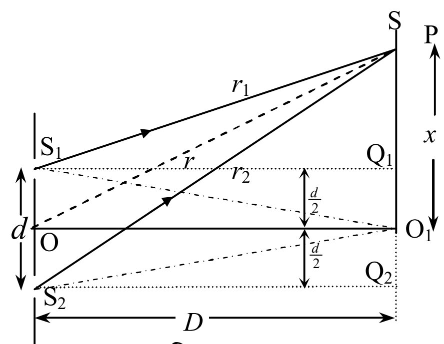
দশা পার্থক্য, $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times (2n+1)\frac{\lambda}{2} = (2n+1)\pi$

৭.৫.৪ ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ (Width of Interference Fringes):

ইয়াংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় উজ্জ্বল ডোরা পাবার শর্ত হলো, $\Delta r = n\lambda$

এবং অন্ধকার ডোরা পাবার শর্ত হলো, $\Delta r = \frac{2n+1}{2}\lambda$

(৭.১০) চিত্রে, S_1ও S_2 চিড় দুটি প্রকৃত পক্ষে সুসংহত, সমতরঙ্গ দৈর্ঘ্য সম্পন্ন ও একবর্ণী আলোক উৎস হিসাবে কাজ করে। হাইগেন্সের নীতি অনুসারে S_1 ও S_2 চিড় দুটি গৌণ উৎস হিসাবে কাজ করবে এবং গৌণ উৎস দুটি হতে সৃষ্ট অণুতরঙ্গগুলো চারিদিকে ছড়িয়ে পরে উৎস এবং পর্দার মধ্যবর্তী অঞ্চলে অগ্রসর হবে।



চিত্র ৭.১০

(৭.১০) নং চিত্রে, S হলো পর্দা, $d =$ S_1ও S_2 চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব। এই দূরত্বটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ সাথে তুলনীয়। O হলো S_1ও S_2 চিড় দুটির মধ্যবিন্দু। $OO_1 = D$ হলো পর্দার দূরত্ব। লক্ষ্যনীয় এই যে, এই দূরত্ব d তুলনায় অত্যন্ড় বড়, অর্থাৎ $D >> d$ ।

যেহেতু, $S_1O_1 = S_2O_1$ সেহেতু উৎস দুটি হতে উৎপন্ন সমদশা সম্পন্ন তরঙ্গ দুটি যাত্রা করে O_1 বিন্দুতে সমদশায় মিলিত হবে। সুতরাং O_1 বিন্দুতে লব্ধি বিস্ড়ার বা তরঙ্গের প্রবল্য সর্বাধিক। একে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু (Central Maximum Point) বলে।

এবার, পর্দার উপর O_1 বিন্দু থেকে x দূরে P বিন্দু বিবেচনা করা যাক। তাহলে $x = O_1P$ । S_1ও S_2 উৎস থেকে দুটি আলোক তরঙ্গ P বিন্দুতে আপতিত হলো। যেহেতু, $S_1P = r_1$ এবং $S_2P = r_2$ দূরত্বদ্বয় সমান নয় সেহেতু P বিন্দুতে পৌছাতে এদের মধ্যে পথ পার্থক্য ঘটবে। সুতরাং, P বিন্দুটি উজ্জ্বল হবে না অন্ধকার হবে তা নির্ভর করবে তরঙ্গ দুটির পথ পার্থক্যের উপর।

(৭.১০ নং) চিত্রানুসারে,

$$S_2P^2 = r_2^{\,2} = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

এবং $S_1P^2 = r_1^{\,2} = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$

অতএব, $r_2^{\,2} - r_1^{\,2} = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - D^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$

বা, $r_2^{\,2} - r_1^{\,2} = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 4x\frac{d}{2} = 2xd$

বা, $r_2 - r_1 = \dfrac{2xd}{r_2 + r_1}$

সুতরাং, পথ পার্থক্য, $\Delta r = \dfrac{2xd}{r_2 + r_1}$

যেহেতু, $D >> d$ সেহেতু, $r_2 + r_1 \approx 2D$ লেখা যায়।

অতএব, পথ পার্থক্য, $\Delta r = \dfrac{2xd}{2D} = \dfrac{xd}{D}$

সুতরাং, P বিন্দুতে পৌছাতে তরঙ্গ দুটির মধ্যে পথ পার্থক্য,

$$r_2 - r_1 = \Delta r = \frac{xd}{D} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (৭.২২)$$

যদি P বিন্দুতে n তম ডোরার সৃষ্টি হয় তবে, $x = x_n = n$ তম ডোরার দূরত্ব।

সুতরাং, $\Delta r = \dfrac{x_n d}{D}$

বা, $x_n = \dfrac{D}{d}\Delta r \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad$ (৭.২৩)

এখন যদি, P বিন্দুতে n তম উজ্জ্বল ডোরার সৃষ্টি হয় তবে, (৭.২০ নং) সমীকরণ অনুসারে, $\Delta r = n\lambda$ বসালে,

$$x_n = \frac{D}{d} \times n\lambda$$

বা, $x_n = \dfrac{Dn\lambda}{d} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad$ (৭.২৪)

একই ভাবে $x_{n+1} = n+1$ তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব,

$$x_{n+1} = \frac{D(n+1)\lambda}{d} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (৭.২৫)$$

তাহলে পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{D(n+1)\lambda}{d} - \frac{Dn\lambda}{d}$$

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{d} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (৭.২৬)$$

এখানে লক্ষ্যণীয় যে পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব কততম ডোরা তার উপর নির্ভর করে না।

এখন যদি, P বিন্দুতে n তম অন্ধকার ডোরার সৃষ্টি হয় তবে, (৭.২১ নং) সমীকরণ অনুসারে, $\Delta r = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ বসালে,

$$x_n = \frac{D}{d} \times (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

বা, $x_n = \frac{D(2n+1)\lambda}{2d}$ ……………………………………… (৭.২৭)

একই ভাবে $x_{n+1} = n+1$ তম অন্ধকার ডোরার দূরত্বের জন্য n এর স্থলে $n+1$ বসালে,

$$x_{n+1} = \frac{D[2(n+1)+1]\lambda}{2d}$$

বা, $x_{n+1} = \frac{D(2n+3)\lambda}{2d}$ ……………………………………… (৭.২৮)

তাহলে পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ডোরা ব্যবধান,

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{D(2n+1)\lambda}{2d} - \frac{D(2n+3)\lambda}{2d}$$

$\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$ ……………………………………………………… (৭.২৯)

এখানে লক্ষ্যণীয় যে পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব কততম ডোরা তার উপর নির্ভর করে না।

(৭.২৬) এবং (৭.২৯) নং সমীকরণ থেকে বলা যায় যে, পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরা বা পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার ব্যবধান সমান। সুতরাং প্রতিটি উজ্জ্বল ডোরার প্রস্থ এবং প্রতিটি অন্ধকার ডোরার প্রস্থ সমান।

তাহলে, ডোরার প্রস্থকে δx দিয়ে প্রকাশ করলে, প্রতিটি উজ্জ্বল ডোরার বা অন্ধকার ডোরার প্রস্থ,

$\delta x = \frac{\Delta x}{2} = \frac{D\lambda}{2d}$ ……………………………………………………… (৭.৩০)

7.29 নং সমীকরণ থেকে বলা যায় যে,

(ক) δx এর রাশিমালায় n নাই। সুতরাং ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ ডোরা সংখ্যার উপর নির্ভর করে না। উজ্জ্বল বা অন্ধকার সব ডোরা প্রস্থ একই।

(খ) ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ (δx) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) এর সমানুপাতিক। তাই আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বড় হলে ডোরা প্রস্থ চওড়া হবে এবং আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছোট হলে ডোরা প্রস্থ চিকন হবে।

(গ) ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ (δx) পর্দার দূরত্ব(D) এর সমানুপাতিক। তাই পর্দা দূরে থাকলে ডোরা প্রস্থ চওড়া হবে এবং পর্দা কাছে থাকলে ডোরা প্রস্থ চিকন হবে।

(ঘ) ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ (δx) চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব (d)-এর ব্যস্তানুপাতিক। তাই চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব যত ছোট হবে ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ চওড়া হবে এবং যত বড় হবে ডোরা প্রস্থ চিকন হবে।

(ঙ) শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ছাড়া অন্য যেকোনো মাধ্যমে এই পরীক্ষা করলে যেহেতু সেই মাধ্যমের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda' = \frac{\lambda}{\mu}$ অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পায় সেহেতু সেই মাধ্যমে ডোরার প্রস্থ শূন্য বা বায়ু মাধ্যম অপেক্ষা কম হবে।

উদাহরণ ৭.৫ : $0.4\,\text{mm}$ পারস্পরিক দূরত্বে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল চিড়কে একবর্ণী আলোক রশ্মি দিয়ে আলোকিত করা হলে। চিড় থেকে $40\,\text{cm}$ দূরে $0.5\,\text{mm}$ প্রস্থের ঝালর গঠিত হয়। আলার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $\text{d} = 0.4\,\text{mm} = 4\times10^{-4}\,\text{m}$, $\text{D} = 40\,\text{cm} = 0.4\text{m}$, $\Delta x = 0.5\,\text{mm} = 5\times10^{-4}\,\text{m}$ এবং $\lambda = ?$

আমরা জানি, ঝালরের প্রস্থ $\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$

বা, $\lambda = \dfrac{d\Delta x}{D}$

মান বসালে, $\lambda = \dfrac{4\times10^{-4}\times5\times10^{-4}}{0.4} = 5\times10^{-7} = 5000\overset{0}{\text{A}}$

উ: $5000\overset{0}{\text{A}}$

উদাহরণ ৭.৬ : একটি দ্বি-চিড়ের চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব $0.5\,\text{mm}$ । এই চিড়দ্বয়কে $4800\overset{0}{\text{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোতে আলোকিত করা হলো। চিড় থেকে কত দূরে পর্দা রাখলে ঝালরের বেধ 1mm হবে?

