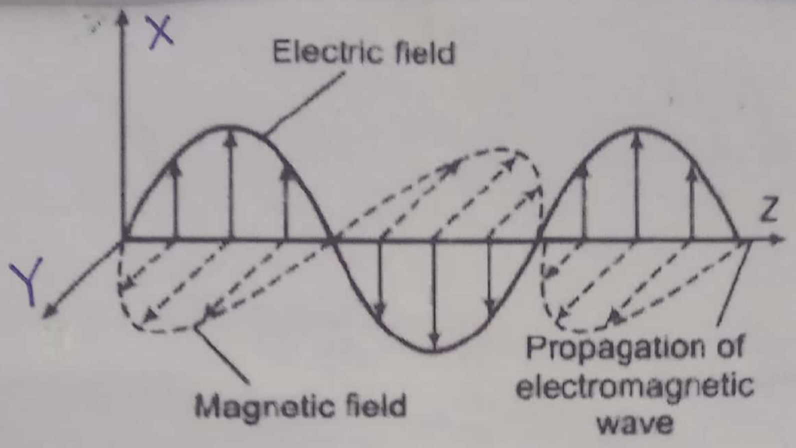
## 11 বিদ্যুত - চুম্বকীয় বৰ্ণালী (ELECTRO-MAGNETIC SPECTRUM):

মেক্সৱেলৰ তত্ত্ব মতে পোহৰ এবিধ বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগ। তৰংগ সমূহৰ শক্তি বা তৰংগ দৈৰ্ঘ্যৰ ওপৰত ভিত্তি কৰি সমগ্ৰ বিদ্যুত-চুম্বকীয় তৰংগবোৰক কিছুমান শ্ৰেণীত ভাগ কৰা হৈছে কিন্তু গোটেই বিদ্যুত চুম্বকীয় বৰ্ণালীটো অবিচ্ছিন্ন; অৰ্থাৎ বিভিন্ন শ্ৰেণীসমূহৰ মাজত কোনো স্পষ্ট সীমা ৰেখা নাই। এই বৰ্ণালীৰ বৰ্ণসমূহ অবিৰত ভাৱে এটা শ্ৰেণীৰ পৰা আন এটা শ্ৰেণীলৈ উপৰিপাতিত হয়। আমাৰ দৃশ্যমান ৰশ্মি বিদ্যুতচুম্বকীয় বৰ্ণালীৰ বৃহৎ পৰিসৰৰ এটা ক্ষুদ্ৰ অংশত অৱস্থিত। তলৰ তালিকাত বিদ্যুত-চুম্বকীয় বৰ্ণালীটোৰ শ্ৰেণী বিভাজন দেখুওৱা হৈছে।

তালিকা 10.1: বিদ্যুত-চুম্বকীয় তৰংগৰ কম্পনাংক, তৰংগদৈৰ্ঘ্য

| নাম | কম্পনাংকৰ পৰিসৰ ($f$) | তৰংগদৈৰ্ঘ্যৰ পৰিসৰ ($\lambda$) |
|---|---|---|
| ৰেডিঅ' তৰংগ | $(10^4 - 10^8)$ Hz | $\lambda > 10 \times 10^{-3}$ m |
| মাইক্ৰ'ৱেভ | $(10^9 - 10^{12})$ Hz | $10 \times 10^{-3}$ m $- 100 \times 10^{-6}$ m |
| অৱলোহিত | $(30 \times 10^{12} - 400 \times 10^{12})$ Hz | $100 \times 10^{-6}$ m $- 740 \times 10^{-9}$ m |
| দৃশ্যমান পোহৰ | $(400 \times 10^{12} - 800 \times 10^{12})$ Hz | $740 \times 10^{-9} - 380 \times 10^{-9}$ m |
| অতি বেঙুনীয়া | $(8 \times 10^{14} - 3 \times 10^{15})$ Hz | $380 \times 10^{-9}$ m $- 10 \times 10^{-9}$ m |
| ৰঞ্জন ৰশ্মি | $(10^{16} - 10^{18})$ Hz | $10 \times 10^{-9}$ m $- 100 \times 10^{-12}$ m |
| গামা ৰশ্মি | $> 10^{18}$ Hz | $< 100 \times 10^{-12}$ m |

