# विद्युत-चुम्बकीय तरंगे, संचार एवं समकालीन भौतिकी (Electromagnetic Waves, Communication and Contemporary Physics)

17 CHAPTER

## प्रस्तावना (Introduction)

एक स्थिर आवेश के चारों ओर केवल विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है तथा एक गतिमान आवेश के चारों ओर विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र दोनों होते हैं। सन् 1831 में वैज्ञानिक फैराडे ने अपने प्रयोगों द्वारा पाया कि यदि किसी चालक को परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तब चालक में प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न हो जाती है। किसी चालक में धारा प्रवाहित होने का अर्थ है कि चालक में विद्युत क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है, अत: यह कहा जा सकता है कि परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र से विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। इसी आधार पर सन् 1864 में वैज्ञानिक मैक्सवेल ने कल्पना की कि परिवर्ती विद्युत क्षेत्र से चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। इस कल्पना को मानकर मैक्सवेल ने कुछ गणितीय समीकरण प्रतिपादित किए जिन्हें मैक्सवेल के समीकरण कहते हैं। इन समीकरणों के आधार पर विद्युत चुम्बकीय घटनाओं की सफल व्याख्या की जा सकी।

मैक्सवेल के अनुसार यदि गतिमान आवेश दोलन करता है तो इससे अविरत विद्युत चुम्बकीय तरंगें उत्सर्जित होती है। इसका कारण यह है कि दोलायमान आवेश की गति त्वरित होती है। एक त्वरित आवेश के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। जैसे-जैसे आवेश का वेग परिवर्तित होता है, इससे उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र भी समय के साथ परिवर्तित होता है। इस परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र से विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। यह विद्युत क्षेत्र भी समय के साथ परिवर्तित होता रहता है। दोनों परिवर्ती क्षेत्र एक दूसरे के लम्बवत् तथा तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् होते हैं। दोनों क्षेत्रों की आवृत्ति तथा कला समान होती है। इन क्षेत्रों की आवृत्ति दोलायमान आवेशित कण की आवृत्ति के बराबर होती है। इन दोलनों के संगत तरंग को विद्युत चुम्बकीय तरंग कहते हैं।

## 17.1 विस्थापन धारा (Displacement current)

विद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभाव के अन्तर्गत हम अध्ययन कर चुके हैं कि विद्युत धारा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। धारा के मान तथा उत्पन्न होने वाले चुम्बकीय क्षेत्र को निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है-

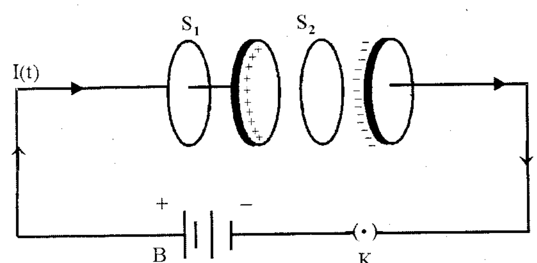
$$\oint \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0 I$$

जहाँ, $\mu_0$ निर्वात् की चुम्बकशीलता तथा I धारा का मान है। इसे एम्पियर का परिपथीय नियम (Ampere's circuital law) कहते हैं। इस नियम का उपयोग विद्युत परिपथों से सम्बन्धित परिणाम प्राप्त करने के लिए किया जाता है, किन्तु जब इस नियम का उपयोग संधारित्र युक्त विद्युत परिपथ में किया जाता है तो यह नियम असंगत (Inconsistent) प्रतीत होता है।

माना कि एक समान्तर प्लेट संधारित्र को बैटरी B से जोड़कर आवेशित किया जा रहा है। आवेशन क्रिया के दौरान संयोजी तार में धारा I(t) प्रवाहित हो रही है। स्पष्ट है कि यह आवेशन धारा (Charging current) समय के साथ परिवर्तित होगी। इस आवेशन धारा के कारण संयोजी तार के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जायेगा।

**महत्वपूर्ण**-संधारित्र के आवेशन अथवा निरावेशन की क्रिया में दोनों प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र परिवर्ती होता है, किन्तु संधारित्र के पूर्णत: आवेशित हो जाने के बाद दोनों प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र में कोई परिवर्तन नहीं होता।

चित्र में दर्शाये अनुसार दो समतल वृत्तीय लूप (Plane circular loo) $S_1$ तथा $S_2$ की कल्पना करो। $S_1$ संधारित्र के बायीं ओर तथा $S_2$ संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच स्थित है।




चित्र: 17.1

लूप $S_1$ के लिए एम्पियर के परिपथीय नियम से,

$$\oint_{S_1} \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0 I(t) \quad ...(1)$$

जहाँ I(t) लूप से परिबद्ध धारा है। लूप $S_2$ से कोई धारा परिबद्ध नहीं है। अत: एम्पियर के परिपथीय नियम से,

$$\oint_{S_2} \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0 \times 0 = 0 \quad ...(2)$$

परन्तु यदि $S_1$ तथा $S_2$ एक दूसरे के अत्यन्त निकट (Infinitesimally) हों, तो

$$\oint_{S_1} \vec{B}.\vec{dl} = \oint_{S_2} \vec{B}.\vec{dl} \quad ....(3)$$

स्पष्ट है कि समी. (1), (2) और (3) एक साथ मान्य नहीं हो सकते। इस प्रकार एम्पियर का परिपथीय नियम असंगत प्रतीत होता है।

इस विसंगति को दूर करने के लिए मैक्सवेल ने परिकल्पना की कि न केवल चालक से बहने वाली विद्युत धारा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है बल्कि स्वतंत्र आकाश निर्वात् अथवा किसी परावैद्युत माध्यम में एक समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र के कारण भी एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो सकता है। अत: यह माना जा सका है कि एक परिवर्ती विद्युत क्षेत्र एक विद्युत धारा के समकक्ष होता है। यह धारा उस समय तक उपस्थित मानी जाती है जब तक परिवर्ती विद्युत क्षेत्र उपलब्ध होता है। इसके द्वारा उसी प्रकार का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है जिस प्रकार एक चालक से बहने वाली चालन धारा उत्पन्न करती है। इस धारा को मैक्सवेल की विस्थापन धारा कहते हैं।

अत: **विस्थापन धारा वह धारा है जो किसी क्षेत्र में विद्युत क्षेत्र अर्थात् विद्युत फ्लक्स में परिवर्तन के कारण उत्पन्न होती है।**

**विस्थापन धारा का व्यंजक-**

यदि संधारित्र की प्लेटों का क्षेत्रफल A हो तथा इस पर कुल आवेश $q$ हो तो प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ का परिमाण $E=\frac{q}{\epsilon_0 A}$

यह विद्युत क्षेत्र दोनों प्लेटों के बीच की सतह के लम्बवत् होता है। इसका परिमाण संधारित्र की प्लेटों के क्षेत्रफल A पर समान रहता है परन्तु इनके बाहर शून्य हो जाता है।

अत: प्लेटों के बीच की सतह से गुजरने वाला विद्युत फ्लक्स, गाउस के नियम से

$$\phi_E = EA = \frac{q}{\epsilon_0 A}.A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

अब यदि संधारित्र की प्लेटों पर आवेश q समय के साथ परिवर्तित हो तो एक धारा $I_d = \frac{dq}{dt}$ होगी अत: $\frac{d}{dt}(\phi_E) = \frac{d}{dt}\left(\frac{q}{\epsilon_0}\right) = \frac{1}{\epsilon_0}\frac{dq}{dt}$

$$\Rightarrow \epsilon_0\left(\frac{d\phi_E}{dt}\right) = I_d$$

मैक्सवेल की विस्थापन धारा $I_d$ का मान निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है—

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad ...(4)$$

जहाँ $\Phi_E$ विद्युत फ्लक्स है।

इस प्रकार मैक्सवेल के अनुसार चुम्बकीय क्षेत्र के दो स्रोत होते हैं— (i) संयोजी तार में बहने वाले आवेश के कारण परिचालन धारा $I_c$ और (ii) दोनों प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र या विद्युत फ्लक्स में परिवर्तन के कारण उत्पन्न विस्थापन धारा $I_d$

अत: संशोधित एम्पियर के परिपथीय नियम को निम्न प्रकार प्रदर्शित कर सकते हैं—

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

$$= \mu_0\left(I_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}\right) \quad ...(5)$$

इस समीकरण को **एम्पियर-मैक्सवेल का परिपथीय** नियम कहते हैं।

**सिद्ध करना है $I_c = I_d$**– माना कि एक समान्तर प्लेट संधारित्र को आवेशित किया जा रहा है। किसी क्षण उसकी प्लेट पर आवेश की मात्रा q तथा दोनों प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र E है।

यदि उसकी प्लेटों का क्षेत्रफल A हो, तो

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad ....(6)$$

यदि दोनों प्लेटों के बीच विद्युत फ्लक्स $\Phi_E$ हो, तो

$$\Phi_E = EA = \frac{q}{\epsilon_0 A}.A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

अत: विस्थापन धारा $I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \epsilon_0 \frac{d}{dt}\left(\frac{q}{\epsilon_0}\right)$

$$= \frac{dq}{dt} = I_c \text{ (परिचालन धारा)}$$

या $I_c = I_d$ ...(7)

अर्थात् **विस्थापन धारा, परिचालन धारा के बराबर होती है।**

**विद्युत धारा का सांतत्य (Continuity of electric current)**— किसी बन्द पथ के अनुदिश परिचालन धारा और विस्थापन धारा के योग में सांतत्य का गुण होता है यद्यपि वे व्यक्तिगत रूप से संतत नहीं होते।

माना कि चित्र में दर्शाये अनुसार एक समान्तर प्लेट संधारित्र को बैटरी B के द्वारा आवेशित किया जाता है जिससे संयोजी तार में परिचालन धारा $I_c$ तथा दोनों प्लेटों के बीच विस्थापन धारा $I_d$ प्रवाहित होती है।

संयोजी तार में कोई आवेश संचित नहीं होता। अत: लूप $S_1$ से बद्ध विद्युत फ्लक्स में कोई परिवर्तन नहीं होगा अर्थात्

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = 0$$

$$\therefore \quad I_c + I_d = I_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = I_c + 0 \quad ....(8)$$

लूप $S_2$ के लिए $\Phi_E$ का अस्तित्व है किन्तु $I_c = 0$

अत: $$I_c + I_d = I_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = 0 + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad ...(9)$$

$$= I_d$$

लेकिन $I_c = I_d$

अत: समीकरण (8) और (9) से स्पष्ट है कि संधारित्र युक्त परिपथ में परिचालन धारा और विस्थापन धारा का योग नियत रहता है। इस प्रकार परिचालन धारा और विस्थापन धारा के योग में सांतत्य का गुण पाया जाता है।

**संधारित्र की प्लेटों के मध्य विस्थापन धारा के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की गणना:**

माना कि किसी समान्तर प्लेट संधारित्र की वृत्ताकार प्लेटों की त्रिज्या R है तथा संधारित्र के भीतर इसके केन्द्र से r दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र B का मान ज्ञात करना है। अब संधारित्र के भीतर चुम्बकीय क्षेत्र विस्थापन धारा के कारण ही होगा अत: संशोधित एम्पियर नियम से r त्रिज्या के लूप द्वारा बन्द पथ के लिए

$$\oint \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0 I_d = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad B \times 2\pi r = \mu_0 \epsilon_0 A \frac{dE}{dt} \quad [\because \phi_E = EA]$$

$$\Rightarrow \qquad B = \left(\frac{\mu_0 \in_0 \pi R^2}{2\pi r}\right)\frac{dE}{dt}$$

$$\Rightarrow \qquad B = \left(\frac{\mu_0 \in_0 R^2}{2r}\right)\frac{dE}{dt}$$

इस प्रकार चुम्बकीय क्षेत्र की उत्पत्ति समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र के कारण ही है।