সমাধান: দেয়া আছে, $\text{d} = 0.5\text{m} = 5\times10^{-4}\,\text{m}$, $\lambda = 4800\overset{0}{\text{A}} = 4800\times10^{-10}\,\text{m}$, $\text{D} = 40\text{cm} = 0.4\text{m}$, $\delta x = 0.2\,\text{mm} = 2\times10^{-4}\,\text{m}$ এবং $D = ?$

আমরা জানি, ঝালরের বেধ $\delta x = \dfrac{D\lambda}{2d}$

বা, $D = \dfrac{2d\delta x}{\lambda}$

মান বসালে, $D = \dfrac{2\times5\times10^{-4}\times2\times10^{-4}}{4800\times10^{-10}} = 0.417\,\text{m} = 41.7\text{cm}$

উ: 41.7cm

উদাহরণ ৭.৭ : 0.2mm ব্যবধান বিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 50cm দূরত্বে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সৃষ্টি করা হল। পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যবর্তী দূরত্ব 1.42mm হলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $d = 0.2\,\text{mm} = 2\times10^{-4}\,\text{m}$, $D = 50\,\text{cm} = 0.5\text{m}$, $\Delta x = 1.42\,\text{mm} = 1.42\times10^{-3}\,\text{m}$ এবং $\lambda = ?$

আমরা জানি, ডোরার প্রস্থ, $\Delta x = \dfrac{\lambda D}{d}$

বা $\lambda = \dfrac{d\Delta x}{D}$

মান বসালে, $\lambda = \dfrac{2\times10^{-4}\times1.42\times10^{-3}}{0.5} = 5.68\times10^{-7}\,\text{m} = 5680\overset{0}{\text{A}}$

উ: $5680\overset{0}{\text{A}}$

সার-সংক্ষেপ :

গঠনমূলক ব্যাতিচার (চরম বা উজ্জ্বল ডোরার): যে সব বিন্দুতে সর্বাধিক প্রাবল্য হবে সেখানেই গঠনমূলক ব্যাতিচার হবে অর্থাৎ চরম বা উজ্জ্বল ডোরা পাওয়া যাবে।

ধ্বংসাত্মক ব্যাতিচার (অবম বা অন্ধকার ডোরার): যে সব বিন্দুতে সর্বনিম্ন প্রাবল্য হবে সেখানেই ধ্বংসাত্মক ব্যাতিচার হবে অর্থাৎ অবম বা অন্ধকার ডোরা পাওয়া যাবে।

পরপর দুটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব, $\Delta x = \dfrac{D\lambda}{d}$

প্রতিটি উজ্জ্বল ডোরা বা প্রতিটি অন্ধকার ডোরার প্রস্থ, $\delta x = \dfrac{\Delta x}{2} = \dfrac{D\lambda}{2d}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারে অন্ধকার ডোরা সৃষ্টির কারণ ঐ স্থানে

i. তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় মিলিত হয়।

ii. তরঙ্গ দুটির মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর অযুগ্ম গুণিতক হয়।

iii. তরঙ্গ দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য π এর অযুগ্ম গুণিতক হয়।

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২। 0.4 mm ব্যবধান বিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 1m দূরে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5000\overset{0}{A}$ হলে পর পর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত?

ক. 125 mm খ. 1.25 mm গ. 1.25 mm ঘ. 1.50 mm

পাঠ ৭.৬ : আলোর অপবর্তন ও সমবর্তন

Diffraction and polarisation of light

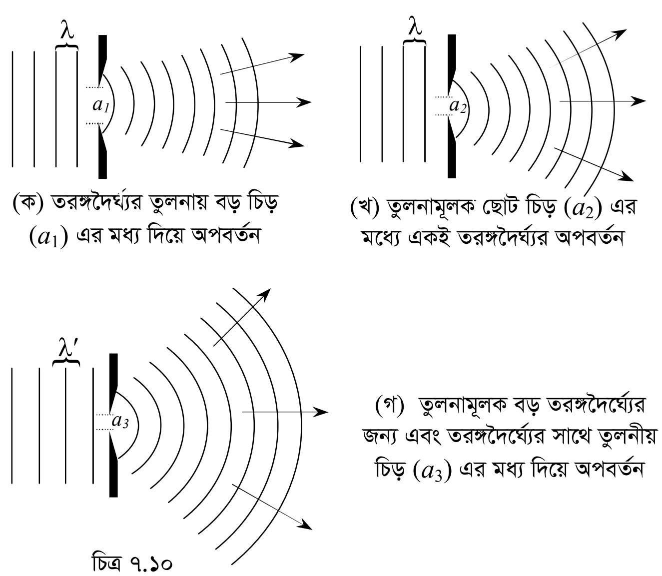
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আলোর অপবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৭.৬.১ আলোর অপবর্তন (Diffraction of light):

আমরা জানি শব্দ তরঙ্গ কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে বেঁকে যেতে পারে। কোনো ছিদ্রের মধ্য দিয়ে যাবার সময় চারিদিকে ছড়িয়ে পরে। আলোক তরঙ্গের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটে। সূর্যরশ্মি অসীম থেকে আসে বলে আলোক রশ্মিগুলো সমান্ড্রাল থাকে। সূর্যরশ্মিতে কোনো তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট টিনের পাত রেখে তার ছায়া কোনো দেয়ালে ফেলা হলো। জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান অনুসারে আলো সরলরেখায় চলে। সুতরাং তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট টিনের পাতের একটি সুস্পষ্ট (sharp) ছায়া পাওয়া উচিৎ। কিন্তু ছায়াটিকে খুব সুক্ষ্ম ভাবে লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে ছায়াটির ধারগুলো সুস্পষ্ট নয়। এই ঘটনা থেকে আমরা এই সিদ্ধান্ড়ে পৌছাতে পারি যে, তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট টিনের পাতের ধার ঘেঁষে যাবার সময় আলোক রশ্মি বেঁকে যায়। পরীক্ষায় দেখা গেছে কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে অথবা কোনো সূক্ষ্ম ছিদ্র বা চিড়ের মধ্য দিয়ে যাবার সময় যেকোনো তরঙ্গের গতিমুখ পরিবর্তিত হয়। একে তরঙ্গের অপবর্তন বলে। আলো তরঙ্গধর্মী



(ক) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় বড় চিড় (a_1) এর মধ্য দিয়ে অপবর্তন

(খ) তুলনামূলক ছোট চিড় (a_2) এর মধ্যে একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অপবর্তন

(গ) তুলনামূলক বড় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে তুলনীয় চিড় (a_3) এর মধ্য দিয়ে অপবর্তন

চিত্র ৭.১০

হওয়ায় আলোরও অপবর্তন ঘটে।

অপবর্তনঃ আলোক রশ্মির সম্মুখে কোনো তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট অস্বচ্ছ বস্তু থাকলে বা কোনো সুক্ষ্ম চির বা ছিদ্র থাকলে বাধা বা ছিদ্রের ধার ঘেঁষে বাঁক ঘুরে জ্যামিতিক ছায়ার মধ্যে আলোর অনুপ্রবেশ ঘটে। বাঁক ঘুরে জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলে আলোর অনুপ্রবেশের ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বলে।

অপবর্তনের শর্তঃ

১। তীক্ষ্ণ ধারের ক্ষেত্রে ধার খুব তীক্ষ্ণ হতে হবে যেন এর বেধ বা প্রস্থ আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে তুলনীয় হয়।
২। সূক্ষ্ম চিড়ের ক্ষেত্র চিড়ের বেধ খুব সুক্ষ্ম হতে হবে যেন এর বেধ বা প্রস্থ আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে তুলনীয় হয় এবং ছিদ্রের ক্ষেত্রে ছিদ্র খুব ক্ষুদ্র হতে হবে যেন এর বেধ আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে তুলনীয় হয়।

৭.৬.২ ব্যতিচার ও অপবর্তনের মধ্যে তুলনা (Comparison between Interference and Diffraction of Light):

(ক) সাদৃশ্যঃ আলোর ব্যাতিচার ও অপবর্তন উভয় ঘটনাই আলোকতরঙ্গের উপরিপাতনের ঘটনা। অপবর্তনে ঝালর গঠনের কারণ হলো ব্যাতিচার।

(খ) বৈসাদৃশ্যঃ সাধারণ ব্যাতিচারের সঙ্গে অপবর্তনের কিছু পার্থক্য আছে। ব্যতিচার ও অপবর্তনের মধ্যে পার্থক্য নিম্নে দেয়া হলো।

ব্যতিচার	অপবর্তন
১। একই বিস্ড়্রর ও একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক উৎস থেকে একই দশা পার্থক্যের দুটি তরঙ্গ নির্গত হয়ে উপরিপাতনের ফলে লব্ধি আলোক তরঙ্গে কোথাও উজ্জ্বল এবং কোথাও অন্ধকারের সৃষ্টি হয়। একে ব্যতিচার বলে।	১। একটি তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশের গৌণ আলোক উৎস থেকে অনুতরঙ্গ নির্গত হয়ে উপরিপাতনের ফলে লব্ধি আলোক তরঙ্গে কোথাও উজ্জ্বল এবং কোথাও অন্ধকারের সৃষ্টি হয়। একে অপবর্তন বলে।
২। ব্যতিচার সজ্জার উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টিগুলোর বেধ সমান থাকে।	২। অপবর্তন সজ্জার পট্টিগুলোর বেধ কখনো সমান থাকে না।
৩। ব্যতিচার সজ্জার অন্ধকার পট্টিতে কোনো আলো থাকে না।	৩। অপবর্তন সজ্জার অন্ধকার পট্টিতে কিছু আলো থাকে এবং পট্টির ক্রম যত বেশী হয় আলোর পরিমাণ তত বাড়তে থাকে।
৪। ব্যতিচার সজ্জার উজ্জ্বল পট্টিগুলোর আলোক প্রাবল্য সমান থাকে।	৪। অপবর্তন সজ্জার ক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টির উজ্জ্বলতা সর্বাধিক। পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টিগুলোর উজ্জ্বলতা ক্রমশ কমতে থাকে।