## লেখত বিদ্যুত - চুম্বকীয় তৰংগঃ




চিত্ৰ 10.4

পইনটিং ভেক্টৰ (POYNTING VECTOR) : বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগৰ গতিৰ লম্বভাৱে থকা এমন সমতলৰ প্ৰতি একক ক্ষেত্ৰৰ মাজেৰে যি হাৰত শক্তি সঞ্চাৰিত হয় তাকে পইনটিং ভেক্টৰ, $\vec{P}$ ৰে নিৰ্দেশ কৰা হয়। এই উক্তিটোক পইনটিংৰ উপপাদ্য (POYNTING'S THEOREM) বোলে।

পইনটিং ভেক্টৰ, $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ আৰু ইয়াক বিজ্ঞানী জে. এইচ. পইনটিং (J.H. POYNTING) ৰ নামেৰে নামাকৰণ কৰা হৈছে।

$\vec{P}$ ৰ দিশ, $\vec{E}$ আৰু $\vec{H}$ ৰ লম্ব দিশত।

অৰ্থাৎ আকাশে তৰংগৰ দৰে বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগই কোনো উৎসৰ পৰা দূৰত থকা গ্ৰাহকলৈ শক্তি কঢ়িয়াই নিয়ে। এইদৰে শক্তি বহন কৰিবলৈ বিদ্যুতক্ষেত্ৰ এনে যি কাৰ্য্য কৰিবলগীয়া হয় তাৰ জোখ হৈছে $\vec{P}$।

**পইণ্টিংৰ তত্ত্ব (POYNTING'S THEOREM):**

মুক্ত অঞ্চল বা বায়ুশূন্য মাধ্যমৰ বাবে মেক্সৱেলৰ তৃতীয় আৰু চতুৰ্থ সমীকৰণ দুটা হ'ল,

$$\left.\begin{aligned}\vec{\nabla}\times\vec{E} &= -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\\ \vec{\nabla}\times\vec{H} &= \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\end{aligned}\right\} \quad \text{-------} \quad (10.37)$$

সমীকৰণ দুটাক ক্ৰমে $\vec{H}$ আৰু $\vec{E}$ ৰে স্কেলাৰ পূৰণ কৰি পাওঁ,

$$\vec{H}.\left(\vec{\nabla}\times\vec{E}\right) = -\vec{H}.\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad \text{----------} \quad (10.38)$$

$$\vec{E}.\left(\vec{\nabla}\times\vec{H}\right) = \vec{E}.\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \quad \text{----------} \quad (10.39)$$

সমীকৰণ (10.39) ৰ পৰা (10.38) বিয়োগ কৰিলে পাওঁ,

$$\vec{E}.\left(\vec{\nabla}\times\vec{H}\right) - H.\left(\vec{\nabla}\times\vec{E}\right) = \vec{E}.\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} + \vec{H}\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla}.\left(\vec{H}\times\vec{E}\right) = \left[\vec{E}.\frac{\partial}{\partial t}\left(\epsilon_0\vec{E}\right) + \vec{H}.\frac{\partial}{\partial t}\left(\mu_0\vec{H}\right)\right]$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla}.\left(\vec{E}\times\vec{H}\right) = -\frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial t}\left(\epsilon_0 E^2 + \mu_0 H^2\right) \quad \text{------} \quad (10.40)$$

ধৰাহ'ল, মুক্ত অঞ্চলটোত কোনো আয়তন V ক আগুৰা ক্ষেত্ৰৰ কালি S. এতিয়া ওপৰৰ সমীকৰণটো

V আয়তনৰ বাবে অনুকলন কৰি পাওঁ,

$$\int_V \vec{\nabla}.(\vec{E}\times\vec{H})\,dV = -\frac{\partial}{\partial t}\int_V \left(\frac{\epsilon_0 E^2}{2}+\frac{\mu_0 H^2}{2}\right)dV$$

গাউচৰ DIVERGENCE উপপাদ্য প্ৰয়োগ কৰি পাওঁ,

$$\int_V \nabla.(\vec{E}\times\vec{H})\,dV = \int_S (\vec{E}\times\vec{H})\,ds$$

$$\therefore \int_S (\vec{E}\times\vec{H})\,ds = -\frac{\partial}{\partial t}\int_V \left(\frac{\epsilon_0 E^2}{2}+\frac{\mu_0 H^2}{2}\right)dV$$

ওপৰৰ সমীকৰণটোৰ সোঁফালৰ অংশই বিদ্যুত আৰু চুম্বকক্ষেত্ৰৰ শক্তিৰ অবক্ষয় বুজায়। বাওঁঅংশই S ক্ষেত্ৰৰ মাজেৰে বাহিৰলৈ গতিকৰা শক্তিৰ হাৰ নিৰ্দেশ কৰে। এই শক্তিৰ সঞ্চাৰণৰ হাৰ $\frac{\partial U}{\partial t}$ ৰে বুজোৱা হৈছে।

$$\therefore \int_S \frac{\partial U}{\partial t}\,ds = \int_S (\vec{E}\times\vec{H})\,ds$$