**विस्थापन धारा से प्राप्त निष्कर्ष (Consequences of displacement current)**— फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियमानुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल, चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर के बराबर होता है। सूत्र के रूप में,

$$e = -\frac{d\Phi_E}{dt}$$

किसी परिपथ में वि. वा. बल का प्रेरित होना उस परिपथ में विद्युत क्षेत्र के स्थापित होने का सूचक है।

अत: समय-परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र (Time dependent magnetic field) विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है।

एम्पियर, मैक्सवेल के परिपथीय नियम से,

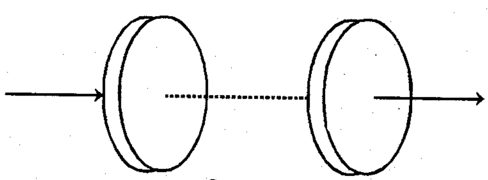
$$\oint \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0\left(I_c + \in_0 \frac{d\Phi_E}{dt}\right)$$

इस सूत्र के अनुसार समय-परिवर्ती विद्युत क्षेत्र, चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। अत: विद्युत और चुम्बकत्व के नियम बिल्कुल सममित (Symmetric) होते हैं।

∵ समय परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र, समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र और समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र, समय परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है, अत: एक ऐसी तरंग के अस्तित्व की सम्भावना व्यक्त की जा सकती है जो समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र, जो एक-दूसरे की उत्पत्ति के स्रोत हैं, से निर्मित हो। ऐसी तरंग को विद्युत चुम्बकीय तरंग कहते हैं।

---

**उदाहरण 1. चित्र में संधारित्र दर्शाया गया है जो 12 cm त्रिज्या की दो वृत्ताकार प्लेटों को 5.0 cm की दूरी पर रखकर बनाया गया है। संधारित्र को एक बाह्य स्रोत (जो चित्र में नहीं दर्शाया गया है) द्वारा आवेशित किया जा रहा है। आवेशकारी धारा नियत है और इसका मान 0.15A है।**



चित्र 17.2

**(a) धारिता एवं प्लेटों के बीच विभवांतर परिवर्तन की दर का परिकलन कीजिए।**

**(b) प्लेटों के बीच विस्थापन धारा ज्ञात कीजिए।**

**(c) क्या किरचॉफ का प्रथम नियम संधारित्र की प्रत्येक प्लेट पर लागू होता है? स्पष्ट कीजिए।**

**हल**–दिया है: प्लेटो की त्रिज्या r=12 सेमी., प्लेटो के मध्य दूरी d=5 मिमी., प्लेट का क्षेत्रफल $A = \pi r^2 = 144\pi = 10^{-4}$ मी$^2$, धारा I = 0.15 एम्पियर

अत: संधारित्र की धारिता

$$C = \frac{A \in_0}{d} = \frac{144\pi \times 10^{-4} \times 8.85 \times 10^{-12}}{5 \times 10^{-3}} = 80.03 \times 10^{-12} \text{ फैरड}$$

(a) किसी क्षण संधारित्र पर आवेश $q = CV$

अत: धारा $I = \frac{dq}{dt} = C\frac{dV}{dt}$

⇒ प्लेटो के मध्य विभवान्तर परिवर्तन की दर

$$\frac{dV}{dt} = \frac{I}{C} = \frac{0.15}{80.03 \times 10^{-12}}$$

$$\frac{dV}{dt} = 1.87 \times 10^9 \text{ वोल्ट/सेकण्ड}$$

(b) प्लेटों के मध्य विस्थापन धारा = बाह्य परिपथ में चालन धारा = 0.15 एम्पियर

(c) हाँ, यदि धारा विस्थापन एवं चालन धारा का योग है।

**उदाहरण 2. 10 μF धारिता के एक समान्तर प्लेट संधारित्र को आवेशित करने की प्रक्रिया में इसे 50 *V* विभवान्तर तक पहुँचने में 50 सेकण्ड का समय लगता है। यदि संधारित्र का प्लेट क्षेत्रफल $510 \times 10^{-12}$ m$^2$ है तो ज्ञात करो**

(i) इस समय औसत चालन धारा पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.1

(ii) इस समय औसत विस्थापन धारा तथा

(iii) इस समय विद्युत क्षेत्र के समय के साथ परिवर्तन की दर

**पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.1**

**हल:** (i) चालन धारा का औसत मान

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_2 - q_1}{t_2 - t_1} = \frac{CV - 0}{0.5} = \frac{10 \times 10^{-6} \times 50}{0.5} = 10^{-3} \text{ A}$$

(ii) संधारित्र में औसत विस्थापन धारा = संधारित्र में प्रवेश कर रही चालन धारा $I_d = I = 10^{-3}$ A

(iii) ∵ विस्थापनधारा $I_d = \in_0 \frac{d\phi_E}{dt} = \in_0 A\frac{dE}{dt}$

$$\therefore \quad \frac{dE}{dt} = \frac{I_d}{\in_0 A} = \frac{10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^{-12}}$$

$$= 1.1 \times 10^9 \ \frac{\text{वोल्ट}}{\text{मी} \times \text{से}}$$

---

## 17.2 मैक्सवेल समीकरणें (गुणात्मक विवेचन) [Maxwell's Equations (Qualitative Discussion)]

मैक्सवेल ने विद्युत एवं चुम्बकत्व के सभी नियमों को गणितीय सूत्रों में लिखकर चार समीकरण प्राप्त किये हैं। इन चार समीकरणों को मेक्सवेल की समीकरण कहते है।

**1. स्थिर विद्युत क्षेत्र के लिये गाउस की प्रमेय**–किसी बन्द पृष्ठ से निर्गत विद्युत क्षेत्र का फलक्स उस क्षेत्र से परिबद्व आवेशों के योग $\Sigma q$

एवं $\in_0$ के अनुपात के बराबर होता है अर्थात्

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q}{\in_0} \quad .....(1)$$

**2. स्थिर चुम्बकीय क्षेत्र के लिये गाउस की प्रमेय**–विद्युत क्षेत्र के समान ही चुम्बकीय क्षेत्र के लिये गाउस की प्रमेय लिख सकते है। परन्तु चूंकि स्वतंत्र उत्तरी ध्रुव या दक्षिणी ध्रुव प्राप्त नहीं होते, अर्थात् चुम्बक सदैव द्विध्रुव के रूप में ही होता है, अतः किसी बन्द पृष्ठ मे कुल चुम्बकीय ध्रुव सामर्थ्य का योग सदैव शून्य होता है। इसलिये

$$\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0 \quad .....(2)$$

**3. फैराडे हेनरी का नियम**–विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण के लिये फैराडे के द्वितीय नियम के अनुसार

$$\text{प्रेरित वि. वा. ब.} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad .....(i)$$

हम जानते हैं कि किसी सतह से निर्गत कुल फ्लक्स

$$\phi_B = \oint_S \vec{B}\cdot d\vec{A} \quad .....(ii)$$

$$\therefore \quad \text{प्रेरित वि. वा. ब.} = -\frac{d}{dt}\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{A} \quad .....(iii)$$

यदि चुम्बकीय क्षेत्र परिवर्तनशील हो तब प्रेरित वि. वा. ब.

$$= -\oint_S \frac{d\vec{B}}{dt}\cdot d\vec{A} \quad .....(iv)$$

अब यदि चालक में विद्युत क्षेत्र का मान $\vec{E}$ हो तब वि. वा. ब.

$$= \oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l} \quad .....(v)$$

अतः समी. (iii) एवं (iv) से एवं (v) से

$$\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{A}$$

$$= -\oint \frac{d\vec{B}}{dt}\cdot d\vec{A} \quad .....(3)$$

समीकरण (3) फैराडे हेनरी के नियम को व्यक्त करती है। इस समीकरण द्वारा परिवर्तनशील चुम्बकीय क्षेत्र के कारण उत्पन्न विद्युतीय क्षेत्र के बीच सम्बन्ध प्राप्त होता है।

**4. एम्पियर-मैक्सवेल की समीकरण**–एम्पियर के नियम में हम पढ़ चुके हैं कि

$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad ......(i)$$

एम्पियर की उपरोक्त समीकरण चालक में मुक्त इलेक्ट्रानों के प्रवाह से उत्पन्न धारा के लिये सही है।

अब यदि परिपथ में ऐसे घटक भी उपस्थित हों जिसमें धारा उनके विद्युत क्षेत्र में परिवर्तन के कारण विस्थापन धारा $I_d$ के रूप में भी प्रवाहित होती हो तब

$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_C + I_d) \quad .....(ii)$$

चूंकि विस्थापन धारा

$$I_d = \in_0 \oint \frac{d\vec{E}}{dt}\cdot d\vec{A} \quad .....(iii)$$

अतः समी. (iii) से (ii) में मान रखने पर

$$\oint_L \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I_C + \mu_0 \in_0 \oint \frac{d\vec{E}}{dt}\cdot d\vec{A} \quad .....(4)$$

समी. (4) को एम्पियर–मैक्सवेल की समीकरण कहते हैं। इस समीकरण द्वारा परिवर्तन शील विद्युत क्षेत्र के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के मध्य सम्बन्ध प्राप्त होता है।

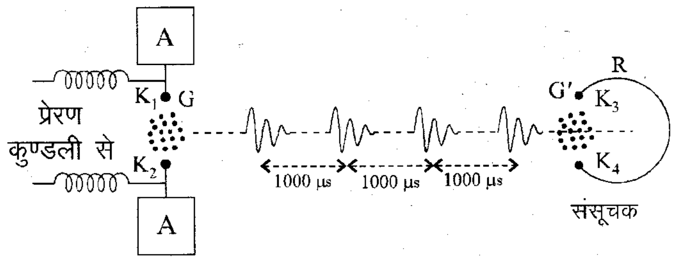
## 17.3 विद्युत चुम्बकीय तरंगे तथा इनके अभिलक्षण (Electromagnetic Waves and their Characteristics)

### तरंगों के स्रोत

एक स्थिर आवेश के चारों ओर एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। यदि यह आवेश नियत वेग से गतिमान होता है तो यह एक स्थिर मान का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। परन्तु यदि आवेश त्वरित होता है तो यह समय के साथ परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। यदि आवेश का त्वरण इसके विस्थापन पर निर्भर करता है तो इस स्थिति में एक तरंग उत्पन्न होती है। **आवर्ती रूप से दोलायमान आवेश समान आवृत्ति की विद्युत-चुम्बकीय तरंग का स्रोत होता है। इस प्रकार एक त्वरित विद्युत आवेश विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का स्रोत होता है।** यह त्रिविम में किसी भी बिन्दु पर विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न कर सकता है। ये क्षेत्र दोलायमान आवेश के दोलनों की आवृत्ति के समान आवृत्ति से दोलन करते हैं। विभिन्न प्रकार से दोलन करता हुआ आवेश विभिन्न आवृत्तियों की विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का निर्माण करता है।

