विद्युत - चुंबकीय तरंगे

समय के सापेक्ष परिवर्ती विद्युत - क्षेत्र एक चुंबकीय क्षेत्र ($\vec{B}$) के स्त्रोत जैसा तथा परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र एक विद्युत - क्षेत्र ($\vec{E}$) के स्त्रोत जैसा कार्य करता है।

- **विद्युत - चुंबकीय तरंगों के स्त्रोत :**

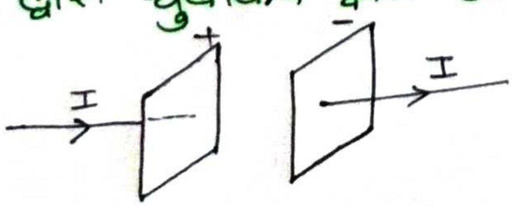
मैक्सवेल ने यह भी सिद्ध किया कि तरंगों की चाल मुक्त आकाश में प्रकाश की चाल $\left(c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}\right)$ के बराबर होती है। तथा यह अनुमान लगाया कि प्रकाश भी विद्युत - चुंबकीय तरंग है।

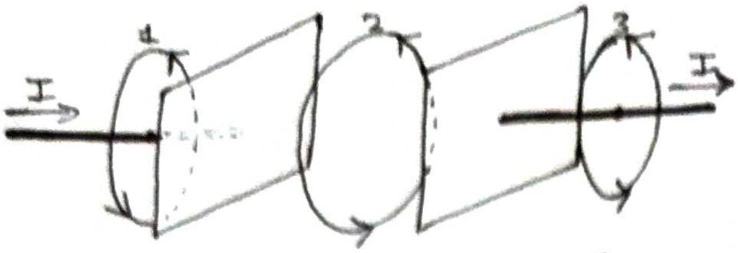
- **मैक्सवेल की विस्थापन धारा : ऐम्पियर के परिपथीय नियम का व्यापक रूप :**

किसी तार से प्रवाहित स्थायी विद्युत - धारा के कारण उसके चारों ओर स्थायी चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है जिसके लिए ऐम्पियर का निम्नलिखित परिपथीय नियम मान्य होता है।

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I$$

एक अतिरिक्त धारा की आवश्यकता होती है जिसे मैक्सवेल ने विस्थापन धारा का नाम दिया। इस धारा का अस्तित्व किसी संधारित्र के आवेशन की प्रक्रिया से स्पष्ट होता है तथा यह भी स्पष्ट होता है कि परिवर्तनशील विद्युत - क्षेत्र द्वारा चुंबकिय क्षेत्र उत्पन्न होता है।





विस्थापन धारा का कारण है —

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{s} = \phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(\epsilon_0 \phi_E) = \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0\left(I + \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}\right)$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

• विद्युत - चुंबकीय क्षेत्र के लिए मैक्सवेल के समीकरण समाकल रूप में :

समीकरण 1 :

$$\int_{\text{बंद तल}} \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$$

यह समीकरण चुंबकीय एकल - ध्रुव के अस्तित्व का नहीं होना व्यक्त करता है। इस नियम को चुंबकीय में गॉस का नियम भी कहा जाता है।

समीकरण 2 :

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

यह नियम स्थिर वैद्युतिकी में गॉस का नियम है।

समीकरण 3 : $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}\int \vec{B}\cdot d\vec{A}$

यह समीकरण विद्युत- चुंबकीय प्रेरण के लिए फैराडे का नियम है।

समीकरण 4:

$$\oint_{\text{बंदलूप}} \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0 (I_c + I_d) = \mu_0\left(I_c + \epsilon_0 \frac{d\phi}{dt}\right)$$

$$\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0 I_c + \mu_0\epsilon_0 \frac{d}{dt}\int \vec{E}\cdot\vec{dA}$$

यह समीकरण ऐम्पियर के परिपथ नियम का व्यापक रूप है जिसमें चालन धारा I_c तथा विस्थापन धारा I_d दोनों का समावेश है।

चारों समीकरणों के इस ग्रूप को मैक्सवेल के क्षेत्र समीकरण कहा जाता है।

• विद्युत - चुंबकीय तरंगों की विशेषताएँ:

(•) विद्युत - चुंबकीय तरंग एक अनुप्रस्थ तरंग - गति है जिसके विद्युत - क्षेत्र ($\vec{E}$) तथा चुंबकीय क्षेत्र ($\vec{B}$) परस्पर लंबवत होते हैं तथा दोनों क्षेत्र संचरण की दिशा के भी लंबवत होते हैं।