যিহেতু সংজ্ঞামতে, শক্তি সঞ্চালনৰ হাৰ, $\frac{\partial U}{\partial t} = \vec{P}$ (পইণ্টিং ভেক্টৰ)

$$\therefore \vec{P} = \vec{E}\times\vec{H} \quad \text{-------} \quad (10.41)$$

আকৌ সমীকৰণ (10.40) ত থকা $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$ আৰু $\frac{1}{2}\mu_0 H^2$ ৰাশি দুটাক ক্ৰমে বিদ্যুত ক্ষেত্ৰৰ শক্তি ঘনত্ব $(U_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2)$ আৰু চুম্বক ক্ষেত্ৰৰ শক্তি ঘনত্ব $(U_M = \frac{1}{2}\mu_0 H^2)$ বোলা হয়। বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগৰ ক্ষেত্ৰত মুঠ শক্তি ঘনত্ব হ'ব, $U = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu_0 H^2$

এতিয়া সমীকৰণ (10.40) ৰ পৰা লিখিব পাৰো,

$$\vec{\nabla}.(\vec{E}\times\vec{H}) = -\frac{\partial U}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla}.\vec{P} + \frac{\partial U}{\partial t} = 0 \quad \text{-------} \quad (10.42)$$

সমীকৰণ (10.42) ক বিদ্যুত চুম্বকীয় ক্ষেত্ৰৰ শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ সূত্ৰ বোলা হয়।

## মুক্ত অঞ্চলত বিদ্যুত-চুম্বকীয় তৰংগঃ (ELECTOMAGNETIC WAVE IN FREE SPACE)

মুক্ত অঞ্চলত আধান ঘনত্ব $\rho = 0$ আৰু প্ৰবাহ ঘনত্ব $J = 0$, গতিকে মেক্সৱেলৰ সমীকৰণ চাৰিটাৰ ৰূপ হ'ব,

$$\vec{\nabla} . \vec{E} = 0 \quad \text{------} \quad (10.19)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{------} \quad (10.20)$$

$$\vec{\nabla} . \vec{B} = 0 \quad \text{------} \quad (10.21)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{------} \quad (10.22)$$

এতিয়া; $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla} . (\vec{\nabla} . \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B}$

$= -\nabla^2 \vec{B}$ (যিহেতু $\vec{\nabla} . \vec{B} = 0$)

সমীকৰণ (10.22) ৰ পৰা;

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \epsilon_0 \mu_0 \vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})$$

$$\Rightarrow -\nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})$$

$$\Rightarrow \nabla^2 B = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \left( -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$$

$$\Rightarrow \nabla^2 B = \epsilon_0 \mu_0 \left( \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \right) \quad \text{------} \quad (10.23)$$

আকৌ, $\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) = \vec{\nabla}.(\vec{\nabla}.\vec{E}) - \nabla^2 E$

$$= -\nabla^2\vec{E} \quad (\text{যিহেতু } \vec{\nabla}.\vec{E}=0)$$

সমীকৰণ (10.20) ৰ পৰা পাওঁ,

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\therefore \vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) = -\vec{\nabla}\times\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}\times\vec{B})$$

$$\Rightarrow -\nabla^2\vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}\times\vec{B})$$

$$\Rightarrow \nabla^2\vec{E} = \frac{\partial}{\partial t}\left(\mu_0\vec{J} + \mu_0\epsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right)$$