**(1) हर्ट्ज का प्रयोग**–

**रचना**–हर्ट्ज के प्रयोग की व्यवस्था चित्र में प्रदर्शित है। इसमें A तथा B दो बड़े क्षेत्रफल वाली प्लेटों के सिरों से दो चिकनी एवं चमकदार धात्वीय घुंडियां $K_1$ एवं $K_2$ जुड़ी होती है। इन घुंडियों के बीच हवा का कुछ अन्तराल होता है जो G से प्रदर्शित है। दोनों घुंडियाँ प्रेरण कुण्डली से जुडी होती है, जिसके द्वारा इनके बीच कई हजार वोल्ट का विभवान्तर उत्पन्न किया जाता है। इस आयोजन के कुछ दूरी पर संसूचकांक के रूप में 'R' एक धात्वीय वलय रखा होता है जिसके सिरों पर भी दो धात्वीय घुंडियाँ $K_3$ एवं $K_4$ लगी रहती है। इन घुंडियों के बीच भी हवा का अन्तराल होता है जो कि चित्र में $G'$ से प्रदर्शित है।




चित्र 17.3

प्रेरण कुण्डली द्वारा प्रत्येक 1000μs समय बाद घुंडियों के बीच उच्च वोल्टता उत्पन्न होती है इसके कारण घुंडियों के बीच 3μs से 4μs तक विद्युत विसर्जन उत्पन्न होता है। यह विसर्जन दोलनी होता है जिसकी आवृत्ति लगभग $10^6$ हर्ट्ज की कोटि की होती है। यह आवृत्ति A व B प्लेट की धारिता 'C' एवं परिपथ के तारों के प्रेरकत्व L पर $\upsilon = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ के अनुसार निर्भर करती है।

घुंडियों के बीच दोलनी विसर्जन के कारण चित्र में दर्शाये अनुसार विद्युत-चुम्बकीय तरंगों के स्पन्द उत्पन्न होते हैं। ये स्पन्द $c = 3 \times 10^8$ मी./से. के वेग से गति करते है।

जब ये स्पन्द वलय R पर पहुंचते है तब उसमें प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न करते है जिससे घुंडियां $K_3$ एवं $K_4$ के बीच चिनगारी उत्पन्न होती है।

इस प्रयोग द्वारा हर्ट्ज ने लगभग 6 मी. तरंग दैर्ध्य वाली विद्युत चुम्बकीय तरंगे प्राप्त की थी।

**(2) जगदीश चन्द्र बसु का प्रयोग–**

वैज्ञानिक बसु ने 5 मि.मी. से 25 मि.मी. की हर्ट्ज की तुलना में छोटे तरंगदैर्ध्य वाली, तरंगें उत्पन्न करके काफी बडी दूरी तक विद्युत-चुम्बकीय तरंगों को संसुचित किया। परन्तु हर्ट्ज एवं बसु के प्रयोग प्रयोगशाला की दूरियों तक ही सीमित थे।

**(3) मार्कोनी का प्रयोग–**

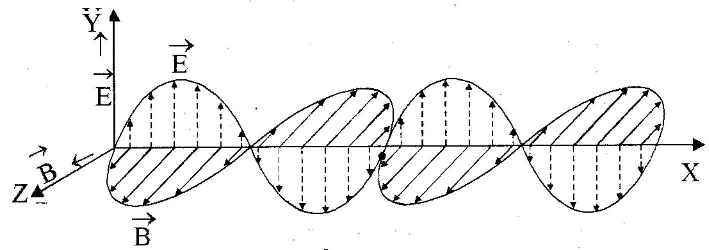
मार्कोनी ने अपने प्रयोग में विद्युत विसर्जन वाली एक घुंडी को एक लम्बे ऊर्ध्वाधर तार से जोड दिया तथा दूसरी घुंडी से एक अन्य तार को जोडकर उसके दूसरे सिरे को नीचे जमीन में गाड़ दिया। इस परिवर्तन से उसने पाया कि विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का कई किलोमीटर दूरी तक प्रेषण किया जा सकता है। अपने प्रयोग द्वारा मार्कोनी ने ब्रिटिश चेनल के पार संकेत भेजने में सफलता प्राप्त की। मार्कोनी के प्रयोग के बाद ही बेतार (wireless) संप्रेषण का विज्ञान विकसित हुआ।

## विद्युत चुम्बकीय तरंगों के अभिलक्षण (Characteristics of Electromagnetic Waves)

### (i) विद्युत चुम्बकीय तरंगों की प्रकृति तथा संचरण (Nature of electromagnetic waves and propagation)

**विद्युत-चुम्बकीय तरंग की परिभाषा–"यह एक त्रिविमीय तरंग है जो कि दोलित विद्युत परिपथ से उत्सर्जित होती है। उसमें विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र परस्पर लम्बवत् तथा तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् दोलित होते हैं।"**

मैक्सवेल के अनुसार किसी दोलित विद्युत परिपथ से विद्युत-चुम्बकीय तरंगे उत्पन्न होती है विद्युत क्षेत्र सदिश $\vec{E}$ और चुम्बकीय क्षेत्र सदिश $\vec{B}$ का मान समष्टि एवं समय के साथ परिवर्तित होता रहता है अर्थात् समष्टि के प्रत्येक बिन्दु पर विद्युत और चुम्बकीय क्षेत्र कम्पन करते हैं और ये परस्पर एक दूसरे के लम्बवत् होते हैं तथा एक तल में स्थित होते हैं। इन तरंगों का संचरण $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ से बने तल के लम्बवत् $\vec{E}\times\vec{B}$ की दिशा में होता है। विद्युत-चुम्बकीय तरंगे प्रकाश के वेग से गतिमान होती है। इनके संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता नहीं होती। ये तरंगे निर्वात् में भी संचरित हो सकती है। इन तरंगों की प्रायोगिक पुष्टि हर्टज् ने की थी। चित्र में विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का संचरण दर्शाया गया है।




चित्र 17.4

चित्र में $\vec{E}$ एवं $\vec{B}$ क्रमशः Y और Z दिशा में है एवं विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का X-दिशा के अनुदिश संचरण हो रहा है। जब विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्रों के कम्पनों की आवृत्ति एक निश्चित परास में होती है तो ये कम्पन दिखाई देने लगते है जो प्रकाश तरंगे कहलाती है। प्रकाश का रंग इन कम्पनों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। सदिश $\vec{E}$ व $\vec{B}$ दोनों ही विद्युत चुम्बकीय तरंग के संचरण के गुण को दर्शाते हैं लेकिन विद्युत क्षेत्र सदिश ($\vec{E}$) अधिक प्रभावी एवं महत्वपूर्ण होता है क्योंकि यह सदिश ही मनुष्य की आँख के रेटिना पर दृश्य प्रभाव उत्पन्न करता है तथा सदिश ($\vec{E}$) फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करता है।

चित्र में विद्युत चुम्बकीय तरंग का ग्राफीय चित्रण प्रदर्शित है। एक प्रगामी तरंग के समीकरण की भांति विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ को निम्न समीकरणों द्वारा व्यक्त किया जाता है–

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

तथा
$$B_z = B_0 \sin\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)$$

यहाँ $E_0$ तथा $B_0$ क्रमशः विद्युत क्षेत्र E तथा चुम्बकीय क्षेत्र B के आयाम (या शिखर मान) है, दोनों क्षेत्रों की आवृत्तियाँ समान $\left(=\frac{\omega}{2\pi}\right)$ है तथा दोनों क्षेत्र समान कला में है। $E_y$ तथा $B_z$ मूल बिंदु से X दिशा में x दूरी पर किसी क्षण क्रमशः विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र के तात्क्षणिक मान है। c विद्युत चुम्बकीय

तरंग की चाल है।

वर्तमान में γ-किरणें, X-किरणें, पराबैंगनी तरंगे, प्रकाश तरंगे, अवरक्त तरंगें, सूक्ष्म तरंगे तथा रेडियो तरंगे सभी विद्युत-चुम्बकीय तरंगों के उदाहरण है। मैक्सवेल ने गणितीय विवेचना के आधार पर यह सिद्ध किया कि विद्युत तरंगे निर्वात् में $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ वेग से संचरण करती है, जहाँ $\mu_0$ तथा $\epsilon_0$ क्रमशः निर्वात् की चुम्बकीय पारगम्यता एवं निर्वात् की विद्युत शीलता है। यहाँ

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ वेबर/एम्पियर मीटर}$$
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ कूलॉम}^2\text{/न्यूटन मी}^2$$

अर्थात्
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 8.85 \times 10^{-12}}}$$
$$c \simeq 3 \times 10^8 \text{ मी/से.}$$

• विद्युत-चुम्बकीय तरंग संचरण के किसी बिन्दु पर विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र सदिशों की निष्पत्ति ($\vec{E}/\vec{B}$) का मान प्रकाश के वेग c के बराबर होता है।

निर्वात् में
$$c = \left|\frac{\vec{E}}{\vec{B}}\right|$$

## महत्वपूर्ण तथ्य

(i) प्रकाश के वेग को निर्वात् में $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ से व्यक्त करते हैं।

(ii) माध्यम में प्रकाश के वेग को $v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}}$ से व्यक्त करते हैं।

जहाँ μ व ε क्रमशः माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता व विद्युत शीलता है।

(iii)
$$\frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\mu \epsilon}{\mu_0 \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0 \epsilon_0}}$$
$$= \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

∵
$$\frac{c}{v} = \text{अपवर्तनांक } n$$

अतः
$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

यहाँ n माध्यम का अपवर्तनांक है जो अलग-अलग माध्यम के लिए अलग-अलग होता है। $\mu_r$ व $\epsilon_r$ माध्यम की आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता व विद्युत शीलता है। अधिकांश परावैद्युत माध्यमों के लिए

$$\mu \approx \mu_0, \ \mu_r = 1$$

अतः
$$n \approx \sqrt{\epsilon_r}$$

अर्थात् परावैद्युत माध्यम का अपवर्तनांक, माध्यम के परावैद्युतांक के वर्गमूल के तुल्य होता है।

### (ii) विद्युत चुम्बकीय तरंगों द्वारा ऊर्जा वहन (Energy transmission by electromagnetic waves)

विद्युत चुम्बकीय तरंगे अपने साथ ऊर्जा का स्थानान्तरण करती है। किसी बल्ब से प्राप्त प्रकाश तथा आग से प्राप्त ऊष्मीय विकिरण, विद्युत चुम्बकीय तरंगों द्वारा ऊर्जा प्रवाह के सामान्य उदाहरण है।

यह ऊर्जा विद्युत तथा चुम्बकीय दोनों क्षेत्रों में निहित रहती है। विद्युत क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व $u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_{rms}^2$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व $u_B = \frac{1}{2}\frac{B_{rms}^2}{\mu_0}$

तथा औसत ऊर्जा घनत्व $u_{av} = u_E + u_B$

**विद्युत क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व $u_E$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व $u_B$ में सम्बन्ध-**

$$\because \quad u_B = \frac{1}{2}\frac{B_{rms}^2}{\mu_0} = \frac{1}{2\mu_0}\left(\frac{B_0}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}\frac{B_0^2}{\mu_0}$$

$$\because \quad B_0 = \frac{E_0}{c} \quad \text{तथा} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$\therefore \quad u_B = \frac{1}{4}\frac{\left(\frac{E_0}{c}\right)^2}{\mu_0} = \frac{1}{4\mu_0}\frac{E_0^2}{c^2} = \frac{1}{4\mu_0}\frac{E_0^2}{(1/\mu_0 \epsilon_0)} = \frac{1}{4}\epsilon_0 E_0^2$$

$$= \frac{1}{2}\epsilon_0\left(\frac{E_0}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_{rms}^2 = u_E$$