(•) विद्युत - चुंबकीय तरंग में $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ के परिमाणों के अनुपात (E/B) का एक निश्चित मान होता है।

$$\text{प्रकाश वेग } (c) = \frac{E}{B}$$

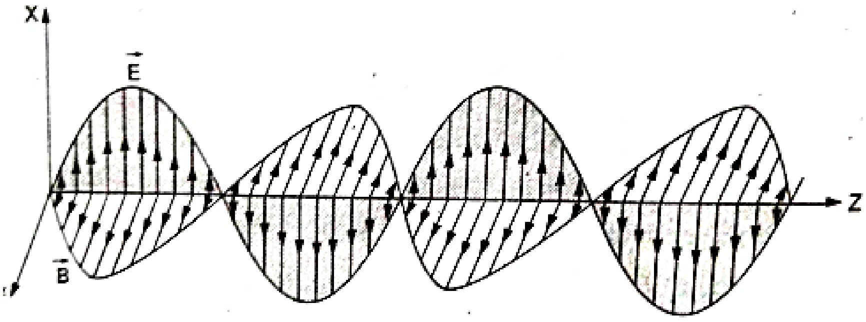
(•) निर्वात में यह तरंग बिना किसी परिवर्तन के एक निश्चित चाल से गमन करती है।

(•) प्रत्यास्थ या यांत्रिक तरंगों के संचरण के लिए द्रव्यात्मक माध्यम की आवश्यकता होती है जिसके कण आवर्ती दोलन करते हैं।

(•) निर्वात में विद्युत - चुंबकीय तरंग की चाल निम्नलिखित सूत्र से दी जाती है।

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

(•) किसी समय t पर z-अक्ष की दिशा में संचरित विद्युत-चुंबकीय तरंग तात्कालिक रूप में दिखाया गया है जिसके $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ क्षेत्र क्रमशः x- तथा y- अक्षों के अनुदिश आवर्त कंपन करते हैं।

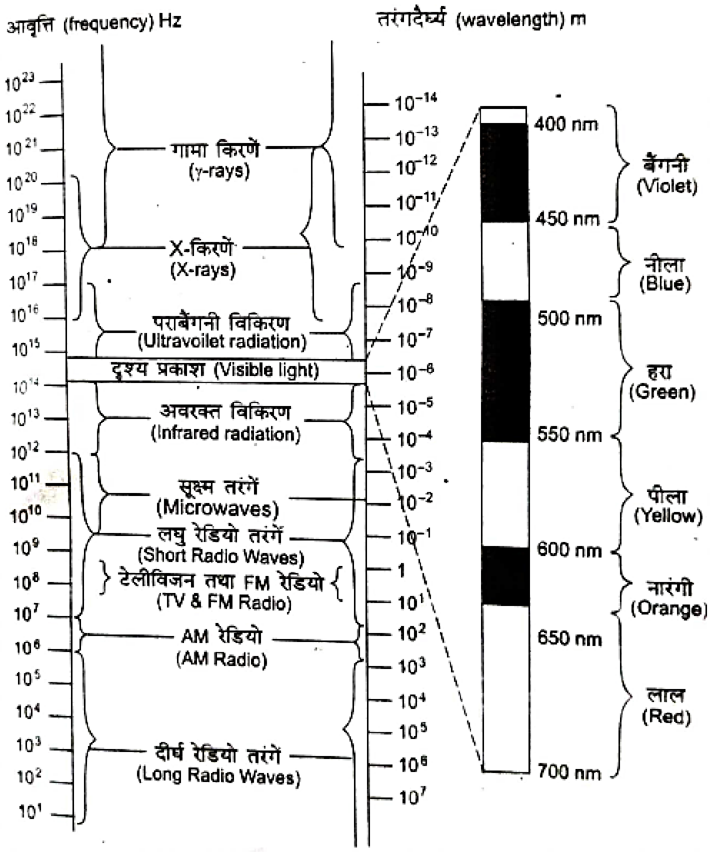


$$E_x = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z\right)$$

$$B_y = B_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z\right)$$

(•) अन्य तरंगों की भाँति विद्युत-चुंबकीय तरंगें भी ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं, इन तरंगों के मार्ग में यदि कोई विद्युत-आवेश हो, तो वह तरंग से ऊर्जा प्राप्त कर दोलन गति करने लगते हैं।

