विद्युत चुम्बकीय तरंगे, संचार एवं समकालीन भौतिकी

✡ विस्थापन धारा (Displacement Current) :-

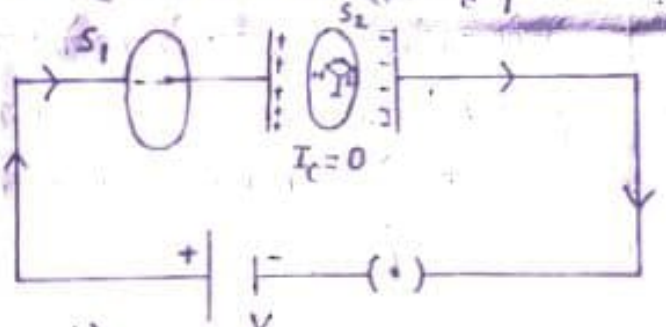
⇒ हम जानते हैं कि विद्युत धारा चु. से. उत्पन्न करती है। धारा तथा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र को निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित करते हैं –

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

इसे एम्पियर का परीपथीय नियम कहते हैं।

⇒ परन्तु इस नियम का उपयोग विद्युत परिपथो से, सम्बन्धित परिणाम प्राप्त करने के लिए किया जाता है, तब यह नियम असंगत प्रतीत होता है।

जैसे :- माना एक समान्तर प्लेट संधारित्र को battery से जोड़कर आवेशित किया जा रहा है। आवेशित होने के दौरान तार में चालन धारा I_c प्रवाहित हो रही है।



⇒ चित्र में दर्शाये अनुसार दो समतल वृत्तीय लूप S_1 तथा S_2 की कल्पना करते हैं।

लूप S_1 के लिए एम्पियर के परिपथीय नियम से –

$$\oint_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_c \quad \text{——[1]}$$

जहाँ I_c लूप से परिबद्ध धारा है।

लूप S_2 से कोई धारा परिबद्ध नहीं है अतः एम्पियर के परिपथीय नियम से –

$$\oint_{S_2} \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$$

www.notesdrive.com

परन्तु संधारित्र दोनों प्लेटों के मध्य यु० सुई रखने पर वह विक्षेपित होती है। अतः प्रदर्शित होता है कि प्लेटों के मध्य निश्चित रूप धारा उत्पन्न जो यु. से उत्पन्न करती है।
अतः विस्थापन धारा की भी कल्पना की गई।

$$\oint_{S_2} \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0 I_d \quad \text{--- (3)}$$

समी. (2) व (3) परस्पर विरोध उत्पन्न करते हैं अतः मैक्सवेल द्वारा एम्पियर का नियम संशोधित रूप प्रदर्शित किया —

$$\boxed{\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0 (I_c + I_d)}$$; एम्पियर – मैक्सवेल नियम।

✡ विस्थापन धारा का कारण —

संधारित्र की दोनों प्लेटों पर आवेश के मान में धीरे-धीरे वृद्धि होती है। अतः "विद्युत क्षेत्र के मान मे परिवर्तन" होने के कारण उत्पन्न धारा को विस्थापन धारा कहते हैं, जो कि यु. से उत्पन्न करती है।

✡ विस्थापन धारा की गणना —

संधारित्र की दोनों प्लेटों के मध्य की सतह से गुजरने वाला यु. फ्लक्स, — $\phi = \frac{q}{\epsilon_0}$

यदि प्लेटों पर आवेश समय के साथ परिवर्तित हो तब —

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{\epsilon_0}\cdot\frac{dq}{dt} = \frac{1}{\epsilon_0} I_d$$

$$\boxed{I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi}{dt}}$$; "विस्थापन धारा"

www.notesdrive.com

→ स्थिर वैद्युत तथा चुम्बकत्व के चार विभिन्न सिद्धांतो के आधार पर चार समी. लिखी जा सकती है। जिन्हे सम्मिलित रूप से मैक्सवेल की वि.चु. तरंग समी. कहते हैं।

मैक्सवेल ने इन समी. के आधार पर निष्कर्ष निकाला की वि.क्षे. में परिवर्तन से चु.क्षे. तथा चु.क्षे. में परिवर्तन से वि.क्षे. उत्पन्न होता है। इन्हे वि.चु. तरंगें कहते हैं।

→ मैक्सवेल समी. —

(i) $\oint \vec{E}\cdot\vec{da} = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0}$

(ii) $\oint \vec{B}\cdot\vec{da} = 0$

(iii) $\oint \vec{E}\cdot\vec{dl} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