∴ औसत ऊर्जा घनत्व $u_{av} = u_E + u_B = 2u_E = 2u_B$

$$= 2 \times \frac{1}{2}\epsilon_0 E_{rms}^2 = \epsilon_0 E_{rms}^2$$

$$= \frac{B_{rms}^2}{\mu_0} = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2}\frac{B_0^2}{\mu_0}$$

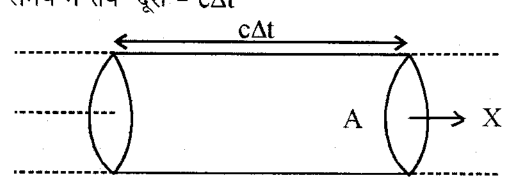
• विद्युत-चुम्बकीय तरंग में ऊर्जा प्रवाह को पांइटिंग वेक्टर ($\vec{S}$) से प्रदर्शित किया जाता है। यह इकाई क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड पार करने वाली ऊर्जा या ऊर्जा फ्लक्स को व्यक्त करता है।

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}(\vec{E} \times \vec{B}) = \vec{E} \times \vec{H} \quad \frac{\text{जूल}}{\text{मी}^2 \times \text{से.}} \text{ या } \frac{\text{वॉट}}{\text{मी}^2}$$

जहाँ $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ चुम्बकन क्षेत्र की तीव्रता है।

### (iii) विद्युत चुम्बकीय तरंग की तीव्रता (Intensity of EM waves)

विद्युत चुम्बकीय तरंग की तीव्रता प्रति एकांक समय में प्रति एकांक अभिलम्बवत् क्षेत्रफल से गुजरने वाली ऊर्जा है। माना कि तरंग अभिलम्बवत् क्षेत्रफल A से होकर X- दिशा में संचरित हो रही है। यदि तरंग का वेग c हो तब तरंग द्वारा Δt समय में तय दूरी = cΔt




चित्र 17.5

Δt समय में A अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल के बेलन में संग्रहित ऊर्जा

U = माध्य ऊर्जा घनत्व × बेलन का आयतन

$= u_{av} \times Ac\Delta t$

परन्तु तीव्रता $I = \frac{U}{A\Delta t} = u_{av}c$

$\because \quad u_{av} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$

$\therefore \quad I = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 c$

ज्यावक्रीय तरंगों के लिए समतल विद्युत चुम्बकीय तरंग की तीव्रता I एक चक्र के लिए पाइंटिग सदिश के औसत मान के बराबर होती है अर्थात्

$$I = S_{av} = \frac{E_0 B_0}{2\mu_0} = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} = c\mu_{av}$$

**(iv) विद्युत चुम्बकीय तरंगों का संवेग तथा दाब (Momentum and Pressure associated with electromagnetic waves)**

विद्युत-चुम्बकीय तरंग में संवेग होता है। फलतः यह तरंग जिस पृष्ठ पर आपतित होती है उस पर इस विकिरण दाब डालती है दाब का मान पृष्ठ कि प्रकृति पर निर्भर करता है।

यदि किसी सतह पर $\Delta t$ समयान्तराल में कुल स्थानान्तरित ऊर्जा U है तथा सतह सम्पूर्ण ऊर्जा अवशोषित करती है तब सतह को स्थानान्तरित कुल संवेग

$$p = \frac{U}{c}$$

जबकि सतह पूर्णतः परावर्तक होने पर स्थानान्तरित संवेग

$$p = \frac{2U}{c}$$

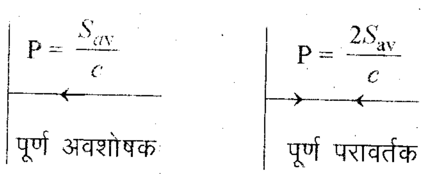
इस प्रकार संवेग स्थानान्तरण से सतह पर दाब आरोपित होता है।

(i) जब पृष्ठ पूर्ण अवशोषक होता है तब विकिरण दाब का मान होता है–

$$P = \frac{S_{av}}{c} = \frac{I}{c} = \frac{u_{av} \times c}{c}$$

(ii) पृष्ठ पूर्ण परावर्तक होता है तब विकिरण दाब का मान–

$$P = \frac{2S_{av}}{c} = \frac{2I}{c} = 2u_{av}$$




**चित्र 17.6**

**(v)** विद्युत-चुम्बकीय तरंग संचरण पथ के प्रत्येक बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्रों के परिमाण के अनुपात का मान नियत रहता है (इसे विकिरण प्रतिरोध कहते हैं।) अर्थात्

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

Z को माध्यम की प्रतिबाधा कहते हैं, इसकी इकाई ओम ($\Omega$) होती है। निर्वात् के लिए $Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}}}$

$= 120\,\pi$ ओम $= 377$ ओम होता है।

## महत्त्वपूर्ण तथ्य

**(1)** यह एक प्रकाश तरंग है जिसकी प्रकृति अनुप्रस्थ होती है।

**(2)** विद्युत-चुम्बकीय तरंग का वेग प्रकाश के वेग के बराबर होता है।

**(3)** निर्वात् विद्युत-चुम्बकीय तरंग संचरण के पथ के किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाणों का अनुपात प्रकाश के वेग के बराबर होता है।

$$\frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|} = c \quad \text{या} \quad \frac{E}{B} = c$$

**(4)** विद्युत-चुम्बकीय तरंग में विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र सदिश समान कला में होते हैं परन्तु परस्पर लम्बवत् दोलन करते हैं।

**(5)** $\vec{E}$ व $\vec{B}$ परस्पर लम्बवत् व तरंग संचरण की दिशा के भी लम्बवत् होते हैं।

**(6)** विद्युत-चुम्बकीय तरंगों की अन्योन्य क्रिया अध्यारोपण के सिद्धान्त के अनुसार होती है अर्थात् इसमें विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र के परिणामी मान अलग-अलग क्षेत्रों के सदिश योग के बराबर होता है।

**(7)** यह तरंगे आवेशों की त्वरित गति से उत्पन्न होती है।

**उदाहरण**–जब $e^-$ उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर में जाता है तो $e^-$ से उत्सर्जित तरंग विद्युत-चुम्बकीय तरंगें होती है।

**(8)** इन तरंगों के स्पैक्ट्रम में तरंग दैर्ध्य परास का मान शून्य से अनंत तक होता है।

**(9)** इन तरंगों में अपवर्तन, परावर्तन, व्यतिकरण, विवर्तन एवं ध्रुवण आदि की घटनाएं होती है।

**(10)** विकिरण दाब $P = \frac{F}{A} = \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{I}{c}$

यहाँ p विद्युत चुम्बकीय तरंगों का संवेग है जो कि बहुत कम होता है।

**उदाहरण 3. आपेक्षिक परावैद्युतांक 5 व आपेक्षिक पारगम्यता एक वाले माध्यम में तरंग वेग की गणना कीजिए ?**

**हल**–

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

$$\frac{c}{v} = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{v} = \sqrt{5}$$

$$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{5}} \times \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}} = \frac{3}{5} \times 10 \times \sqrt{5} \times 10^7$$

$$v = 6\sqrt{5} \times 10^7$$

$$v = 6 \times 2.2 \times 10^7$$

$v = 13.2 \times 10^7$ मी/से

**उदाहरण 4. 25 MHz आवृत्ति की एक समतल विद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में X-दिशा के अनुदिश गतिमान है; दिक्काल (space) में किसी**

**विशिष्ट बिंदु पर इसका मान $\vec{E} = 6.3\ \hat{j}$ V/m है। इस बिन्दु पर $\vec{B}$ का मान क्या है?**

**हल**-दिया है- आवृत्ति $\upsilon$= 25MHz = 25 × $10^6$ हर्ट्ज

$$\vec{E} = 6.3\hat{j} \text{ वोल्ट/मी.}$$

$$\because \quad |\vec{B}| = \frac{|\vec{E}|}{c} = \frac{6.3}{3\times10^8} = 2.1\times10^{-8} \text{ टेसला}$$

पुन: विद्युत चुम्बकीय तंरग +X दिशा में संचरित है तथा विद्युत क्षेत्र Y दिशा के अनुदिश है अत: $\vec{E}\times\vec{B}$ को $\hat{i}$ के अनुदिश होना चाहिए।

$\because \hat{j}\times\hat{k} = \hat{i}$ होता है अत: चुम्बकीय क्षेत्र Z दिशा के अनुदिश होगा।

अत: $\vec{B} = 2.1\times10^{-8}\hat{k}$ टेसला

$n$ = 1.45

**उदाहरण 5. एक समतल विद्युत-चुम्बकीय तरंग कि आवृत्ति 3 GHz है व दोलनकारी विद्युत क्षेत्र का आयाम 30 V/*m* तरंग का तरंगदैर्ध्य व चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम ज्ञात करो ?**

**हल**– $c = \frac{E_o}{B_o}$ से $E_o$ = विद्युत क्षेत्र का आयाम

$B_o$ = चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम

$$B_o = \frac{E_0}{c} = \frac{30}{3\times10^8} = 10^{-7} \text{ टेसला}$$

**उदाहरण 6. एक प्रकाश बल्ब सभी दिशाओं में एक समान रूप से गोलाकार विद्युत चुंबकीय तरंगें उत्सर्जित करता है। 50 *W* विद्युत चुंबकीय उत्सर्जन मानते हुए बल्ब से 3 m दूरी पर ज्ञात करें (अ) तीव्रता (ब) विकिरण दाब तथा (स) विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के परिमाण** **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.2**

**हल**–दिया गया है: $P = 50$ वॉट, $r = 3$ मीटर

$\because$ बल्ब से $r$ दूरी पर ऊर्जा $4\pi r^2$ पृष्ठीय क्षेत्रफल पर एक समान वितरित होगी अत:

(अ) $$\text{तीव्रता} = \frac{\text{शक्ति}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$I = \frac{50}{4\times3.14\times(3)^2} = 0.44 W/m^2$$

(ब) विकिरण दाब

$$P = \frac{I}{c} = \frac{0.44}{3\times10^8} = 1.47\times10^{-9} \text{N/m}^2$$

(द) $\because$ तीव्रता $$I = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$$

$$\therefore \quad E_0 = \sqrt{2\mu_0 Ic}$$

$$= \sqrt{2\times12.56\times10^{-7}\times0.44\times3\times10^8}$$

$$= 18.2\ V/m$$

तथा $$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{18.2}{3\times10^8} = 6.8\times10^{-8}T$$

**उदाहरण 7. किसी समतल विद्युत चुंबकीय तरंग में चुंबकीय क्षेत्र $B_y = 2\times10^{-7}\sin(0.5\times10^3 x + 1.5\times10^{11} t)$ T है।**

**( a ) तरंग की आवृत्ति तथा तरंगदैर्ध्य क्या है? ( b ) विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक लिखिए।**

**हल**-दिया है- चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_y = 2\times10^{-7}\sin(0.5\times10^3 x + 1.5\times10^{11} t) \text{ टेसला}$$

(a) दिए गए समीकरण की

$$B_y = B_0 \sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}+\frac{t}{T}\right)\right) \text{ से तुलना करने पर}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{0.5\times10^3} \text{ मी.} = \frac{2\times3.14}{0.5\times10^3} = 1.256\times10^{-2} \text{ मी.}$$

तथा आवृत्ति $$\upsilon = \frac{1}{T} = 1.5\times10^{11}/2\pi = 23.88\times10^9 \text{ हर्ट्ज}$$

$$= 23.88 \text{ गीगा हर्ट्ज}$$

(b) $\because E_0 = B_0 c = 2\times10^{-7}\times3\times10^8 = 60$ वोल्ट/मी.