- **विद्युत-चुंबकीय स्पेक्ट्रम :**



	गामा किरणें	X- किरणें	पराबैंगनी किरणें	दृश्य प्रकाश	अवरक्त विकिरण	सूक्ष्म तरंग या माइक्रोवेव्स	रेडियो तरंगें
आवृत्ति परास	3×10^{22} Hz से 3×10^{18} Hz	3×10^{19} Hz से 3×10^{15} Hz	3×10^{16} Hz से 7.5×10^{14} Hz	7.5×10^{14} Hz से 3.5×10^{14} Hz	3.5×10^{14} Hz से 3×10^{11} Hz	3×10^{11} Hz से 10^{9} Hz तक	3×10^{9} Hz से 3×10^{4} Hz
तरंगदैर्ध्य - परास	10^{-14} m से 10^{-10} m तक	10^{-11} m से 10^{-7} m तक	10^{-8} m से $10^{-7}\times4$ m तक	4×10^{-7} m से 7.5×10^{-7} m तक	7.5×10^{-7} m से 10^{-3} m तक	10^{-3} m से 3×10^{-1} m तक	10^{-1} m से 10^{4} m तक
उत्पत्ति	• नाभिक में ऊर्जा परिवर्तन के कारण	• तीव्र गति से चलते हुए इलेक्ट्रॉनों को अचानक मंदित करने पर	• परमाणुओं के कक्षीय इलेक्ट्रॉनों के ऊर्जा परिवर्तन से।	• अणुओं और परमाणुओं के कक्षीय इलेक्ट्रॉनों के पुनर्व्यवस्थापन द्वारा।	• परमाणुओं और अणुओं में बाह्य इलेक्ट्रॉनों के ऊर्जा परिवर्तन से।	• विशेष प्रकार के इलेक्ट्रॉनिक युक्ति जैसे क्लिस्ट्रॉन नली द्वारा।	• विशेष परिपथों में दोलित इलेक्ट्रॉन द्वारा।
उपयोग	• इन किरणों से परमाणु के नाभिक के विषय में जानकारी प्राप्त होती है।	• X-किरणों द्वारा क्रिस्टलों की और उनके इलेक्ट्रॉनों की कक्षाओं की जानकारी मिलती है।	• खाद्य-पदार्थों के संरक्षण के लिए इनका उपयोग होता है।	• वस्तुओं को देखने में अतिमहत्वपूर्ण उपयोग।	• पौधघरों में इनका उपयोग होता है।	• रेडार - संप्रेषण में इनका उपयोग किया जाता है।	• रेडियो- संप्रेषण में विशेष उपयोग।

• आंकिक उदाहरण :

1- x- अक्ष की दिशा में संचरित समतल विद्युत - चुंबकीय तरंग का तरंगदैर्घ्य 5mm है। यदि y - अक्ष के अनुदिश इसके विद्युत क्षेत्र का आयाम $30 Vm^{-1}$ हो, तो परिवर्ती विद्युत-क्षेत्र E तथा चुंबकीय क्षेत्र B को स्थिति (x) तथा समय (t) के फलन के रूप में व्यक्त करें।

हल - प्रश्न से - $\lambda = 5mm = 5\times10^{-3}m, E_0 = 30Vm^{-1}$

$$\therefore B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{30Vm^{-1}}{3\times10^8 ms^{-1}} = 10^{-7}T$$

$$E_y = E_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$= E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(ct - x)\right)$$

$$E_y = (30Vm^{-1}) \sin \frac{2\times10^3\pi}{5m}(ct-x)$$

$$B_z = (10^{-7}T) \sin \frac{2\times10^3\pi}{5m}(ct-x)$$

2- निर्वात में x-अक्ष के अनुदिश संचरित विद्युत -चुंबकीय तरंग का विद्युत - क्षेत्र

$$E = (40NC^{-1}) \sin(\omega t - kx)$$

से व्यक्त हो, तो x- अक्ष के समांतर $10 cm^2$ अनुप्रस्थ काट एवं 50 cm लंबाई के बेलन में निहित ऊर्जा तथा तरंग की तीव्रता का मान ज्ञात करें।

हल— माध्य ऊर्जा - घनत्व,

$$u_{av} = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2}\times(8.85\times10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2})(40NC^{-1})^2$$

$$u_{av} = 7.08\times10^{-9} Jm^{-3}$$

अब बेलन का आयतन (V) = $Al = (10cm^2)(50cm) = 5\times10^{-4}m^3$

बेलन में निहित ऊर्जा (U) = $u_{av}\times V = (7.08\times10^{-9}Jm^{-3})\times(5\times10^{-4}m^3)$

$$U = 35.4\times10^{-13}J$$

तरंग की तीव्रता, $I = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 c$

$$I = \frac{(10^{-9} \times 7.08\ Jm^{-3})\ (3 \times 10^8\ ms^{-1})}{}$$

$$I = 2.12\ W m^{-2}$$

3- एक एक्स-किरण नली पर कितना विभव लगाया जाए कि एक्स किरणों का तरंगदैर्ध्य 1 Å हो?
($h = 6.6 \times 10^{-34} s$, $e = 1.6 \times 10^{-19} C$, $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$)

हल - मान लिया कि विभव का मान V है।

इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा $E = eV$

एक्स किरण की ऊर्जा $E = h\nu$

$eV = h\nu$ या $V = \frac{h\nu}{e}$ फिर $\nu = \frac{c}{\lambda}$

तब $V = \frac{hc}{\lambda e}$

$$V = \frac{(6.6 \times 10^{-34} s) \times (3 \times 10^8\ ms^{-1})}{(10^{-10} m) \times (1.6 \times 10^{-19} C)}$$

$$V = \frac{99}{8} \times 10^3 V$$

$$V = 12.375 \times 10^3 V$$

$$V = 12.375\ kV$$

एक्स किरण नली पर लगाया गया विभव = 12.4 kV