(iv) $\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0(I_c + I_d)$

$= \mu_0 I_c + \mu_0\epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$

विद्युत चुम्बकीय तरंगो के गुण

(i) विद्युत चुम्बकीय तरंगो का स्त्रोत त्वरित आवेश है।

(ii) विद्युत चुम्बकीय तरंगो मे विद्युत क्षेत्र, चुम्बकीय क्षेत्र के परिवर्तन आवर्ती रूप से होते हैं। तरंग की दिशा, वि.क्षे. एवं चु.क्षे. तीनो परस्पर लम्बवत् होते हैं।

$[\hat{v} = \hat{E}\times\hat{B}]$

→ उपरोक्त चित्र में तरंग संचरण धनात्मक x Dir^n, वि.क्षे. के कम्पन XY तल तथा चु.क्षे. के कम्पन XZ तल में है।

www.notesdrive.com

(3) वि. चु. तरंगो मे विद्युत क्षेत्र की तुलना मे चु. क्षे. का परिमाण अल्प होता है। अर्थात् –

$$B = \frac{E}{c}$$

⇒ अतः हमारी आँख की रेटिना एवं फोटोग्राफिक प्लेट पर केवल विद्युत क्षेत्र का ही प्रभाव होता है।

(4) विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र से सम्बन्धित कुल ऊर्जा घनत्व अर्थात एकांक आयतन मे उपस्थित ऊर्जा की मात्रा –

$$u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0}$$

(5) विद्युत चुम्बकीय तरंगो का किसी माध्यम में वेग –

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

तथा निर्वात मे वेग –

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = 3\times10^8 \, m/s$$

(6) माध्यम का अपवर्तनांक –

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}}{\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}} = \frac{\sqrt{\mu\epsilon}}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$$

✡ $$n = \sqrt{\mu_r\epsilon_r}$$

(7) विद्युत चुम्बकीय तरंगो के लिए माध्यम की प्रतिबाधा –

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

तथा निर्वात में प्रतिबाधा –

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi\times10^{-7}}{8.85\times10^{-12}}} = 377\,\Omega$$

www.notesdrive.com

विद्युत चु० तरंगो में विद्युत क्षेत्र तथा चु० क्षे० समान कला में दोलन करते हैं।

किसी धनात्मक x-दिशा में संचरित होने वाली वि० चु० तंरगो के लिए वि० क्षे० तथा चु० क्षे० निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित किए जा सकते हैं —

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx)\,\hat{x}$$

$$B = B_0 \sin(\omega t - kx)\,\hat{z}$$

जहाँ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$: संचरण नियतांक

यदि विद्युत चुम्बकीय तरंगे किसी पृष्ठ पर आपतित हो तब निम्न तीन घटनाएं संभव हैं —

परावर्तन, अपवर्तन एवं अवशोषण।

अवशोषण में पृष्ठ को ऊर्जा एवं संवेग प्राप्त होते हैं।

$\boxed{P = \frac{U}{C}}$ तथा पूर्ण परावर्तक सतह हो तब $\boxed{P = \frac{2U}{C}}$

यदि विद्युत चुम्बकीय तरंगें किसी पृष्ठ से टकराती है तब पृष्ठ पर दाब आरोपित करती है। इस दाब को विकिरण दाब कहते हैं।

$\boxed{P = \frac{I}{C}}$ I = तरंग की तीव्रता।

वि० चु० तरंगों द्वारा ऊर्जा स्थानान्तरित होती है। एकांक क्षेत्रफल पर स्थानान्तरित होने वाली ऊर्जा की दर को एक राशि द्वारा प्रदर्शित करते हैं। जिसे पॉयंटिंग सदिश कहते हैं।

✡ $\boxed{\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}(\vec{E} \times \vec{B})}$

www.notesdrive.com

विद्युत चु० तरंगो का सन्चरण

1. भू-तरंग संचरण :-
(Ground wave propagation)

* इस प्रकार के संचरण में तरंग का संचरण पृथ्वी की सतह के साथ-साथ होता है।

अतः प्रेरण की घटना के कारण, विद्युत क्षेत्र का क्षैतिज घटक लघुपथित (short circuit) होजाता है। अतः लम्बी दूरियो तक इनका संचरण संभव नही पाता है। क्यो कि लघुपथित (Short circuit) के कारण क्षीणन (attenuation / loss of energy) अधिक होता है।

* इनकी आवृत्ति कम होती है फलस्वरूप उर्जा ($E=h\nu$) भी कम होती है। 500 KHz - 1500 KHz (अथवा कुछ MHz)
* आवृत्ति को बढाने पर क्षीणता का मान भी बढ जाता है अतः इनकी आवृत्ति कम रखी जाती है।
* आवृत्ति कम होने से इनकी तरंग दैर्ध्य अधिक होती है अतः इनकी मुडने की क्षमता (Bending power) अथवा विवर्तन अधिक होता है।