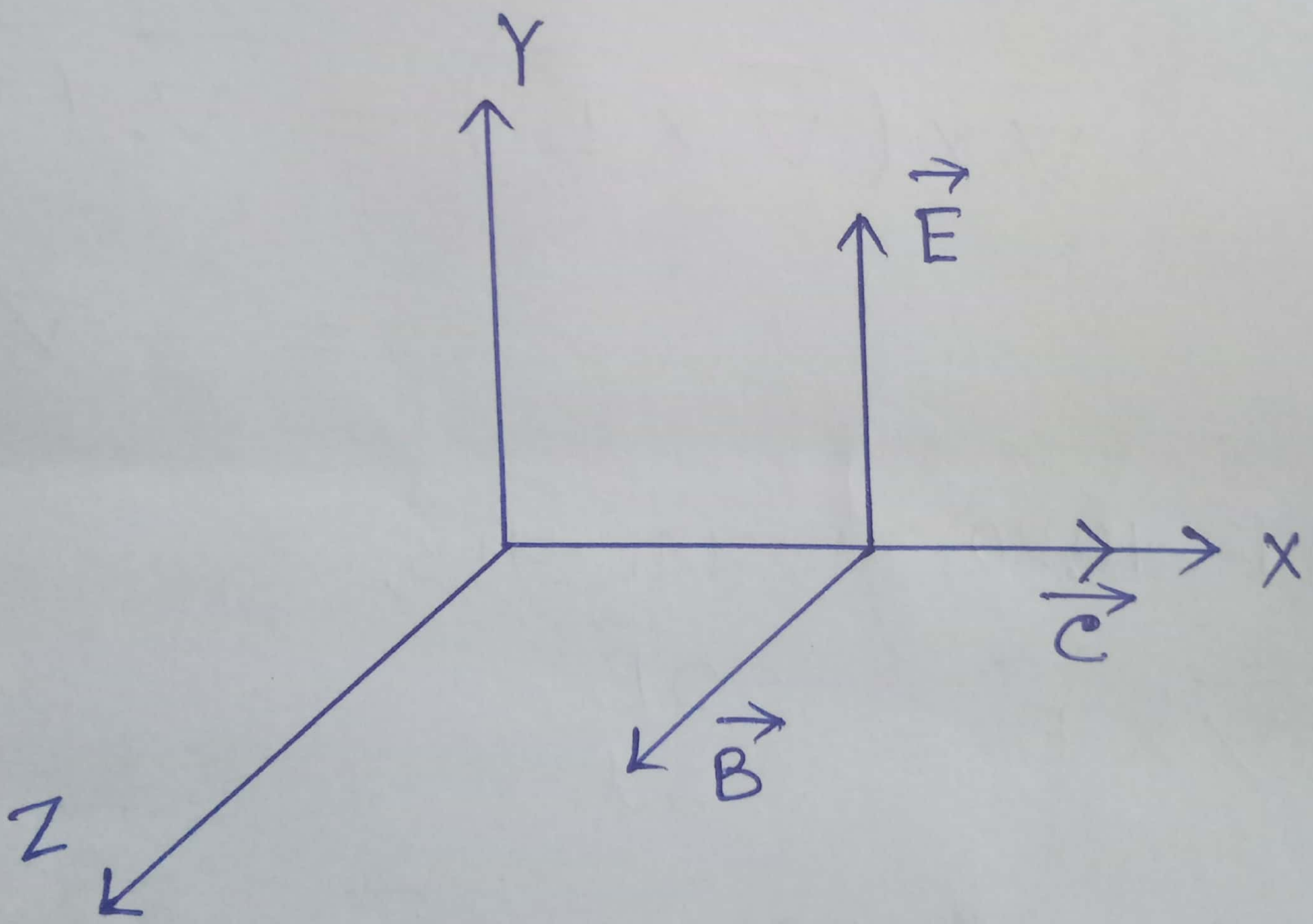
$$\Rightarrow \nabla^2\vec{E} = \mu_0\epsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{---------} (10.24)$$

সমীকৰণ (10.23) আৰু (10.24) ৰ সাধাৰণ তৰংগ সমীকৰণৰ সৈতে একে।

$$\nabla^2\psi = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} \quad \text{..........} (10.25)$$

সমীকৰণ দুটাৰ পৰা বেগৰ মান তুলনা কৰিলে, বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগৰ বেগৰ মান $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = 2.99\times10^8\, m/s$ শূন্য মাধ্যমত পোহৰৰ বেগৰ মানৰ সৈতে সমান পোৱা যায়; অৰ্থাৎ পোহৰ বিদ্যুত চুম্বকীয় তৰংগ আৰু ই মাধ্যম অবিহনে গতি কৰিব পাৰে।

আমি জানো যে $\vec{E}$ আৰু $\vec{B}$ পৰস্পৰ লম্ব, গতিকে তৰংগটোৰ গতিৰ দিশ যদি x অক্ষ হয় তেন্তে $\vec{E}$ আৰু $\vec{B}$ ৰ দিশ $\vec{Y}$ আৰু $\vec{Z}$ ৰ দিশত হ'ব (পৰস্পৰ লম্ব $\vec{E}$ আৰু $\vec{B}$ ৰ দিশ যাদৃচ্ছিক হ'ব পাৰে)। চিত্ৰ 10.3




চিত্র 10.3