৭.৬.৩ অপবর্তনের প্রকার (Type of Diffraction):

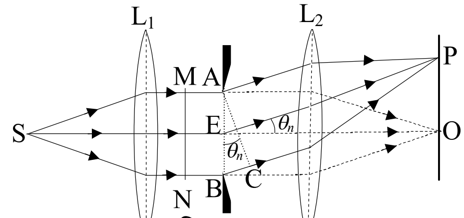
অপবর্তন দুই প্রকার, যথাঃ ক) ফ্রনহপার শ্রেণী অপবর্তন এবং (খ) ফ্রেনেল শ্রেণী অপবর্তন।

ফ্রনহফার শ্রেণী অপবর্তনঃ যে সব অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চিড় বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়ই কার্যকরভাবে অসীম দূরত্বে থাকে তাদেরকে ফ্রনহফার শ্রেণী অপবর্তন বলে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ সমতল হয়।

ফ্রেনেল শ্রেণী অপবর্তনঃ যে সব অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চিড় বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়ই কার্যকরভাবে সসীম দূরত্বে থাকে তাদেরকে ফ্রেনেল শ্রেণী অপবর্তন বলে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ গোলীয় বা চোঙ আকৃতির হয়।

৭.৬.৪ একক চিড়ের জন্য ফ্রনহফার অপবর্তন (Fraunhofer Diffraction by Single Slit):

ফ্রনহফার একক চিড় অপবর্তনের জন্য a প্রস্থের অতি ক্ষুদ্র একটি চিড় AB (চিত্রে অনেক বড় করে দেখানো হয়েছে) এর সম্মুখে L_1 লেন্স রেখে লেন্সের অপরদিকে তার ফোকাসে একবর্ণী আলোক উৎস S স্থাপন করা হয়। ফলে MN সমতল তরঙ্গমুখ বিশিষ্ট প্রতিসৃত সমান্ড়্রাল একবর্ণী আলোক রশ্মি পাওয়া যাবে। এই সমান্ড়রাল একবর্ণী আলোক রশ্মি AB চিড়ের মধ্য দিয়ে L_2 লেন্সে আপতিত হয় এবং সবশেষে L_2 লেন্স দ্বারা প্রতিসরিত হয়ে L_2 এর ফোকাস তলে ও কাগজ তলের সাথে লম্ব OP পর্দার উপর আপতিত হয়। SO রেখা OP পর্দার উপর লম্ব এবং AB চিড়ের এর মধ্য বিন্দু E গামী। চিড় AB এর তলে সমতল তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু হাইগেন্সের নীতি অনুসারে গৌণ উৎস হিসাবে ক্রিয়া করে সবদিকে অণুতরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ে। সুতরাং AB চিড় থেকে অপবর্তিত অণুতরঙ্গগুলো সমান্ড়্রাল রশ্মির গোষ্ঠী সৃষ্টি করে সমদশায় চলতে শুরু করবে। যে সব সমান্ড়্রাল অণুতরঙ্গগুলো আপতিত রশ্মির সমান্ড়্রাল সেগুলোর পথপার্থক্য না থাকায় সকলেই সমদশায় L_2 দিয়ে প্রতিসৃত হয়ে O বিন্দুতে মিলিত হবে এবং তীব্রতা সর্বোচ্চ হবে। একে কেন্দ্রীয় চরম (central maxima) বিন্দু বলে।



চিত্র-৭.১২

যে সব সমান্ড়্রাল উপতরঙ্গগুলো θ_n কোণে অপবর্তিত হবে সেগুলোর পথপার্থক্য থাকায় সকলেই ভিন্ন সমদশায় L_2 দিয়ে প্রতিসৃত হয়ে P বিন্দুতে মিলিত হবে। এদের তীব্রতা নির্ভর করবে সমান্ড়্রাল অণুতরঙ্গগুলোর পথ পার্থক্যের উপর।

θ_n কোণে অপবর্তিত সমান্ড়্রাল অণুতরঙ্গগুলো সমতল তরঙ্গমুখ AC।

সুতরাং A ও B বিন্দুর সমান্ড়্রাল অণুতরঙ্গ দুটির পথ পার্থক্য BC।

চিত্রানুসারে, $BC = a\sin\theta_n$

কিন্তু θ_n কোণে অপবর্তিত সমান্ড়্রাল অণুতরঙ্গগুলোর সকলের পথপার্থক্য সমান নয়।

চিরের মধ্যবিন্দু E তে পথপার্থক্য $\dfrac{BC}{2} = \dfrac{a}{2}\sin\theta_n$

এখন চিড়ের মধ্যে $\dfrac{a}{2}$ দূরত্বের অসংখ্য জোড়া জোড়া বিন্দু বিবেচনা করা যায় যাদের পথপার্থক্য সমান।

আমরা ব্যতিচারের ধর্ম থেকে পাই, যদি পথপার্থক্য λ এর পূর্ণ গুণিতক হয় তবে চরম (উজ্জ্বল) এবং যদি পথপার্থক্য $\dfrac{\lambda}{2}$ এর বিজোড় গুণিতক হয় তবে অবম (অন্ধকার) ব্যতিচার সৃষ্টি করে।

যখন $n=1$ তখন $\theta=\theta_1$ অর্থাৎ প্রথম ক্রম। এই অবস্থায় AP ও CP এর মধ্যে পথপার্থক্য $\mathrm{BC}=\lambda$, ফলে এই দুটি অনুতরঙ্গের উপরিপাতলের ফলে পর্দা উজ্জ্বল হবে। কিন্তু AP ও EP কিংবা EP ও CP এর মধ্যে পথপার্থক্য $\dfrac{\lambda}{2}$। এছাড়া AC চিড়ের মধ্যে AE কংবা EC এর সমান অসংখ্য জোড়া জোড়া বিন্দু আছে যাদের অণুতরঙ্গের মধ্যে পথপার্থক্য $\dfrac{\lambda}{2}$। এদের সকল জোড়ার উপরিপাতনের ফলে পর্দার একই বিন্দুতে অন্ধকার হবে। ফলে সামগ্রিক ভাবে ঐ স্থানে অন্ধকার থাকবে।

সুতরাং, $n=1$ হলে প্রথম অবম (অন্ধকার) বিন্দু সৃষ্টি হবে।

অতএব, $\dfrac{a}{2}\sin\theta_1 = \dfrac{\lambda}{2}$

বা, $a\sin\theta_1 = \lambda$

এখন যদি পথপার্থক্য $\mathrm{BC}=n\lambda$ হয় তবে $\theta=\theta_n$ হবে। সেক্ষেত্রে n তম অবম (অন্ধকার) বিন্দু পাওয়া যাবে।

সুতরাং n তম অবম (অন্ধকার) বিন্দু গঠনের জন্য,

$a\sin\theta_n = n\lambda$ … (৭.৩১)

একইভাবে যদি পথ পার্থক্য $BC = \frac{(2n+1)}{2}\lambda$ তবে একই কারণে চরম (উজ্জ্বল) বিন্দু সংঘটিত হবে।

সুতরাং n তম চরম (উজ্জ্বল) বিন্দু গঠনের জন্য,

$$a\sin\theta_n = \frac{(2n+1)}{2}\lambda \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৭.৩২)$$

আমরা আগেই আলোচনা করেছি যে অপবর্তন পেতে হলে চিড়ের প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যর সাথে তুলনীয় হতে হবে। উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, সোডিয়াম বাতি থেকে নির্গত হলুদ একবর্ণী আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5890\,\overset{0}{\mathrm{A}} = 5890\times10^{-10}\,\mathrm{m} = 5.89\times10^{-7}\,\mathrm{m}$ এবং পরীক্ষণের জন্য যে চিড় ব্যবহার করা হয় তার প্রস্থ $0.2\ \mathrm{mm} = 2\times10^{-4}\,\mathrm{m}$ তাহলে প্রথম ক্রম অন্ধকার বিন্দু পেতে হলে যে কৌণিক সরণ লাগবে তা হলো (7.30 নং সমীকরণ থেকে) $2\times10^{-4}\sin\theta_n = 5.89\times10^{-7}$

বা, $\sin\theta_n = \frac{5.89\times10^{-7}}{2\times10^{-4}} = 2.45\times10^{-3}$

বা, $\theta_n = \frac{5.89\times10^{-7}}{2\times10^{-4}} = \sin^{-1}2.45\times10^{-3} = 0.17^\circ$

এখান থেকে সহজেই বোঝা যায় যে কোণের মান খুব ক্ষুদ্র হয়। সেক্ষেত্রে আমরা লিখতে পারি $\sin\theta \approx \theta$ ।

তাহলে আমরা 7.30 নং সমীকরণকে লিখতে পারি,

$$\theta_n = \frac{n\lambda}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৭.৩৩)$$

কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু O থেকে n তম অবম বিন্দুর দূরত্ব $OP = x_n$ এবং চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব $OE = D$ হলে,

$$\tan\theta_n = \theta_n = \frac{x_n}{D}$$

সুতরাং, $\frac{x_n}{D} = \frac{n\lambda}{a}$

বা, $x_n = \frac{n\lambda D}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৭.৩৪)$

(৭.৩৪ নং) সমীকরণের সাহায্যে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু থেকে n তম অবম বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

আবার কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু উভয় পার্শ্বে প্রথম অবম বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে কৌণিক দূরত্বকে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর কৌণিক বেধ বলে। (৭.৩৩ নং) সমীকরণে $n=1$ বসালে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর প্রতি পার্শ্বে কৌণিক বেধ পাওয়া যাবে কারণ $n=1$ বসালে প্রথম অবম বিন্দু পাওয়া যায়।

সুতরাং, (৭.৩৩ নং) সমীকরণে $n=1$ বসালে, $\theta = \frac{\lambda}{a}$

তাহলে, কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর কৌণিক বেধ,

$$2\theta = \frac{2\lambda}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (৭.৩৫)$$

ফ্রনহফার একচিড় অপবর্তনের ক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর দুই দিকে প্রথম অবম বিন্দুর কৌণিক অবস্থান $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ ।

সুতরাং, নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মির জন্য প্রথম অবম বিন্দুর কৌণিক অবস্থান চিড়ের প্রস্থের সমানুপতিক। তাই চিড়ের বেধ a যত ছোট হবে θ মান তত বৃদ্ধি পাবে ফলে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু তত ছোট হবে।

যখন $\theta = 90^\circ$ তখন $\sin 90 = \frac{\lambda}{a} = 1$

বা, $a = \lambda$

অর্থাৎ, যদি $a = \lambda$ হয় তবে $\theta = 90^\circ$, ফলে সমগ্র পর্দা কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু দখল করে নিবে।

৭.৬.৫ আলোর সমবর্তন (Polarisition of Light):

আলোর ব্যতিচার ও অপবর্তন থেকে প্রমাণিত হয় যে, আলোক তরঙ্গ আকারে সঞ্চালিত হয়। কিন্তু এই তরঙ্গ তির্যক না লম্বিক সেটি এই ঘটনাগুলো থেকে বোঝা সম্ভব নয়। আলোর সমবর্তন বা পোলারায়নের ঘটনা নিশ্চিৎ ভাবে প্রমাণ করে যে আলোক তরঙ্গ হলো এক প্রকার তির্যক তরঙ্গ। এটি লম্বিক তরঙ্গ নয়, কারণ লম্বিক তরঙ্গের সমবর্তন সম্ভব নয়। আলোর সমবর্তন সম্পর্কে আলোচনার আগে তির্যক তরঙ্গের সমবর্তন ও সমবর্তিত তরঙ্গ সম্পর্কে জানা প্রয়োজন।

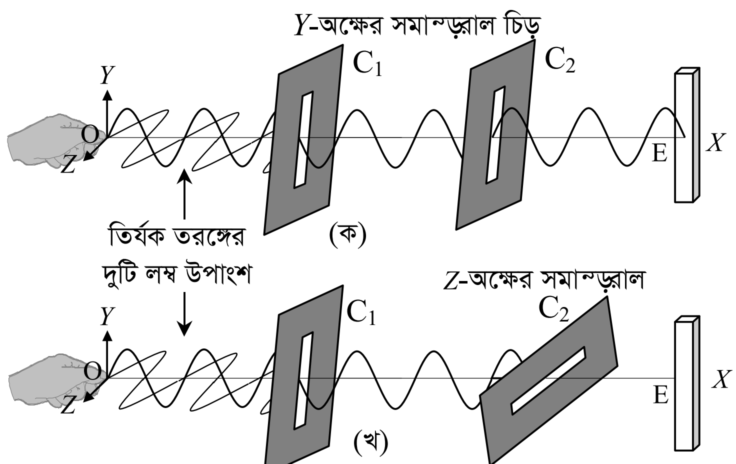
আলো কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে গমনের পর আলোক তরঙ্গের কম্পন একটি নির্দিষ্ট দিকে বা তলে হওয়ার ঘটনাকে বলা হয় আলোর সমবর্তন। কোনো আলোক রশ্মির কম্পন কেবল মাত্র একটি নির্দিষ্ট দিকে বা তলে হলে ঐ আলোকে বলা হবে সমবর্তিত।

নিচে তির্যক তরঙ্গের সমবর্তন ব্যাখা করা হলো।

৭.৬.৬ যান্ত্রিক তরঙ্গের সমবর্তন (Polarisition of Mechanical Wave):

দুটি কার্ড বোর্ডের মাঝখানে পাতলা ফালি করে কেটে C_1 ও C_2 চিড় তৈরি করা হলো। লম্বা দড়ি OE-কে একটি দৃঢ় অবলম্বন E সাথে বেঁধে C_1 ও C_2 চিড়ের ভিতর দিয়ে পার করে দড়ির অপর প্রান্ড় O-কে ধরে টেনে অনুভূমিক করে রাখা হলো। এবার দড়ির অপর প্রান্ড় O-কে ধরে OE-এর সঙ্গে লম্বভাবে কাঁপানো হলো। এর ফলে একটি তির্যক তরঙ্গ দড়ি বরাবর OE-এর দিকে অগ্রসর হবে (চিত্র ৭.১৩-এর ক ও খ)। তির্যক তরঙ্গটি OE বরাবর X-অক্ষের দিকে অগ্রসর হচ্ছে ধরা হলে দড়ির কণাগুলোর কম্পন হবে $X-$ অক্ষের সাথে লম্বভাবে অথাৎ YZ-সমতল বরাবর। দড়ির O প্রান্ড় ধরে এলোমেলো ভাবে অর্থাৎ YZ-সমতলের যেকোনো দিকে বরাবর কাঁপানো যেতে পারে। তাহলে O থেকে C_1 এর মধ্যবর্তী অংশে অবস্থিত দড়ির কণাগুলোর প্রতিটি তির্যক কম্পন জনিত বেগের Y ও Z-অক্ষ বরাবর দুটি লম্ব উপাংশ থাকবে।

C_1 চিড়টি Y-অক্ষের সমান্ড়রালে রাখা আছে। ফলে C_1 চিড়টি এই কম্পনের Z-অক্ষ বরাবর কম্পনকে বাধাগ্রস্থ করবে। ফলে শুধু Y-অক্ষের সমান্ড়রাল উপাংশটি বিনা বাধায় এই চিড় দিয়ে সঞ্চালিত হবে। সুতরাং OC_1 অংশে দড়ির কম্পন যতই এলোমেলো হোক না কেন C_1C_2 অংশে দড়িটি শুধু Y-অক্ষ বরাবরই কম্পিত হবে। এলোমেলো কম্পনযুক্ত তির্যক কম্পনকে একটি নির্দিষ্ট অক্ষ বরাবর সীমাবদ্ধ করার ঘটনাকে সমবর্তন বলে। তাহলে বলা যায় OC_1 অংশে দড়ির কম্পন অসমবর্তিত এবং C_1 চিড়টি দিয়ে অতিক্রম করার পর C_1C_2 অংশে দড়ির কম্পন সমবর্তিত। আবার যেহেতু ৭.১৩ -এর ক নং চিত্রে C_2 চিড়টিও Y-অক্ষের সমান্ড়রাল এবং C_1C_2 অংশে দড়িটি শুধু Y-অক্ষ বরাবরই কম্পিত হচ্ছে সেহেতু এই তরঙ্গ বিনা বাঁধায় C_2 চিড় অতিক্রম করে E পর্যন্ড় বিস্ড়ার লাভ করবে। তাই C_2E অংশের দড়িটিও শুধু Y-অক্ষ বরাবরই কম্পিত হবে।

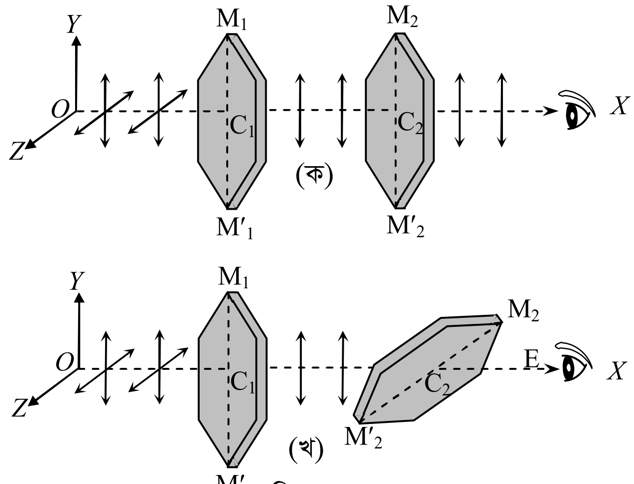


চিত্র ৭.১৩

৭.১৩ -এর খ নং চিত্রে C_2 চিড়টিও Z-অক্ষের সমান্ড়রাল এবং C_1C_2 অংশে দড়িটি শুধু Y-অক্ষ বরাবরই কম্পিত হচ্ছে সেহেতু এই তরঙ্গকে C_2 চিড় অতিক্রম করতে বাঁধা দিবে ফলে C_2 চিড় এই তরঙ্গ অতিক্রম করতে পারবে না। তাই C_2E অংশের দড়িটিতে কোনো তরঙ্গ থাকবে না। এর থেকে এটিও প্রমাণিত হয় যে, তারে যদি লম্বিক তরঙ্গ হতো