व्योम तरंग संचरण :→
(Sky wave propagation)
-या-
(आयन मण्डलीय तरंगे) → इस प्रकार के संचरण में उत्सर्जित तरंगे आयन मण्डल से परावर्तित होकर ग्राही एन्टीना तक पहुँचती जाती है।

→ आयन मण्डल की ऊँचाई पृथ्वी की सतह से लगभग 65 km से 400km तक होती है। आयन मण्डल कई परतो में विभाजित होता है। तथा घनत्व का मान ऊँचाई बढने पर घटता है।

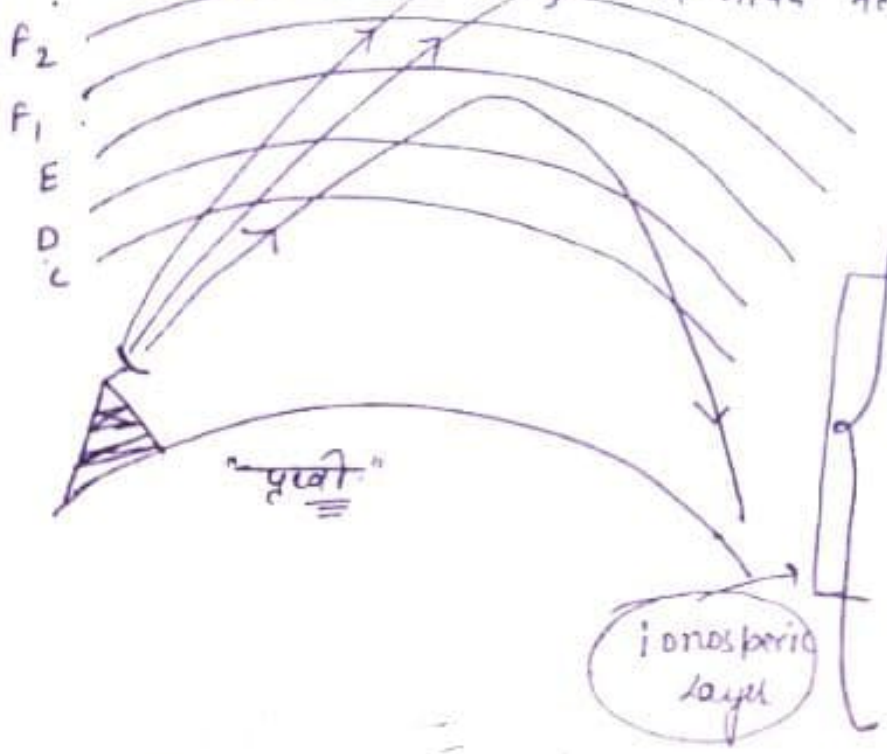
→ जब सूर्य से उच्च उर्जा युक्त विकिरण किसी अणु पर आपतित होती है तब इसे आयनित कर देती है।

www.notesdrive.com

अतः अधिक ऊँचाई पर सौर विकिरण तीव्र होती है परन्तु घनत्व कम होने के कारण पर्याप्त अणु, आयनन हेतु उपस्थित नहीं होते हैं। इसी प्रकार पृथ्वी के निकट परत में पर्याप्त अणु तो उपस्थित होते हैं परन्तु विकिरणों की तीव्रता कम हो जाती है अतः फलस्वरूप आयनन कम होता है। परन्तु मध्य ऊँचाइयों पर आयनन तुलनात्मक रूप से अधिक होता है। क्योंकि यहाँ पर्याप्त अणु, तथा विकिरण की पर्याप्त तीव्रता उपस्थित होती है।

→ आयन मण्डल एक विरल माध्यम की भाँति व्यवहार प्रदर्शित करता है अतः जब विकिरण आकाश से आयन मण्डल में प्रवेश करती है (सघन से विरल माध्यम में) तब एक निश्चित ऊँचाई पर जाकर इनका पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है अतः इनका परावर्तन पृथ्वी की ओर हो जाता है। कुछ विकिरणें आयन मण्डल का भेदन कर पलायन कर जाती हैं।

→ विकिरणों का आयन मण्डल द्वारा परावर्तन अथवा भेदन कर पलायन कर जाना, इनकी आवृत्तियों पर निर्भर करता है। यदि आवृत्ति 3 MHz से 30 MHz है तब परावर्तन तथा 30 MHz से उच्च आवृत्ति होने पर तरंगे आयन मण्डल का भेदन कर पलायन कर जाती हैं।