चूंकि चुम्बकीय क्षेत्र एवं विद्युत क्षेत्र परस्पर लम्बवत् होते हैं अत: Z दिशा में विद्युत क्षेत्र का घटक

$$E_Z = 60\sin(0.5\times10^3 x + 1.5\times10^{11} t) \text{ वोल्ट/मी.}$$

**उदाहरण 8. एक समतल विद्युत-चुम्बकीय तरंग में विद्युत क्षेत्र ज्यावक्रीय रूप से $2\times10^{10}$ Hz आवृत्ति के दोलन करता है व उसका आयाम 48 V/*m* है ज्ञात कीजिए।**

**(i) तरंग का ऊर्जा घनत्व**

**(ii) दोलनकारी चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम**

**हल**-(i) ऊर्जा घनत्व $u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_0^2$

$$\epsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\frac{c^2}{N-m^2} \qquad E_0 = 48 \text{ V/m}$$

$$u = \frac{1}{2}\times8.85\times10^{-12}\times48\times48$$

$$u = 1.02\times10^{-8} \text{ जूल/मी}^3$$

(ii) आयाम $$c = \frac{E_o}{B_o}$$

$$B_o = \frac{E_0}{c} = \frac{48}{3\times10^8} = 16\times10^{-8} \text{ टेसला}$$

$$B_o = 1.6 \times 10^{-7} \text{ टेसला}$$

**उदाहरण 9. 18 W/cm² के ऊर्जा फ्लक्स का प्रकाश किसी अपरावर्तक सतह पर अभिलंबवत आपतित होता है। यदि सतह का क्षेत्रफल 20 cm² हो तो 30 मिनट की समयावधि में सतह पर लगने वाले औसत बल का परिकलन कीजिए।**

**हल**-दिया है- ऊर्जा फ्लक्स S = 18 वॉट/सेमी$^2$

A = 20 सेमी$^2$, t = 30 मिनिट

अत: सतह पर आपतित कुल ऊर्जा

$$U = SAt = 18\times20\times(30\times60) = 6.48\times10^5 \text{ जूल}$$

पूर्ण अवशोषक सतह के संवेग में परिवर्तन

$$\Delta p = \frac{U}{c} = \frac{6.48\times10^5}{3\times10^8} = 2.16\times10^{-3} \text{ किग्रा. मी./से.}$$

अत: सतह पर औसत बल

$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{2.16\times10^{-3}}{30\times60} = 1.2\times10^{-6} \text{ न्यूटन}$$

यदि सतह पूर्ण परावर्तक होती तो सतह के संवेग में परिवर्तन

$$2\Delta p = 4.32 \times 10^{-3} \text{ किग्रा. मी/से.}$$

अत: सतह पर औसत बल $F = \frac{2\Delta p}{t} = 2.4\times10^{-6}$ न्यूटन

**उदाहरण 10. एक विद्युत-चुम्बकीय तरंगों के लिए S = 6 W/m² है यदि एक तरंग 10 m² के पृष्ठ पर आपतित होती है तो पृष्ठ पर कार्यरत बल का मान ज्ञात करो ?**

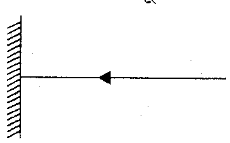
**हल**– A = 10 m$^2$ पूर्ण अवशोषित

दाब $P = \frac{S}{c}$ से

$$F = PA$$

$$F = \frac{S}{c}A = \frac{6\times10}{3\times10^8}$$

$$F = 2 \times 10^{-7} \text{ न्यूटन}$$



चित्र 17.7

**उदाहरण11. 3 m की दूरी पर स्थित किसी 100 W बल्ब से आ रहे विकिरण द्वारा उत्पन्न विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों की गणना कीजिए। आप यह जानते हैं कि बल्ब की दक्षता है और यह एक बिंदु स्रोत है।**

**हल**-एक बिन्दु बल्ब सभी दिशाओं में समान रूप से प्रकाश विकरित करता है अत: बिन्दु स्रोत के चारों ओर A = $4\pi r^2$ गोलाकार क्षेत्रफल लेने पर (जहाँ r = 3 मी.)

$$A = 4 \times 3.14 \times 9 = 113.04 \text{ मी}^2$$

इस दूरी पर प्रकाश की तीव्रता

$$I = \frac{\text{शक्ति}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{100}{113.04} = 0.885 \text{ वॉट/मी.}^2$$

परन्तु बल्ब की दक्षता 2.5% है। अत: अभीष्ट तीव्रता

$$I = 0.885\times\frac{2.5}{100} = 0.022 \text{ वाट/मी}^2$$

यह तीव्रता समान रूप से विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्रों के कारण है अत:

$$\frac{1}{2}I = \frac{1}{2}(\epsilon_0 E_{rms}^2 c) = \frac{1}{2}\times0.022$$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{0.022}{\epsilon_0 c}} = \sqrt{\frac{0.022}{8.85\times10^{-12}\times3\times10^8}}$$

$$= \sqrt{8.286} = 2.88 \text{ वोल्ट/मी.}$$

तथा विद्युत क्षेत्र का शिखर मान

$$E_0 = \sqrt{2}E_{rms} = 1.414\times2.88 = 4.07 \text{ वोल्ट/मी.}$$

तथा चुम्बकीय क्षेत्र

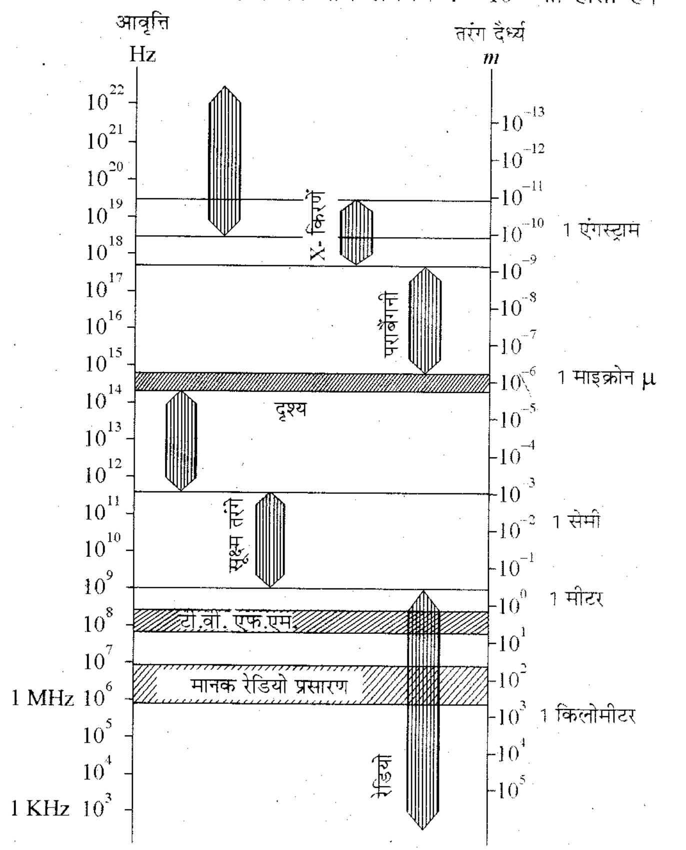
$$B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c} = \frac{2.88}{3\times10^8} = 9.6\times10^{-9} \text{ टेसला}$$

तथा शिखर मान $B_0 = \sqrt{2}B_{rms} = 1.414\times9.6\times10^{-9}$

$$= 1.357 \times 10^{-8} \text{ टेसला}$$

## 17.4 विद्युत-चुम्बकीय स्पेक्ट्रम (Electromagnetic Spectrum)

सूर्य के प्रकाश के स्पेक्ट्रम में लाल रंग से बैंगनी रंग तक विभिन्न रंग दिखाई पड़ते है। इस स्पेक्ट्रम को दृश्य स्पेक्ट्रम कहते है। दृश्य स्पेक्ट्रम में लाल रंग की सबसे लम्बी तरंगदैर्ध्य का मान लगभग 8 × 10$^{-7}$ मी. एवं बैंगनी रंग की सबसे छोटी तरंग दैर्ध्य का मान लगभग 4 × 10$^{-7}$ मी. होता है।




चित्र 17.8

परन्तु क्रमशः वैज्ञानिकों को ज्ञात हुआ कि सूर्य के प्रकाश का स्पेक्ट्रम लाल से लेकर बैंगनी रंग तक ही सीमित नहीं है वरन् लाल तथा बैंगनी रंगों से बाहर दोनों ओर फैला हुआ है। स्पेक्ट्रम के इस भाग को अदृश्य स्पेक्ट्रम कहते है क्योंकि वह दिखाई नहीं देता। लाल रंग से अधिक तरंग दैर्ध्य वाले भाग को अवरक्त स्पेक्ट्रम कहते है जबकि बैंगनी रंग से छोटी तरंग दैर्ध्य वाले भाग को पराबैंगनी स्पेक्ट्रम कहते हैं।

बाद में जब X किरणों, $\gamma$ किरणों तथा रेडियो तरंगों का आविष्कार हुआ तब यह स्थापित हुआ कि दृश्य स्पेक्ट्रम सहित ये सब विकिरण विद्युत चुम्बकीय तरंगे है। इन विकिरणों को चित्र में दर्शाये जैसे इनकी तरंगदैर्ध्य के अनुसार एक क्रम में रखा जा सकता है, इस क्रम को विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम कहते हैं।

विद्युत चुम्बकीय वर्णक्रम का केवल एक बहुत छोटा भाग ही हमें दिखायी देता है क्योंकि केवल इस भाग की विद्युत चुम्बकीय तरंगें ही हमारी आँख के रेटिना पर दृष्टि संवेदना उत्पन्न करती हैं। विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के इस भाग को दृश्य स्पेक्ट्रम (visible spectrum) कहते हैं। इस भाग से छोटी तथा बड़ी तरंगदैर्ध्यों की विद्युत चुम्बकीय तरंगों का वर्णक्रम अदृश्य (invisible) होता है। अत: विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम को मुख्यत: निम्नलिखित दो वर्गों में बाँटा जाता है—

(i) दृश्य स्पेक्ट्रम तथा (ii) अदृश्य स्पेक्ट्रम।

**(i) दृश्य स्पेक्ट्रम (Visible spectrum)**— विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग की विभिन्न तरंगदैर्ध्यों की विद्युत चुम्बकीय तरंगें हमारी आँख के रेटिना पर विभिन्न रंगों का प्रभाव उत्पन्न करती हैं।