অর্থাৎ এর কম্পন যদি X -অক্ষের সমান্ড়্রাল তাহলে C_1 ও C_2 চিড় দুটি যে অক্ষ বরাবরই থাকুক না কেন তরঙ্গ O থেকে E পর্যন্ড় বিস্ড়্রর লাভ করতো। কোনো চিড়ই একে বাঁধা দান করতো না। তাহলে বলা যায় যে, লম্বিক তরঙ্গের কোনো সমবর্তন হয় না। তাই শব্দ তরঙ্গের সমবর্তন হয় না।

৭.৬.৬ টুরম্যালিন কেলাসের পরীক্ষা (Experiment with Tourmaline Crystal):



চিত্র ৭.১৪

টুরম্যালিন এক ধরণের ষড়ভুজাকৃতির কেলাস বা স্ফটিক (tourmaline crystal)। পাতলা পাতের আকারে কাটা কেলাসটি প্রায় স্বচ্ছ পদার্থের ন্যায় আচরণ করে। ষড়ভুজের বৃহত্তম কর্ণটিকে কেলাসের আলোক-অক্ষ (Optical Axis) বলে। চিত্র নং ৭.১৪ ক-তে C_1 ও C_1 দুটি টুরম্যালিন কেলাসের পাতলা পাত এবং যথাক্রমে M_1M_1' ও M_2M_2' এদের আলোক-অক্ষ।

ধরা যাক, কোনো উৎস O থেকে X -অক্ষ বরাবর আলো টুরম্যালিন কেলাস C_1 এর উপর আপতিত হচ্ছে। C_1 কেলাসটি এমন ভাবে অবস্থিত যেন এর আলোক-অক্ষ M_1M_1' টি X -অক্ষের সাথে লম্ব থাকে। উৎস থেকে আলোকরশ্মি C_1 কেলাস অতিক্রম করে চোখে এসে পৌছালে কেলাসের কারণে আলোর উজ্জ্বলতা খানিকটা হ্রাস পায়। এই অবস্থায় OX রশ্মির সাপেক্ষে C_1 কেলাসটিকে ঘোরালে উজ্জ্বলতার আর কোনো পরিবর্তন হবে না। এবার C_2 কেলাসটিকে OX রশ্মির পথের উপর এমন ভাবে বসানো হলো যেন এর আলোক-অক্ষ M_2M_2' টি M_1M_1' আলোক-অক্ষের সমান্ড়্রালে থাকে (চিত্র নং ৭.১৪ ক)। এই অবস্থায় পূর্বে যে পরিমান উজ্জ্বলতা চেখে এসে পড়ছিল এখনো তাই পড়বে।

এখন C_1 কেলাসটিকে স্থির রেখে C_2 কেলাসটিকে ধীরে ধীরে ঘোরানো হলো। দেখা যাবে আলোর উজ্জ্বলতা ক্রমশ হ্রাস পাচ্ছে এবং C_2 কেলাসটিকে যখন আলোক-অক্ষের সাথে 90° কোণ করে অর্থাৎ Y -অক্ষ বরাবর অবস্থান করে তখন উৎস থেকে কোনো আলো চোখে পড়ে না (চিত্র নং ৭.১৪ খ)। C_2 কেলাসটিকে আরো ঘোরালে আবার উজ্জ্বলতা বাড়তে থাকে এবং 180° কোণে আসলে আবার উজ্জ্বলতা ফিরে পায়(চিত্র নং ৭.১৪ ক)।

এ পরীক্ষা থেকে দেখা যায়, আলো লম্বিক তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হয় না। আলো যদি লম্বিক তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হতো, তবে C_2 কেলাসটিকে ঘুরানোর ফলে আলোর উজ্জ্বলতার কোনো পরিবর্তন হতো না। আলোতরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ হিসাবে ধরে নিলে এবং টুরম্যালিন কেলাসে আলোক অক্ষকে সরু চিড় হিসাবে বিবেচনা করলে উপরের পরীক্ষাটির ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। O উৎসের আলোক তরঙ্গের তির্যক কম্পনগুলো এলোমেলো প্রকৃতির। সুতরাং আলোর OC_1 অংশের প্রতিটি বিন্দুতে Y ও Z -অক্ষ বরাবর কম্পনে দুটি লম্ব উপাংশ থাকে। যেহেতু C_1 কেলাসের M_1M_1' আলোক-অক্ষটি Y -অক্ষের সমান্ড়্রাল থাকায় আলোকরশ্মির Y -অক্ষ বরাবর তির্যক কম্পনের উপাংশ বিনা বাঁধায় অতিক্রম করছে কিন্তু Z -অক্ষ বরাবর তির্যক কম্পনের উপাংশ বাঁধা প্রাপ্ত হয়েছে। যেহেতু Z -অক্ষ বরাবর তির্যক কম্পনের উপাংশ সম্পূর্ণরূপে শোষিত হয়েছে সেহেতু আলো উজ্জ্বলতা অর্ধেক হয়ে যাবে। আবার যতক্ষণ C_2 কেলাসটিকে আলোক-অক্ষটি Y -অক্ষের সমান্ড়্রাল ছিল ততক্ষণ C_1 থেকে C_2 কেলাসের মধ্যে থাকা Y -অক্ষ বরাবর তির্যক কম্পন বিনা বাঁধায় অতিক্রম করেছে। তাই অপর পারে চোখে আলো পৌছিয়েছে। যখন C_2 কেলাসের M_2M_2' আলোক-অক্ষটি 90° কোণ ঘুরিয়ে Z -অক্ষ বরাবর করা হলো তখন C_1 থেকে C_2 কেলাসের মধ্যে থাকা Y -অক্ষ বরাবর তির্যক কম্পনের উপাংশ বাঁধা প্রাপ্ত হবে ফলে কোনো কম্পন অর্থাৎ আলো দেখা যাবে না। C_2 কেলাসকে আরো 90° কোণ ঘুরিয়ে 180° কোণে আনলে C_2 কেলাসের M_2M_2' আলোক-অক্ষটি আবার Y -অক্ষ বরাবর হয়ে যাবে ফলে উজ্জ্বলতার পূর্বের ন্যায় ফিরে আসবে।

এর থেকে এই সিদ্ধান্ড়ে উপনিত হওয়া যায় যে,

১। যখন কোনো আলোকরশ্মি বা আলোকতরঙ্গ কোনো টুরম্যালিন কেলাসের মধ্য দিয়ে গমন করে তখন এর এলোমেলো তির্যক তরঙ্গ একটি একমুখী তির্যক তরঙ্গে রূপান্ড়রিত হয়। এই ঘটনাকে আলোর সমবর্তন বলে এবং ঐ আলোকে সমবর্তিত আলো বলে।

২। আলোর মত যেকোনো তির্যক তরঙ্গেরই সমবর্তন হয়।

৩। যার সাহায্যে আলোর সমবর্তন ঘটানো হয় তাকে বলা হয় সমবর্তক বা পোলারাইজার (Polarizer) বলে। (৭.১৪) চিত্রে C_1 হলো সমবর্তক এবং এর M_1M_1' আলোক অক্ষটি হলো তার সমবর্তক অক্ষ।

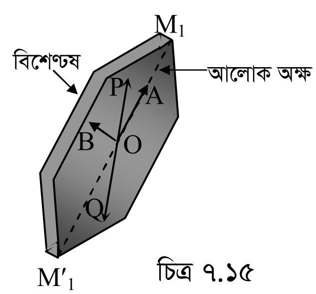
যার সাহায্যে কোনো আলো সমবর্তিত কি না তা নির্ধারণ করা হয় তাকে বলা হয় বিশেণ্ঢষক বা এ্যানালাইজার (analyser)। (৭.১৪) চিত্রে C_2 হলো বিশেণ্ঢষক কারণ, এই কেলাস দিয়ে আলো সমবর্তিত কি না এবং C_1 কেলাস দিয়ে কী ধরণের সমবর্তন ঘটলো তা বিশেণ্ঢষণ করা যায়। C_1 ও C_2 কেলাস দুটির আলোক অক্ষ সমান্ড়রাল হলে সমবর্তক এবং বিশেণ্ঢষকের অবস্থানকে সমান্ড়রাল অবস্থান বলা হয় এবং কেলাস দুটির আলোক অক্ষ পরস্পর লম্ব হলে সমবর্তক এবং বিশেণ্ঢষকের অবস্থানকে আড়াআড়ি অবস্থান বলা হয়।

৭.৬.৭ ম্যালাসের সূত্র (Malus Law)

যখন কোন অসমবর্তিত আলো পর পর দুটি সমবর্তকের (একটি সমবর্তক ও অপরটি বিশেণ্ঢষক) মধ্য দিয়ে গমন করে তখন নির্গত আলোর তীব্রতা সমবর্তকদ্বয়ের নিঃসরণ তলের মধ্যবর্তী কোণের উপর নির্ভর করে। ম্যালাস এর তীব্রতা সংক্রোন্ড় একটি সূত্র প্রদান করেন। সূত্রটি ম্যালাসের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি হলো, "সমবর্তিত আলো বিশেণ্ঢষকের মধ্য দিয়ে গমনের ফলে এর তীব্রতা সমবর্তক ও বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তলের মধ্যবর্তী কোণের cosine-এর সমানুপাতিক"।

সূত্রের প্রমাণ : ধরা যাক, একটি আলোক রশ্মি সমবর্তকের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করে সমতল সমবর্তিত হলো। এই সমবর্তিত আলোক রশ্মির কম্পন তল সমবর্তকের আলোক অক্ষের PQ এর সমান্ড়রাল। এই রশ্মি পরবর্তিতে বিশেণ্ঢষক অতিক্রম করে নির্গত হলো। এই কম্পন বিস্ড়ার $OP = a$ । বিশেণ্ঢষকের আলোক অক্ষ M_1M_1' টি সমবর্তিত আলোর কম্পন তলের সাথে θ কোণে হেলানো (চিত্র ৭.১৫)। আমরা জানি, প্রাবল্য বিস্ড়ারের বর্গের সমানুপাতিক। সুতরাং, আপতিত আলোর তীব্রতা $I_0 = ka^2$ । এখানে, k একটি ধ্রুবক। OP ও বিশেণ্ঢষকের আলোক অক্ষের মধ্যবর্তী কোণ θ।