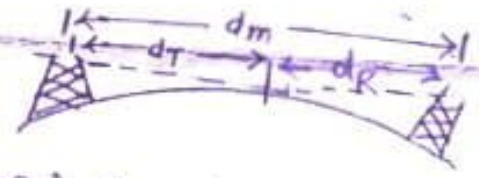
→ इस प्रकार संचरण की आवृत्ति परास 30 MHz - 40 MHz होती है।

→ ये भू तरंग संचरण की तुलना में अधिक महँगा (costly) होता है।

www.notesdrive.com

3. **आकाश तरंग संचरण —**
(Space wave propagation)

→ आकाश तरंग संचरण का उपयोग 40 MHz से अधिक आवृति पर किया जाता है। आयन मण्डल को भेदकर निकल जाती है।
→ इन तरंगें मुड़ने की क्षमता नहीं होता है अतः फैलती नहीं है अर्थात
→ एक सीधी रेखा में संचरित होती है अतः लघुपथित (short circuit) नहीं होता है।
→ इस संचरण को दृष्टि रेखीय संचरण (Line of sight/LOS) कहते है। क्यों कि प्रेषक तथा अभिग्राही इस संचरण हेतु एक ही Line में होने चाहिए तथा प्रेषक तथा अभिग्राही दोनो एक ही दृष्टि रेखा अथवा परस्पर दिखने चाहिए। अन्यथा इन्हे प्राप्त करना असंभव होता है क्यों कि ये अवरोधित हो जाती है इसलिए इनके एंटीना अत्याधिक ऊँचे स्थापित होते है।
→ इन्हें दो प्रकार से उपयोग करते है —
Imp
1. **पृथ्वी पर एंटीना से एंटीना तक —**



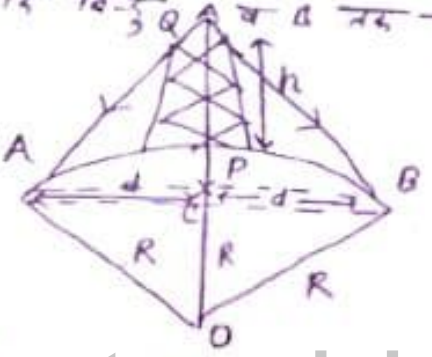
दृष्टिरेखीय दूरी — प्रेषी तथा ग्राही एंटीना के मध्य दूरी, दृष्टिरेखीय दूरी कहलाती है। इसे d_m द्वारा प्रदर्शित करते है।
→ दृष्टि रेखीय दूरी को निम्न प्रकार ज्ञात करते है —

$$d_m = d_T + d_R$$

= प्रेषी एंटीना की परास + ग्राही एंटीना की परास

Imp
* **प्रेषी एंटीना की परास: —**

माना एंटीना की h तथा पृथ्वी की R है तथा यदि बिन्दु Q व B तक सिमित है तब —



www.notesdrive.com

समकोण $\triangle QAD$ मे —

$$(OQ)^2 = (AO)^2 + (AQ)^2$$

$$(R+h)^2 = R^2 + (AQ)^2 \quad \text{—} (1)$$

इसी प्रकार समकोण $\triangle CAQ$ मे —

$$(QA)^2 = (AC)^2 + (CQ)^2 \quad \text{—} (2)$$

चूँकि $PC << PQ$ अत: $QC \approx h$

$$(AQ)^2 = d^2 + h^2 \quad \text{—} (3)$$

अत: समी (1) से $(AQ)^2$ का मान समी(3) से रखने पर —

$$(R+h)^2 = R^2 + d^2 + h^2$$

$$\Rightarrow R^2 + h^2 + 2Rh = R^2 + d^2 + h^2$$

$$2Rh = d^2$$

$$\boxed{d = \sqrt{2Rh}}$$

तथा ऊँचाई $\Rightarrow \boxed{h = \frac{d^2}{2R}}$

** Imp

* दृष्टि रेखा दूरी :— (d_m)

$\because$ d_m = प्रेषी एण्टीना की परास (d_T) + ग्राही एण्टीना की परास (d_R)

— माना प्रेषी एण्टीना व ग्राही एण्टीना की ऊँचाइयाँ क्रमश h_T तथा h_R है तब —

$$d_T = \sqrt{2Rh_T} \quad \text{व} \quad d_R = \sqrt{2Rh_R}$$

अत:

$$\boxed{d_m = \sqrt{2Rh_T} + \sqrt{2Rh_R}}$$

www.notesdrive.com