स्पेक्ट्रम के इस भाग में हमें बैंगनी रंग से लेकर लाल रंग तक दिखायी पड़ते हैं। स्पेक्ट्रम के इस भाग को 'दृश्य स्पेक्ट्रम' कहते हैं। दृश्य स्पेक्ट्रम की तरंगदैर्ध्य परास सीमित होती है। इसका विस्तार तरंगदैर्ध्य परास $4.0 \times 10^{-7}$ मीटर (या 4000Å) से $8 \times 10^{-7}$ मीटर (या 8000Å) तक होता है। इसमें लाल रंग की तरंगदैर्ध्य सबसे अधिक (~8000 Å) तथा बैंगनी रंग की तरंगदैर्ध्य सबसे कम (~4000Å) होती है।

**(ii) अदृश्य स्पेक्ट्रम (Invisible spectrum)**— विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम केवल बैंगनी रंग से लाल रंग तक ही सीमित नहीं है, अपितु बैंगनी रंग से नीचे तथा लाल रंग से ऊपर भी काफी विस्तार में फैला हुआ है। स्पेक्ट्रम के ये भाग आँख से दिखायी नहीं देते हैं, परन्तु इसकी उपस्थिति अन्य विधियों द्वार पहचानी जा सकती है। इसीलिए स्पेक्ट्रम के बैंगनी रंग के नीचे तथा लाल रंग के ऊपर वाले भाग को अदृश्य स्पेक्ट्रम (invisible spectrum) कहते हैं।

लाल रंग से ऊपर बड़ी तरंगदैर्ध्य वाली तरंगें क्रमशः अवरक्त विकिरण (infra-red radiation) माइक्रो तरंगें (micro waves) तथा रेडियो तरंगें (radio waves) कहलाती हैं तथा बैंगनी रंग से नीचे छोटी तरंगदैर्ध्य वाली तरंगे क्रमश: पराबैंगनी विकिरण (ultraviolet radiation), एक्स किरणें (X-rays) तथा गामा किरणों (gamma rays) कहलाती है।

नीचे सारणी में विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों का वर्णन उनकी तरंग दैर्ध्य परास, आवृत्ति परास, उनका उत्पादन तथा उनके संसूचक के साथ किया गया है।

**विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम**

| क्रम संख्या | विद्युत चुम्बकीय तरंग का नाम | तरंगदैर्ध्य परास (मीटर में) | आवृत्ति परास (हर्ट्ज में) | उत्पादन | संसूचक |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | गामा किरणें | $0.6 \times 10^{-14}$ से $1 \times 10^{-10}$ | $5 \times 10^{22}$ से $3 \times 10^{18}$ | नाभिक | फोटोग्राफिक फिल्म, आयनन कक्ष। |
| 2. | एक्स किरणें | $1 \times 10^{-13}$ से $3 \times 10^{-8}$ | $3 \times 10^{21}$ से $1 \times 10^{16}$ | एक्स किरण नलिका या परमाणु की आन्तरिक कक्षा के इलेक्ट्रॉनों का उत्तेजन | फोटोग्राफिक फिल्म |
| 3. | पराबैंगनी विकिरण | $6 \times 10^{-10}$ से $4 \times 10^{-7}$ | $5 \times 10^{17}$ से $8 \times 10^{14}$ | आर्क लैम्प, स्पार्क लैम्प | फोटो सेल, फोटोग्राफिक फिल्म |
| 4. | दृश्य प्रकाश | $4 \times 10^{-7}$ $8 \times 10^{-7}$ | $8 \times 10^{14}$ से $4 \times 10^{14}$ | परमाणु की संयोजी कक्षा के इलेक्ट्रॉनों का उत्तेजन | मानव नेत्र, फोटो सेल, फोटोग्राफिक प्लेट |
| 5. | अवरक्त विकिरण | $8 \times 10^{-7}$ से $1 \times 10^{-3}$ | $4 \times 10^{14}$ से $3 \times 10^{11}$ | परमाणुओं तथा अणुओं के कम्पन | थर्मोपाइल, बोलोमीटर अवरक्त फोटोग्राफिक फिल्म |
| 6. | माइक्रो तरंगें | $10^{-3}$ से 0.3 | $3\times10^{11}$ से $1\times10^{9}$ | मैग्नेट्रॉन वाल्व | बिन्दु सम्पर्क डायोड |
| 7. | रेडियो तरंगे | 0.3 से 600 | $10^{9}$ से $5\times10^{15}$ | दोलन परिपथ | रेडियो रिसीवर |

अब हम विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के प्रत्येक भाग का अध्ययन करेंगे।

**(1) गामा किरणें (Gamma rays)**— इनकी खोज वैज्ञानिक बैकुरल तथा क्यूरी ने सन् 1896 में की थी। इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग $0.6 \times 10^{-14}$ मीटर से $10^{-10}$ मीटर की कोटि की होती है। इनके प्रमुख स्रोत प्राकृतिक तथा कृत्रिम रेडियोऐक्टिव पदार्थ हैं। ये किरणें फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित कर देती है तथा प्रदीप्तिशील पदार्थ से लेपित पर्दे (जैसे, बेरियम-प्लैटिनो-साइनाइड से लेपित पर्दे) पर चमक उत्पन्न करती है। ये किरणें अत्यन्त ऊर्जा युक्त होती हैं। इन किरणों की वेधन क्षमता बहुत अधिक होती है तथा ये किरणें लोहे की लगभग 30 सेमी मोटी चादर को भी पार कर जाती हैं।

**उपयोग (Uses)**— गामा किरणों के मुख्य उपयोग निम्न हैं—

(i) कैंसर तथा ट्यूमर रोग के निदान में।
(ii) खाद्य पदार्थ को अधिक समय तक सुरक्षित रखने के लिए।
(iii) नाभिकीय अभिक्रियाओं में।
(iv) नाभिक के बारे में जानकारी प्राप्त करने के लिए।

**(2) एक्स किरणें (X-rays)**— इनकी खोज वैज्ञानिक रॉन्जन ने सन् 1895 में की थी। इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग $10^{-13}$ मीटर से $3 \times 10^{-8}$ मीटर की कोटि की होती है। जब अत्यधिक ऊर्जा की कैथोड़ किरणों को किसी उच्च गलनांक के धातु लक्ष्य पर टकराकर रोका जाता है, तो एक्स किरणें उत्पन्न होती हैं। ये किरणें फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित कर देती हैं तथा अपारदर्शक पदार्थ को पार कर जाती हैं। इनकी वेधन क्षमता, गामा किरणों की अपेक्षा कम होती है। प्रतिदीप्तिशील पदार्थ (जैसे, बेरियम-प्लैटिनो साइनाइड) पर पड़ने पर ये किरणें चमक उत्पन्न करती हैं।

**उपयोग (Uses)**— X- किरणों के मुख्य उपयोग निम्न हैं—

(i) सर्जनी चिकित्सा में हड्डी टूटने पर हड्डी टूटने के स्थान का पता लगाने में, शरीर के किसी भाग में गोली आदि का पता लगाने में या किडनी आदि में पत्थर की उपस्थिति ज्ञात करने में।
(ii) कैंसर रोग तथा त्वचा रोग के निदान में।
(iii) इन्जीनियरिंग में गर्डर आदि धात्विक वस्तुओं में त्रुटि का पता लगाने में।
(iv) वैज्ञानिक शोध में क्रिस्टल संरचना ज्ञात करने में।
(v) चोरों द्वारा अपने शरीर में छिपायी गयी मूल्यवान वस्तुओं का पता लगाने में।

**(3) पराबैंगनी विकिरण (Ultraviolet radiation)**— इनकी खोज वैज्ञानिक रिटर ने सन् 1801 में की थी। इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग $6 \times 10^{-10}$ मीटर से $4 \times 10^{-7}$ मीटर की कोटि की होती है। सूर्य से प्राप्त विकिरण में अत्यधिक भाग पराबैंगनी विकिरणों का होता है। इसके अन्य स्रोत विद्युत विसर्जन नलिका, कार्बन आर्क आदि हैं। ये विकिरण, दृश्य प्रकाश की तुलना में अधिक रासायनिक सक्रिय होते हैं। सिल्वर क्लोराइड के घोल को ये विकिरण काला कर देते हैं। काँच इन विकिरणों को अवशोषित कर लेता है, लेकिन क्वार्ट्ज तथा फ्लोरस्पार इन्हें पारगत कर देते है, अतः इनके अध्ययन के लिए काँच की बजाय क्वार्ट्ज या फ्लोरस्पार के प्रिज्म उपयोग में लाते हैं तथा पराबैंगनी विकिरण देने वाले लैम्पों के बल्ब काँच की बजाय क्वार्ट्ज के बनाये जाते हैं।

**दृश्य प्रकाश में विभिन्न रंग, उनकी तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति परास**

| प्रकाश का रंग | बैंगनी (Violet) | जामुनी (Indigo) | नीला (Blue) | हरा (Green) | पीला (Yellow) | नारंगी (Orange) | लाल (Red) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| तरंगदैर्घ्य परास (Å में) | 4000 – 4500 तक | 4500– 4700तक | 4700– 5000 तक | 5000– 5700 तक | 5700– 5900 तक | 5900 – 6400 तक | 6400– 8000 तक |
| आवृत्ति परास ($\times 10^{14}$ हर्ट्ज में) | 7.5 से 6.7 | 6.7 से 6.4 | 6.4 से 6.0 | 6.0 से 5.3 | 5.3 से 5.1 | 5.1 से 4.7 | 4.7 से 3.8 |

**उपयोग (Uses)**— पराबैंगनी विकिरणों के मुख्य उपयोग निम्न हैं—

(i) खाद्य पदार्थ के संरक्षण में।
(ii) अँगुली के चिह्न आदि की जाँच करने में।
(iii) अनेक रोगों के कीटाणुओं को नाश करने के लिए।
(iv) सर्जिकल उपकरणों की सफाई करने में।
(v) आण्विक संरचना के अध्ययन में।
(vi) खनिज सैम्पल की जाँच करने में।

**(4) दृश्य प्रकाश (Visible light)**— इसका अध्ययन सर्वप्रथम वैज्ञानिक न्यूटन ने सन् 1666 में किया था। $4 \times 10^{-7}$ मीटर से $8 \times 10^{-7}$ मीटर (या 4000Å से 8000Å) की तरंगदैर्घ्य तक के विकिरण दृश्य प्रकाश के क्षेत्र में आते हैं। बैंगनी रंग के प्रकाश की तरंगदैर्घ्य सबसे छोटी तथा लाल रंग के प्रकाश की तरंगदैर्घ्य सबसे बड़ी होती है। वस्तुओं के श्वेत तप्त होकर चमकने पर दृश्य प्रकाश प्राप्त होता है। विद्युत बल्ब, सोडियम लैम्प, फ्लोरेसेण्ट ट्यूब से प्राप्त प्रकाश, दृश्य प्रकाश होता है। दृश्य प्रकाश की उपस्थिति में ही अन्य वस्तुएँ देखी जाती है।

ध्यान रहे कि दृश्य स्पेक्ट्रम में 4000Å से 8000Å तरंगदैर्घ्य की तरंगे अविरत रूप से फैली होती हैं। इसके एक किनारे पर बैंगनी रंग एवं दूसरे

किनारे पर लाल रंग होता है। वास्तव में बैंगनी तथा लाल रंगों के बीच असंख्य रंग फैले होते हैं, लेकिन इनके प्रमुख रंग हैं-बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल। इन रंगों के संगत तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति परिसर अग्रांकित सारणी में प्रदर्शित हैं।