যেহেতু সমবর্তকের আলোক অক্ষ PQ-এর সমান্ড়রাল সেহেতু সমবর্তক ও বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তলের মধ্যবর্তী কোণ θ। OP দুটি লম্ব উপাংশে বিভক্ত করা হলো। একটি বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তলের সমান্ড়রাল $OA = a\cos\theta$ এবং অপরটি OA-এর সমকোণে $OB = a\sin\theta$ । শুধুমাত্র $OA = a\cos\theta$ উপাংশ বিশেণ্ঢষকের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করবে অর্থাৎ, নির্গত আলোর কম্পনের বিস্ড়ার হবে $a\cos\theta$ । সুতরাং, বিশেণ্ঢষক থেকে নির্গত আলোর তীব্রতা,



চিত্র ৭.১৫

$I = ka^2\cos^2\theta$

বা, $I = I_0\cos^2\theta$ … (৭.৩৬)

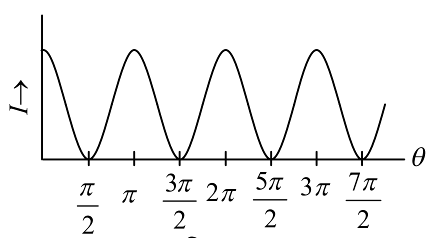
এটিই ম্যালাসের সূত্র।

যখন $\theta = 0^\circ$, অর্থাৎ সমবর্তক ও বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তল সমান্ড়রাল

তখন, $I = I_0$ (যেহেতু, $\cos 0^\circ = 1$)

আবার, যখন $\theta = 90^\circ$ অর্থাৎ সমবর্তক ও বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তল পরস্পর লম্ব তখন, $I = 0$ (যেহেতু, $\cos 90^\circ = 1$)

সমবর্তক ও বিশেণ্ঢষকের নিঃসরণ তলের মধ্যবর্তী কোণের সাথে নির্গত আলোর তীব্রতার পরিবর্তন (৭.১৬ নং) চিত্রের সাহায্যে দেখা হলো।



চিত্র ৭.১৬

৭.৬.৮ অসমবর্তিত আলো (Unpolarised Light)

সূর্যের আলো, বৈদ্যুতিক বাতির আলো, মোমবাতির আলো ইত্যাদি প্রচলিত আলো উৎসের মধ্যে ইলেকট্রন, আয়ন বা চার্জিত কণাগুলো সম্পূর্ণ রূপে বিক্ষিপ্ত ভাবে কম্পিত হতে থাকে। ফলে এই সব উৎস থেকে নির্গত আলোক রশ্মি নির্দিষ্ট দিকে গমন করলেও এদের সৃষ্ট তির্যক কম্পন কোনো নির্দিষ্ট দিকে থাকে না। এই ধরণের আলোকে সাধারণ আলো বা

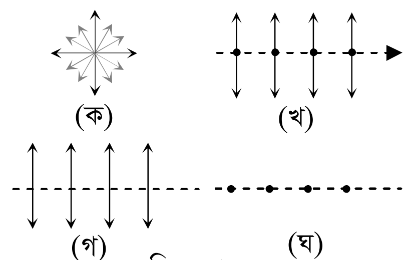
অসমবর্তিত আলো বলে। এই ক্ষেত্রে তির্যক কম্পনকে দুটি সমান বিস্তারের যুক্ত লম্ব উপাংশের সমষ্টি হিসাবে নির্দেশ করা যায়।

সাধারণ আলো হলো একপ্রকার তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। এই ধরণের তরঙ্গের তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ তরঙ্গের গতির অভিমুখের সঙ্গে সব সময় পরস্পর লম্বভাবে কম্পিত হয়। এই কম্পনটি একটি নির্দিষ্ট তলে সীমাবদ্ধ থাকে। আলো নামক তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গটি এই তলের সাথে লম্ব অভিমুখে সঞ্চালিত হয়।

সুতরাং, বলা যায়, আলোর গতি পথের সমকোণে অর্থাৎ লম্বভাবে অবস্থিত কোনো নির্দিষ্ট তলের উপর একটি বিশেষ অক্ষ বরাবর হওয়ার ঘটনাকে আলোর সমবর্তন বলে।

৭.৬.৯ অসমবর্তিত এবং সমবর্তিত আলোকরশ্মির অঙ্কণের প্রথা (Convention of Representation of Unpolarised and Polarised Light):

কাগজের তলে অসমবর্তিত এবং সমবর্তিত আলোকরশ্মি নীচে লিখিত প্রথা অনুযায়ী অঙ্কন করা হয়।



চিত্র ৭.১৭

১। অসমবর্তিত আলোকরশ্মি তরঙ্গের কম্পন তরঙ্গ সঞ্চালনের অভিমুখের সাথে অভিলম্ব তলে সব দিকে ঘটে (চিত্র ৭.১৭ ক)। সেজন্য একে পারস্পরিক অভিলম্ব দিকে দুটি স্পন্দনের সমষ্টি হিসাবে গণ্য করা হয়। সেজন্য অসমবর্তিত আলোকরশ্মি অঙ্কনের ক্ষেত্রে ডট (·) এবং বিপরীতমুখী তীরচিহ্ন (↕) সহ ভাঙ্গা ভাঙ্গা রেখা দিয়ে সংযুক্ত ব্যবহার করা হয় (চিত্র ৭.১৭ খ)।

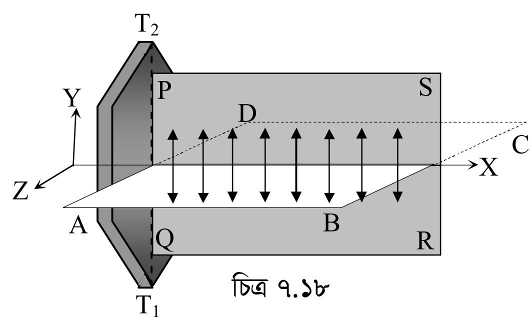
২। সমবর্তিত আলোকরশ্মি তরঙ্গের কম্পন কাগজ তলে সম্পন্ন হলে এই কম্পন্ন গতির অভিমুখে অভিলম্ব তলে বিপরীতমুখী তীরচিহ্ন (↕) সহ ভাঙ্গা ভাঙ্গা রেখা দিয়ে সংযুক্ত ব্যবহার করা হয় (চিত্র ৭.১৭ গ)।

৩। সমবর্তিত আলোকরশ্মি তরঙ্গের কম্পন কাগজ তলের সাথে অভিলম্ব বরাবর সম্পন্ন হলে এই কম্পন্ন গতির অভিমুখে বরাবর কতকগুলি ডট (·) সহ ভাঙ্গা ভাঙ্গা রেখা দিয়ে সংযুক্ত ব্যবহার করা হয় (চিত্র ৭.১৭ ঘ)।

৭.৬.১০ কম্পন তল ও সমবর্তন তল (Plane of Vibration abd Plane of Polarisition):

কম্পন তল: সমবর্তিত আলোর কম্পন যে তলে অবস্থান করে বা সীমাবদ্ধ থাকে সেই তলকে কম্পন তল বলে।

(৭.১৮) নং চিত্রে T_1T_2 টুরম্যালিন কেলাসের মধ্য দিয়ে নির্গত সমবর্তিত আলোকরশ্মি দেখানো হলো। আলোকরশ্মি X-অক্ষ বারাবর সঞ্চালিত হচ্ছে এবং সমবর্তিত আলোকরশ্মির বিন্দুগুলো Y-অক্ষ বরাবর কম্পিত হচ্ছে। তাহলে চিত্রে XY তলটি অর্থাৎ যে তলে আলোকরশ্মির বিন্দুগুলো কম্পিত হচ্ছে সেই $PQRS$ তলটি হলো কম্পন তল।



চিত্র ৭.১৮

সমবর্তন তল: কম্পন তলের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত তলের উপরে আলোকরশ্মিটি বর্তমান, সেই তলটিকে সমবর্তন তল বলে।

(৭.১৮) নং চিত্রে T_1T_2 টুরম্যালিন কেলাসের মধ্য দিয়ে নির্গত সমবর্তিত আলোকরশ্মির $ABCD$ তলের উপর লম্বভাবে কম্পন তলটি অবস্থিত এ্বং এই তলে আলোকরশ্মি বিন্দুগুলোর কোনো কম্পন নাই। তাই $ABCD$ তলই সমবর্তন তল।

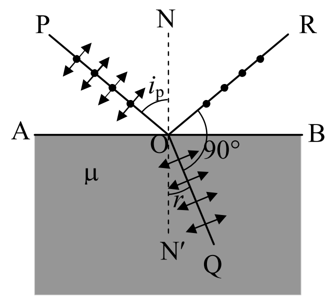
সমবর্তন কোণ (Angle of Polarisation): ১৮০৮ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ম্যালাস (Malus) প্রথম আবিস্কার করেন যে প্রতিফলকের সাহায্যে সমতল সমবর্তিত আলো উৎপন্ন করা যায়। অসমবর্তিত আলো কোনো স্বচ্ছ মাধ্যম দিয়ে (যেমন পানি, কাচ ইত্যাদি) দিয়ে প্রতিফলিত হলে প্রতিফলিত রশ্মি আংশিক সমবর্তিত হয়। রশ্মি কতখানি সমবর্তিত হবে তা আপাতন কোণের উপর নির্ভর করে।