**उपयोग (Uses)**— दृश्य प्रकाश का मुख्य उपयोग आसपास की वस्तुओं को देखने के लिए किया जाता है।

**(5) अवरक्त विकिरण (Infrared radiation)**— इनका आविष्कार वैज्ञानिक हरशैल ने सन् 1800 में किया था। इनकी तरंगदैर्घ्य $8 \times 10^{-7}$ मीटर से $10^{-3}$ मीटर (या 8000Å से $10^7$ Å) तक की कोटि की होती है। कोई भी वस्तु गर्म होने पर अवरक्त विकिरण उत्सर्जित करती है। इनमें ऊष्मीय प्रभाव सर्वाधिक होता है। काँच इन विकिरणों को अवशोषित कर लेता है। इन विकिरणों के अध्ययन के लिए काँच के प्रिज्म की बजाय साधारण नमक के प्रिज्म का उपयोग करते हैं। इन विकिरणों में ऊष्मीय प्रभाव बहुत अधिक होता है। ये विकिरण फोटोग्राफी प्लेट को प्रभावित नहीं करते हैं। इन विकिरणों की तरंगदैर्घ्य अधिक होने के कारण इनका प्रकीर्णन बहुत कम होकता है जिससे ये विकिरण कुहरे में भी अधिक दूरी तक जा सकते हैं।

**उपयोग (Uses)**— अवरक्त विकिरण के मुख्य उपयोग निम्न हैं—

(i) रोगी की सिकाई में।
(ii) उपग्रह को सोलर सेल की सहायता से विद्युत ऊर्जा प्रदान करने में।
(iii) रात्रि में फोटोग्राफी में।
(iv) कुहरे में संकेत एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजने में।
(v) ग्रीन हाउस में पौधों को गर्म रखने के लिए।
(vi) सोलर कुकर तथा सोलर जल ऊष्मक में।
(vii) अवरक्त फोटोग्राफी द्वारा मौसम के बारे में पूर्व सूचना देने में।
(viii) अवरक्त अवशोषण वर्णक्रम द्वारा आण्विक संरचना के अध्ययन में।

**(6) माइक्रो तरंगें (Micro waves)**— इनका आविष्कार वैज्ञानिक हर्ट्ज ने सन् 1888 में किया था। इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग 1 मिमी से 30 सेमी तक होती है। ये तरंगें स्फुलिंग विसर्जन अथवा मैग्नेट्रॉन वाल्व द्वारा उत्पन्न की जाती है। इन्हें क्रिस्टल संसूचक अथवा अर्द्धचालक गन (Gunn) डायोड द्वारा संसूचित किया जाता है।

**उपयोग (Uses)**— माइक्रो तरंगों के मुख्य उपयोग निम्न हैं—

(i) राडार व दूरसंचार में।
(ii) माइक्रो तरंग ओवन (microwave oven) में खाद्य पदार्थ को पकाने के लिए।

**(7) रेडियो तरंगें (Radio waves)**— इनकी खोज सर्वप्रथम वैज्ञानिक मारकोनी ने सन् 1895 में की थी। इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग 0.3 मीटर से 600 मीटर तक होती है। इन्हें किसी विद्युत चालक में उच्च आवृत्ति की प्रत्यावर्ती धारा के प्रवाह द्वारा उत्पन्न किया जाता है। इन तरंगों का संसूचन रेडियो अभिग्राही तथा ट्रान्जिस्टर में अनुनादी परिपथ द्वारा किया जाता है। ये बेतार तरंगें भी कहलाती है।

**रेडियो तरंगों का वर्गीकरण**— रेडियो तरंगों को दो वर्गों में बाँटा गया है- (a) लघु रेडियो तरंगें या हर्ट्ज तरंगे (b) दीर्घ रेडियो तरंगे या बेतार तरंगे।

रेडियो तरंगों के प्रसारण में इन्हें पुन: आवृत्ति के आधार पर विभिन्नप बैण्डों में वर्गीकृत किया जाता है, जिन्हें अग्रांकित सारणी में दिखाया गया है।

**रेडियो तरंगों के विभिन्न बैण्ड, उनकी तरंगदैर्घ्य व आवृत्ति परास तथा उपयोग**

| रेडियो तरंगे | बैण्ड | तरंगदैर्घ्य परास | आवृत्ति परास | उपयोग |
|---|---|---|---|---|
| (a) लघु रेडियो तरंगे (SW) | (i) सुपर उच्च आवृत्ति SHF | $10^{-2} - 10^{-1}$ | $3\times10^{10} - 3\times10^{9}$ | राडार तथा उपग्रह संचार में |
| | (ii) अल्ट्रा उच्च आवृत्ति UHF | $10^{-1} - 1.0$ | $3\times10^{9}-3\times10^{8}$ | अल्प दूरी संचार तथा टी.वी. प्रसारण में |
| | (iii) अति उच्च आवृत्ति VHF | 1.0–10 | $3\times10^{8}-3\times10^{7}$ | टी. वी. प्रसारण में |
| (b) दीर्घ रेडियो तरंगें (LW) | (i) उच्च आवृत्ति HF | 10–100 | $3\times10^{7}-3\times10^{6}$ | दूरसंचार में |
| | (ii) मध्यम आवृत्ति MF | $10^{2}-10^{3}$ | $3\times10^{6}-3\times10^{5}$ | टेलीफोन संचार में |
| | (iii) लघु आवृत्ति LF | $10^{3}-10^{4}$ | $3\times10^{5}-3\times10^{4}$ | नौ-संचालन में |
| | (iv) अति लघू आवृत्ति VLF | $10^{4}-3\times10^{4}$ | $3\times10^{4}-10^{4}$ | लम्बी दूरी तक बिन्दु से बिन्दु संचार में। |

## विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों के उपयोग (Uses of different parts of electromagnetic spectrum)

विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों के मुख्य उपयोग निम्नलिखित हैं—

(i) गामा किरणों का उपयोग कैंसर के इलाज में किया जाता है।
(ii) X- किरणों का उपयोग क्रिस्टल संरचना का अध्ययन करने में किया जाता है। चूँकि X- किरणें अधिक घनत्व वाली वस्तुओं, (जैसे- हड्डी आदि) को पार नहीं कर पाती हैं, लेकिन कम घनत्व वाली वस्तुओं (जैसे-माँस आदि) को पार जाती हैं, अत: एक्स किरणों द्वारा फोटोग्राफ लेकर शरीर में हड्डी के टूटने या न टूटने की जाँच की जाती है।
(iii) पराबैंगनी किरणों का उपयोग अनेक रोगों के कीटाणुओं को मारने में, प्रकाश विद्युत प्रभाव के उत्तेजन में तथाप्रतिदीप्ति लैम्पों में किया जाता है।
(iv) दृश्य प्रकाश का उपयोग वस्तुओं को देखने के लिए किया जाता है।
(v) अवरक्त विकिरणों का उपयोग रात्रि फोटोग्राफी में तथा रोगी की सिकाई करने में किया जाता है।
(vi) माइक्रो तथा रेडियो तरंगों का उपयोग दूर संचार तथा राडार में किया जाता है।

नीचे सारणी में विद्युत चुम्बकीय तरंगों को तरंगदैर्घ्य के बढ़ते क्र में प्रदर्शित किया गया है तथा इनकी तरंगदैर्घ्य परास, आवृत्ति परास, आविष्कर्ता, स्रोत, संसूचक तथा उपयोग वर्णित है।

**तरंगदैर्घ्य के बढ़ते क्रम में विद्युत चुम्बकीय तरंगें, उनके आविष्कर्ता, तरंगदैर्घ्य व आवृत्ति परास, स्रोत, संसूचक तथा उपयोग**

| तरंग का नाम | आविष्कर्ता | तरंगदैर्घ्य परास | आवृत्ति परास (हर्ट्ज) | स्रोत | संसूचक | उपयोग |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. गामा किरणें | बैकुरल तथा क्यूरी (1896) | 0.0006 Å से 1Å तक | $5 \times 10^{22} - 3\times10^{18}$ | रेडियोऐक्टिव नाभिकों के विघटन होने पर | उच्च वेधन क्षमता | कैंसर के इलाज में |
| 2. एक्स किरणें | रॉजन (1895) | 0.001Å से 300Å तक | $3\times10^{28}$ से $1\times10^{16}$ | तीव्रगामी इलेक्ट्रॉन पुञ्ज को भारी धातु लक्ष्य द्वारा रोकने पर | लकड़ी या धातु के आवरण में रखी फोटोग्राफी प्लेट को प्रभावित कर देती है। | सर्जन चिकित्सा में तथा क्रिस्टल संरचना के अध्ययन में |
| 3. पराबैंगनी विकिरण | रिटर (1801) | 6Å से 4000Å तक | $5\times10^{17}$ से $8\times10^{14}$ | सूर्य, कार्बन आर्क विद्युत विसर्जन नलिका | प्रकाश विद्युत प्रभाव उत्पन्न करते हैं तथा रासायनिक प्रभाव सर्वाधिक होता है। | अनेक रोगों के कीटाणुओं को मारने तथा प्रकाश विद्युत उत्सर्जन में |
| 4. दृश्य प्रकाश | न्यूटन (1666) | 4000Å से 8000Å तक | $8\times10^{14}$ से $4\times10^{14}$ | तापदीप्त वस्तुओं से | इसकी उपस्थिति में अन्य वस्तुएँ देखी जा सकती है। | अन्य वस्तुएँ देखने |
| 5. अवरक्त विकिरण | हरशैल (1840) | 8000Å से $10^7$ तक | $4\times10^{14}$ से $3\times10^{11}$ | गर्म वस्तुओं से | ऊष्मीय प्रभाव सर्वाधिक होता है। | रोगियों की सिकाई करने में, रात्रि फोटोग्राफी में |
| 6. माइक्रो तरंगें | हर्ट्ज (1888) | $10^7$ Å से $3\times10^9$ Å | $3 \times 10^{11}$ से $1 \times 10^9$ | स्फुर्लिंग, विसर्जन अथवा मैग्नेट्रॉन वाल्व द्वारा | क्रिस्टल संसूचक अथवा अर्द्ध-चालक चालक डायोड द्वारा | राडार तथा दूरसंचार में |
| 7. रेडियो (या बेतार) तरंगें | मारकोनी (1895) | $3\times10^9$ Å से $6\times10^{12}$Å | $10^9$ से $5\times10^5$ | दोलित विद्युत परिपथ द्वारा | L–C परिपथ द्वारा | संचार प्रसारण तथा टेलीविजन में |

[ध्यान रहे कि 1Å = $10^{-10}$ मीटर। आजकल तरंगदैर्घ्य को Å मात्रक की बजाय नैनोमीटर (nm) में व्यक्त किया जाता है जहाँ 1 nm = $10^{-9}$ मीटर = 10Å]

## अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

**प्र.1.** पृथ्वी पर जीवों के विकास के लिये ओजोन परत की आवश्यकता का मुख्य कारण बताइये।

**प्र.2.** विस्थापन धारा व चालन धारा में क्या अन्तर है ?

**प्र.3.** निम्न विकिरणों को घटती तरंग दैर्ध्य के क्रम में व्यवस्थित करो– $\gamma$-किरणें, अवरक्त किरणें, लाल प्रकाश, पीला प्रकाश, रेडियों तरंगें।