"যে বিশেষ আপাতন কোণের জন্য কোনো নির্দিষ্ট প্রতিফলক তল থেকে প্রতিফলিত রশ্মি সম্পূর্ণরূপে সমতল সমবর্তিত হয় সেই কোণকে সমবর্তন কোণ বলে। এই কোণকে i_p দিয়ে প্রকাশ করা হয়"।

৭.৬.১১ ব্রুস্টারের সূত্র (Brewster's Law): সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্টের মান সংখ্যাগতভাবে প্রতিসারক মাধ্যমের প্রতিসারণাংকের সমান।

পরীক্ষায় দেখা গেছে যে, কোনো প্রতিসারক মাধ্যমের বিভেদ তলে আপতিত অসমবর্তিত রশ্মি অভিলম্বের সাথে যে কোণে আপতিত হলে প্রতিফলিত রশ্মি এবং প্রতিসরিত রশ্মি পরস্পর লম্ব হয় সেই আপাতন কোণে প্রতিফলিত এবং প্রতিসরিত রশ্মিদ্বয় সমবর্তিত হয়। এই কোণকে সমবর্তন কোণ বা ব্রুস্টার কোণও বলে।

ধরা যাক, ৭.১৯ চিত্রে PO অসমবর্তিত আলোকরশ্মি AB বিভেদ তলের উপর O বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব NON' এর সাথে i_p কোণে আপতিত হওয়ায় প্রতিফলিত রশ্মি OR এবং প্রতিসরিত রশ্মি OQ মধ্যবর্তী কোণ 90° হয়েছে।



চিত্র ৭.১৯

প্রতিফলনের সূত্রানুসারে, $\angle PON = \angle NOR = i_p$

এবং প্রতিসরণ কোণ $\angle QON' = r$

চিত্রানুসারে, $\angle NOR + \angle ROQ + \angle QON' = i_p + 90^\circ + r = 180^\circ$

বা, $r = 90^\circ - i_p$ … (৭.৩৭)

আবার স্নেলের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i_p}{\sin r} = \dfrac{\sin i_p}{\sin(90^\circ - i_p)} = \dfrac{\sin i_p}{\cos i_p}$

বা, $\tan i_p = \mu$ … (৭.৩৮)

এটিই ব্রুস্টারের সূত্র।

উদাহরণ ৭.৮ : একটি ফ্রনহফার শ্রেণীর একক চিড়ের দরুণ অপবর্তন পরীক্ষায় $5890\overset{0}{\mathrm{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হল। প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় করুন। চিড়ের বেধ 0.1mm

সমাধানঃ দেয়া আছে, $\lambda = 5890\text{Å} = 5890 \times 10^{-10}\,\text{m}$, $d = 0.1\,\text{mm} = 10^{-4}\,\text{m}$, $n = 1$ এবং $\theta_n = \theta_1 = ?$

আমরা জানি, $d \sin\theta_n = n\lambda$

বা, $\sin\theta_n = \dfrac{n\lambda}{d}$

শর্তানুসারে, $\sin\theta_1 = \dfrac{\lambda}{d}$

বা, $\theta_1 = \sin^{-1}\dfrac{\lambda}{d}$

মান বসালে, $\theta_1 = \sin^{-1}\dfrac{5890 \times 10^{-10}}{10^{-4}} = \sin^{-1} 5.89 \times 10^{-3} = 0.29^\circ$

উ: 0.29°

উদাহরণ৭.৯ : যে বর্ণের আলোর জন্য পানির প্রতিসরণাঙ্ক 1.33 তার সমবর্তন কোণ নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $\mu = 1.33$ এবং $i_p = ?$

আমরা জানি, $\tan i_p = \mu$

বা, $i_p = \tan^{-1}\mu$

মান বসালে, $i_p = \tan^{-1} 1.33 = 53.1^\circ$

উ: 53.1°

উদাহরণ ৭.১০: নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য 1.33 প্রতিসরণাঙ্ক পানি থেকে 1.5 প্রতিসরণাঙ্কের কাচে প্রবেশ করলে বর্ণের আলোর সমবর্তন কোণ নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $\mu_w = 1.33,\ \mu_g = 1.5$ এবং $i_p = ?$

আমরা জানি, ${}_w\mu_g = \tan i_p$ এবং ${}_w\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w}$

অতএব, $\frac{\mu_g}{\mu_w} = \tan i_p$

মান বসালে, $\frac{1.5}{1.33} = \tan i_p$

বা, $i_p = \tan^{-1}\frac{1.5}{1.33} = \tan^{-1} 1.128 = 48.44^\circ$

উ: 48.44°

সার-সংক্ষেপ :

অপবর্তনঃ আলোক রশ্মির সম্মুখে কোনো তীক্ষ্ণ ধার বিশিষ্ট অস্বচ্ছ বস্তু থাকলে বা কোনো সূক্ষ্ম চিড় বা ছিদ্র থাকলে বাধা বা ছিদ্রের ধার ঘেঁষে বাঁক ঘুরে জ্যামিতিক ছায়ার মধ্যে আলোর অনুপ্রবেশ ঘটে। বাঁক ঘুরে জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলে আলোর অনুপ্রবেশের ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বলে।

ফ্রনহফার শ্রেণী অপবর্তনঃ যে সব অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চিড় বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়ই কার্যকরভাবে অসীম দুরত্বে থাকে তাদেরকে ফ্রনহফার শ্রেণী অপবর্তন বলে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ সমতল হয়।

ফ্রেনেল শ্রেণী অপবর্তনঃ যে সব অপবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধক বা চিড় বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়ই কার্যকরভাবে সসীম দুরত্বে থাকে তাদেরকে ফ্রেনেল শ্রেণী অপবর্তন বলে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ গোলীয় বা চোঙ আকৃতির হয়।

আলোর সমবর্তন: আলো কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে গমনের পর আলোক তরঙ্গের কম্পন একটি নির্দিষ্ট দিকে বা তলে হওয়ার ঘটনাকে বলা হয় আলোর সমবর্তন। কোন আলোক রশ্মির কম্পন কেবল মাত্র একটি নির্দিষ্ট দিকে বা তলে হলে ঐ আলোকে বলা হবে সমবর্তিত আলো।

সমবর্তক বা পোলারাইজার: যার সাহায্যে আলোর সমবর্তন ঘটানো হয় তাকে বলা হয় সমবর্তক বা পোলারাইজার।

বিশেণ্ডষক বা এ্যানালাইজার: যার সাহায্যে কোনো আলো সমবর্তিত কি না তা নির্দ্ধারণ করা হয় তাকে বলা হয় বিশেণ্ডষক বা এ্যানালাইজার।

ম্যালাসের সূত্র: সমবর্তিত আলো বিশেণ্ডষকের মধ্য দিয়ে গমনের ফলে এর তীব্রতা সমবর্তক ও বিশেণ্ডষকের নিঃসরণ তলের মধ্যবর্তী কোণের cosine-এর সমানুপাতিক।

সমবর্তন তল: কম্পন তলের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত তলের উপরে আলোকরশ্মিটি বর্তমান, সেই তলটিকে সমবর্তন তল বলে।

সমবর্তন কোণ: যে বিশেষ আপাতন কোণের জন্য কোনো নির্দিষ্ট প্রতিফলক তল থেকে প্রতিফলিত রশ্মি সম্পূর্ণরূপে সমতল সমবর্তিত হয় সেই কোণকে সমবর্তন কোণ বলে। এই কোণকে i_p দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

ব্রুস্টারের সূত্র: সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্টের মান সংখ্যাগতভাবে প্রতিসারক মাধ্যমের প্রতিসরণাংকের সমান। অর্থাৎ $\tan i_p = \mu$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৭.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেষে বা সরু চিরের মধ্যে দিয়ে যাওয়ার সময় আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে কি বলে?

ক. প্রতিসরণ　খ. অপবর্তন　গ. সমবর্তন　ঘ. ব্যাতিচার

২। সমবর্তন ঘটে কোন তরঙ্গের ক্ষেত্রে-

ক. শব্দ তরঙ্গ খ. অনুতরঙ্গ গ. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ ঘ. তির্যক তরঙ্গ

৩। আলোর কম্পনকে আলোর গতির সাথে সমকোণে একটি নির্দিষ্ট তলে সীমাবদ্ধ করার প্রক্রিয়াকে বলে-

ক. আলোর ব্যতিচার খ. আলোর অপবর্তন গ. আলোর সমবর্তন ঘ. অপবর্তন প্রতিসরণ

চূড়ান্ড় মূল্যায়নঃ ৭

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। নীচের কম্পাঙ্কগুলোর মধ্যে কোনটি অবলহিত রশ্মির কম্পাঙ্ক হতে পারে?

ক. 10^2 Hz খ. 10^8 Hz গ. 10^{14} Hz ঘ. 10^{20} Hz

২। মাইক্রোওয়েভ, অতিবিগুনী রশ্মি ও অবলহিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_m, λ_u এবং λ_i হলে কোন উক্তিটি সঠিক?

ক. $\lambda_m > \lambda_u > \lambda_i$ খ. $\lambda_i > \lambda_u > \lambda_m$ গ. $\lambda_u > \lambda_i > \lambda_m$ ঘ. $\lambda_m > \lambda_i > \lambda_u$

৩। কোন ঘটনায় বোঝা যায় যে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ হলো তির্যক তরঙ্গ?

ক. সমবর্তন খ. ব্যাতিচার গ. প্রতিফলন ঘ. প্রতিসরণ

৪। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের উদ্ভব ঘটে

i. স্থির তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের কারণে ii. কম্পনশীল তড়িৎক্ষেত্রের কারণে

iii. কম্পনশীল চৌম্বক ক্ষেত্রের কারণে

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii.

৫। তরঙ্গমুখে অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু থেকে নির্গত অণুতরঙ্গগুলো স্পর্শক তলকে বলে

ক. গৌণ তরঙ্গ খ. অণুতরঙ্গ গ. অসমবর্তিত তরঙ্গ ঘ. সমবর্তিত তরঙ্গ

৬। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{2\lambda}{5}$ হলে বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য কত?

ক. 4π খ. $\frac{4\pi}{5}$ গ. $\frac{\pi}{5}$ ঘ. $\frac{2\pi}{5}$

৭। কম্পন তল এবং সমবর্তন তলের মধ্যবর্তী কোণ হলো–

ক. 0 খ. $\frac{\pi}{4}$ গ. $\frac{\pi}{2}$ ঘ. π

৮। সমবর্তন কোণ নির্ভর করে

i. আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর ii. মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্কের উপর

iii. সমবর্তন তলের উপরে

কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii.

সৃজনশীল প্রশ্নঃ

১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় প্রতিটি চিড়ের প্রস্থ 0.02 mm এবং দুই চিড়ের কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব 1 mm । চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব 1m । চিড়দ্বয়কে $5890\,\overset{0}{\mathrm{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দিয়ে আলোকিত করা হলো।

ক. আলোক সমবর্তন কাকে বলে?

খ. ইয়াং-এর দ্বিচিড় পরীক্ষার সমগ্র ব্যবস্থাটিকে পানির মধ্যে রেখে পরীক্ষা করলে আপনি কী পরিবর্তন লক্ষ্য করবেন?

গ. কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল থেকে পঞ্চম উজ্জ্বল ঝালরের দূরত্ব নির্ণয় করুন।

ঘ. চিড় দুটির যে কোনো একটি বন্ধ করে দিলে কোনো প্রকার ঝালর পাওয়া যাবে কি? আপনার উত্তরের স্বপক্ষে বিশ্লেষণধর্মী ব্যাখ্যা দিন।

২। $1.5\times10^{-6}\text{m}$ প্রস্থ বিশিষ্ট একক চিড় ফ্রনহফার শ্রেণীর অপবর্তন পরীক্ষায় $5890\ \overset{0}{\text{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলো দিয়ে আলোকিত করলে সর্বোচ্চ ছয়টি অন্ধকার ডোরা পাওয়া গেল।

ক. ব্যতিচার কাকে বলে?

খ. একক চিড় ফ্রনহফার শ্রেণীর অপবর্তন পরীক্ষায় চিড়ের প্রস্থ ক্রমশ বৃদ্ধি করতে থাকলে অপবর্তন ঝালরের কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে?

গ. কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরার কৌণিক প্রস্থ নির্ণয় করুন।

ঘ. কেন ছয়টির বেশী অন্ধকার ডোরা পাওয়া গেল না তা গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ করুন।

ক. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন :

১। তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ কাকে বলে লিখুন।
২। তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ কি?
৩। তরঙ্গমুখ কাকে বলে লিখুন।
৪। সমতল তরঙ্গমুখ কি?
৫। হাইগেন্সের নীতি লিখুন।
৬। আলোর ব্যতিচার বলতে কি বোঝায়?
৭। ব্যতিচারের শর্তগুলো লিখুন?
৮। অপবর্তনের সংজ্ঞা দিন।
৯। অপবর্তনের শর্তগুলি লিখুন?

খ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন :

১। আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব ব্যাখ্যা করুন।
২। তরঙ্গ সঞ্চালন সম্পর্কিত হাইগেন্সের নীতি চিত্রসহ ব্যাখ্যা করুন ।
৩। হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলনের সূত্র প্রমাণ বা প্রতিপাদন করুন ।
৪। হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ব্যাখ্যা করুন ।
৫। হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণ সংক্রান্তের সূত্র প্রতিপাদন করুন ।
৬। হাইগেন্সের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করুন ।
৭। পথ পার্থক্য ও দশা পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করুন ।
৮। আলোর ব্যতিচারের ইয়াংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষাটি বর্ণনা করুন ।
৯। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা সৃষ্টির শর্তসমূহ আলোচনা করুন ।
১০। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষার মাধ্যমে ব্যতিচার প্রদর্শনের পরীক্ষাটি বর্ণনা কর এবং উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরার শর্তসমূহ আলোচনা করুন ।
১১। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষার বিবরণ দাও এবং সেখান থেকে পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মর্ধবর্তী দূরত্বের রশিমালা নির্ণয় করুন ।
১২। একক চিড়ের দরুন অপবর্তন ব্যাখ্যা করুন ।
১৩। আলোর ব্যতিচার ও অপবর্তনের মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ করুন ।
১৪। আলোর ব্যতিচার ও অপবর্তনের মধ্যে তুলনা করুন ।
১৫। তাড়িতচৌম্বক বিকিরণের ধর্মগুলো লিখুন।

গ. গাণিতিক সমস্যা :

১। একটি লেজার রশ্মির সর্বোচ্চ তড়িৎক্ষেত্র $1.5\times10^{6}\,\text{NC}^{-1}$ । এর সর্বোচ্চ চৌম্বকক্ষেত্র নির্ণয় করুন।

[উঃ $5\times10^{-3}\text{T}$]

২। একটি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের সর্বোচ্চ চৌম্বকক্ষেত্রের মান $3.3\times10^{-7}\,\text{T}$ । এর সর্বোচ্চ তাড়িৎক্ষেত্রের মান নির্ণয় করুন । [উঃ $99\,\text{NC}^{-1}$]

৩। কোনো বেতার তরঙ্গের $E_m = 10^{-4}\,\text{Vm}^{-1}$ । B_m এর মান নির্ণয় করুন । [উঃ $3.3\times10^{-13}\,\text{T}$]

৪। পানির আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা ও আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা যথাক্রমে 80 ও $\frac{1}{45}$ হলে পানিতে আলোর বেগ নির্ণয় করন । [উঃ $2.25\times10^{-8}\,\text{ms}^{-1}$]

৫। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ । বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য নির্ণয় করুন। [উঃ π]

৬। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব $0.3\,\text{mm}$ এবং একে $5600\,\overset{0}{\text{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করা হল। চিড়ের সমান্তরাল $1\,\text{m}$ দূরত্বে অবস্থিত পর্দায় কেন্দ্রীয় চরম থেকে 10-তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব নির্ণয় করুন। [উঃ $1.87\times10^{-2}\,\text{m}$]

৭। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $2\,\text{mm}$ । এই চিড় থেকে $1\,\text{m}$ দূরত্বে ডোরার প্রস্থ $0.295\,\text{mm}$ পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের করুন। [উঃ $5900\,\text{Å}$]

৮। $0.4\,\text{mm}$ ব্যবধান বিশিষ্ট দুটি চিড় হতে $1\,\text{m}$ দূরত্বে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হল। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5000\,\text{Å}$ হলে, পর পর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যবর্তী দূরত্ব বের করুন। [উঃ $1.25\,\text{mm}$]

৯। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়কে $5890\,\text{Å}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোক দ্বারা আলোকিত করা হলো। চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দুটির দূরত্ব $0.8\,\text{mm}$ । যদি দ্বি-চিড়টি থেকে পর্দা থেকে $1\,\text{m}$ দূরে রাখা হয় তবে উজ্জ্বল ডোরার বেধ নির্ণয় করুন। [উঃ 0.3681 mm]

১০। ইয়ংয়ের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর্দাটি চিড় থেকে $1.5\,\text{m}$ দূরে অবস্থিত এবং ব্যবহৃত আলোর কম্পাঙ্ক $6\times10^{14}\,\text{Hz}$ । দুটি ক্রমিক উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব $0.75\,\text{m}$ হলে চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় করুন। [উঃ 1 mm]

১১। একটি ফ্রনহফার শ্রেণীর $0.2\,\text{mm}$ প্রস্থবিশিষ্ট একক চিড়ের দরুণ অপবর্তন পরীক্ষায় $5600\,\overset{0}{\text{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হল। প্রথম ক্রমের অন্ধকার পট্টির জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় করুন। [উঃ $0.16°$]

১২। $0.05\,\text{mm}$ প্রস্থ বিশিষ্ট একক চিড় ফ্রনহফার শ্রেণীর অপবর্তন পরীক্ষায় কত তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলো দিয়ে আলোকিত করলে দ্বিতীয় ক্রমের অন্ধকার পট্টির জন্য অপবর্তন কোণ $1.5°$ পাওয়া যাবে নির্ণয় করুন। [উঃ $6540\,\overset{0}{\text{A}}$]

১৩। $6\times10^{-4}\,\text{cm}$ প্রস্থের বিশিষ্ট একক চিড় ফ্রনহফার শ্রেণীর অপবর্তন পরীক্ষায় $6000\,\overset{0}{\text{A}}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর জন্য কেন্দ্রীয় চরমের উভয় পার্শ্বে প্রথম অবমগুলোর কৌণিক দূরত্ব নির্ণয় করুন। [উঃ $11.48°$]

উত্তরমালা

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

পাঠ ৭.১ ১গ ২খ

পাঠ ৭.২ ১ঘ ২ঘ

পাঠ ৭.৩ ১ঘ ২খ

পাঠ ৭.৪ ১খ ২ঘ

পাঠ ৭.৫ ১ঘ ২গ

পাঠ ৭.৬ ১খ ২ঘ ৩গ

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১গ ২ঘ ৩খ ৪খ ৫ক ৬খ ৭গ ৮ক