**प्र.4.** स्थिर विद्युत क्षेत्र के लिये मैक्सवेल का समीकरण लिखो।

**प्र.5.** दृश्य प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की क्या परास है ?

**प्र.6.** विद्युत-चुम्बकीय तंरग में क्या दोलन करता है ?

**प्र.7.** विद्युत चुम्बकीय तरंगों की उत्पत्ति का स्त्रोत बताइए।

**प्र.8.** विद्युत चुम्बकीय स्पैक्ट्रम में सबसे कम तथा सबसे अधिक तरंगदैर्ध्य वाली तरंगों के नाम लिखिए।

**प्र.9.** C धारिता के आवेशित संधारित्र को प्रतिरोधहीन व L प्रेरकत्व की कुण्डली से विसर्जित करने पर विद्युत चुम्बकीय दोलनों की आवृत्ति का सूत्र लिखिए।

**प्र.10.** विद्युत स्फुर्लिंग के समीप ओजोन की गंध क्यों आती है?

**प्र.11.** कोहरे में कौनसा विकिरण प्रयुक्त करते हैं तथा क्यों?

**प्र.12.** रोग के कीटाणुओं को मारने में किन किरणों का उपयोग किया जाता है?

**प्र.13.** क्या कारण है कि पराबैंगनी लैम्पों के बल्ब क्वार्ट्ज के बनाए जाते हैं, न कि कांच के?

**प्र.14.** एक स्थिर आवेश के चारों ओर उत्पन्न क्षेत्र का नाम बताइए।

**प्र.15.** विस्थापन धारा का सूत्र लिखिए।

**प्र.16.** विस्थापन धारा तथा परिचालन धारा के मध्य सम्बन्ध लिखिए।

**प्र.17.** समय परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र तथा समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र द्वारा उत्पन्न क्षेत्र बताइए।

**प्र.18.** विद्युत चुम्बकीय तरंगों के संचरण की दिशा बताइए।

**प्र.19.** क्या विद्युत चुम्बकीय तरंगों का संचरण निर्वात् में संभव है?

**प्र.20.** विद्युत चुम्बकीय तरंगों का निर्वात् में वेग का सूत्र लिखिए।

**प्र.21.** निर्वात् के लिए विद्युत चुम्बकीय तरंगों की प्रतिबाधा का मान कितना होता है?

**प्र.22.** पाइंटिग सदिश का मात्रक लिखिए।

**प्र.23.** परावैद्युत माध्यम के अपवर्तनांक तथा माध्यम के परावैद्युतांक के मध्य सम्बन्ध लिखिए।

**प्र.24.** विद्युत चुम्बकीय तरंगों का औसत ऊर्जा घनत्व लिखिए।

**प्र.25.** विकिरण दाब का सूत्र लिखिए।

**प्र.26.** दृश्य स्पैक्ट्रम में सबसे लम्बी व सबसे छोटी तरंगदैर्ध्य का मान लिखिए।

**प्र.27.** विद्युत चुम्बकीय स्पैक्ट्रम के विभिन्न भागों का नाम लिखिए।

## उत्तरमाला

1. यह हानिकारण विकिरणों जैसे गामा किरणें, पराबैंगनी विकिरण इत्यादि को पृथ्वी की सतह पर नहीं पहुँचने देती।
2. विस्थापन धारा परिवर्ती विद्युत क्षेत्र के कारण होती है। स्थिर धारा की उपस्थिति में नही होगी। जब की चालन धारा इलेक्ट्रान के प्रवाह के कारण होती है।

3. रेडियो तरंगें, अवरक्त किरणें, लाल प्रकाश, पीला प्रकाश, $\gamma$-किरणें।
4. $\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q}{\epsilon_0}$, $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$
5. 4000 Å से 8000 Å
6. $\vec{E}$ व $\vec{B}$ क्षेत्र
7. त्वरित आवेश।
8. सबसे कम तरंगदैर्ध्य–गामा किरणें
सबसे अधिक तरंगदैर्ध्य–रेडियो तरंगें।
9. $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
10. विद्युत स्फुर्लिंग में कुछ पराबैंगनी विकिरण निकलते हैं जो वायु की कुछ ऑक्सीजन को ओजोन में परिवर्तित कर देते हैं।
11. अवरक्त विकिरण, क्योंकि इनकी तरंगदैर्ध्य अधिक होती है जिससे इनका प्रकीर्णन नहीं हो पाता है तथा ये कोहरे को पार कर जाते हैं।
12. पराबैंगनी।
13. इसका कारण है कि कांच, पराबैंगनी विकिरणों को अवशोषित कर लेता है जबकि क्वार्ट्ज इन विकिरणों को अवशोषित नहीं कर पाता है।
14. विद्युत क्षेत्र
15. $I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$
16. विस्थापन धारा $I_d$ = परिचालन धारा $I_c$
17. समय परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र, समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र तथा समय परिवर्ती विद्युत क्षेत्र, समय परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है।
18. विद्युत चुम्बकीय तरंगों के संचरण की दिशा $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ से बने तल के लम्बवत् $\vec{E}\times\vec{B}$ के अनुदिश होती है।
19. हाँ।
20. $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$
21. $Z = 377$ ओम
22. $\frac{\text{वॉट}}{(\text{मीटर})^2}$
23. अधिकांश परावैद्युत माध्यमों के लिए
$\mu \approx \mu_o$ जिससे $\mu_r = 1$
तथा परावैद्युत माध्यम का अपवर्तनांक $n \approx \sqrt{\epsilon_r}$
24. औसत ऊर्जा घनत्व $u_{av} = u_E + u_B = \frac{1}{2}\epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2}\frac{B_0^2}{\mu_0}$
25. विकिरण दाब $P = \frac{F}{A} = \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{I}{c}$
26. दृश्य स्पैक्ट्रम में लाल रंग की सबसे लम्बी तरंगदैर्ध्य का मान लगभग $8 \times 10^{-7}$ तथा बैंगनी रंग की सबसे छोटी तरंगदैर्ध्य का मान लगभग $4\times10^{-7}$ मी. होता है।
27. गामा किरणों, X- किरणें, पराबैंगनी विकिरण, दृश्य प्रकाश, अवरक्त विकिरण, माइक्रो तरंगें तथा रेडियो तरंगें।

## 17.5 विद्युत-चुम्बकीय तरंगों का संचरण (Propagation of Electromagnetic waves)

विद्युत चुम्बकीय तरंगों की तरंगदैर्ध्य परास बहुत अधिक होती है। रेडियो तरंगे, सूक्ष्म तरंगें, दृश्य प्रकाश, X- किरणें आदि सभी विद्युतीय चुम्बकीय तरंगे ही होती है। पृथ्वी के चारों ओर स्थित भौतिक अन्तरिक्ष (मुक्त आकाश) का उपयोग करके संकेतों को भेजना तथा ग्रहण करना अंतरिक्ष संचार कहलाता है।

इसमें कुछ सहस्त्र KHz से GHz आवृत्ति परास का उपयोग हो सकता है।

रेडियो तरंगों का उपयोग करने वाले संचार में एक सिरे पर प्रेषित्र होता है जिसका ऐन्टिना विद्युत चुम्बकीय तरंगे विकिरत करता है जो अंतरिक्ष में गमन करती हुई दूसरे सिरे पर स्थित अभिग्राही के ऐन्टिना द्वारा ग्रहण कर ली जाती हैं। जैसे-जैसे विद्युत चुम्बकीय तरंगे प्रेषित्र से दूर होती जाती है वैसे-वैसे इनकी तीव्रता कम होती जाती है। इन तरंगों के संचरण व गमनपथ को पृथ्वी तथा वायुमण्डल प्रभावित करता है।

प्रेषित्र से अभिग्राही तक मुक्त आकाश संचरण द्वारा तरंगे संचरण की तीन विधियाँ हैं-

(i) भू तरंग संचरण या पृष्ठीय तरंग संचरण (Ground wave propagation)

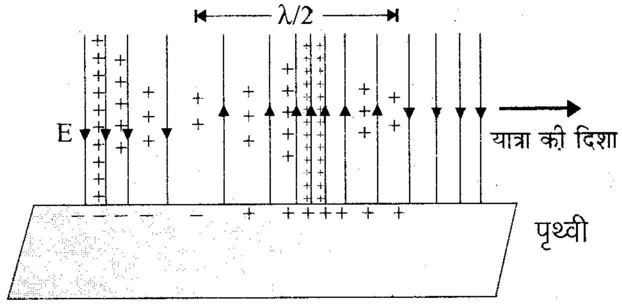
(ii) आकाश तरंग संचरण (Space wave propagation)

(iii) व्योम तरंग संचरण (Sky wave propagation)

### 17.5.1 भू-तरंग संचरण (Ground or Surface Wave Propagation)

**संकेतों को उच्च दक्षता से विकिरत करने के लिए ऐन्टिना का साइज संकेत की तरंगदैर्ध्य के तुलनीय ( कम से कम ~λ/4 ) होना चाहिए।** लम्बी तरंगदैर्ध्य अर्थात् निम्न आवृत्तियों के लिए ऐन्टिना के भौतिक साइज बड़े होते हैं तथा इन्हें पृथ्वी के पृष्ठ पर अथवा इसके बहुत पास लगाया जाता है। मानक आयाम माडुलित (AM) प्रसारण में भू आधारित ऊर्ध्वाधर स्तम्भों (टावर) का व्यापक उपयोग प्रेषित्र ऐन्टिना की भाँति होता है। इस प्रकार के ऐन्टिना से संकेत के प्रसारण पर भूमि का प्रबल प्रभाव होता है। पृथ्वी के पृष्ठ के निकट विद्युत चुम्बकीय तरंगे पृष्ठीय तरंगों के रूप में प्रसारित होती है जिन्हें भू-तरंगें कहते हैं तथा इनकी आवृत्ति न्यून होती है। संचरण की इस विधि को पृष्ठीय तरंग संचरण कहते हैं तथा इस विधा में तरंग का संचरण पृथ्वी की सतह के साथ-साथ होता है। इसमें तरंग के विद्युत क्षेत्र का घटक जैसे-जैसे तरंग आगे बढ़ती है ऊर्ध्वध्रुवित हो जाता है तथा क्षेत्र का क्षैतिज घटक पृथ्वी की सतह से लघुपथित हो जाता है। परन्तु जैसे-जैसे भू तरंग पृथ्वी की सतह पार करती जाती है वैसे-वैसे तरंग क्षीण होती जाती है। अत: भू तरंग संचरण लम्बी दूरियों के लिए उपयुक्त नहीं है क्योंकि पृथ्वी द्वारा ऊर्जा के अवशोषण के कारण तरंग का क्षीणन होने लगता है जो तरंगों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति में वृद्धि के साथ पृष्ठीय तरंगों की क्षीणता में तीव्रता से वृद्धि होती है। अत: प्रेषित की जाने वाली आवृत्ति का अधिकतम परास प्रेषित शक्ति तथा इसकी आवृत्ति पर निर्भर करता है।

अत: भू तरंग संचरण केवल न्यून आवृत्तियों (500 KHz से 1500 KHz) अर्थात् कुछ MHz के लिए ही उपयुक्त है अत: यह दीर्घ तरंग दैर्ध्य की रेडियो तरंगो के प्रसारण में ही उपयोगी है।

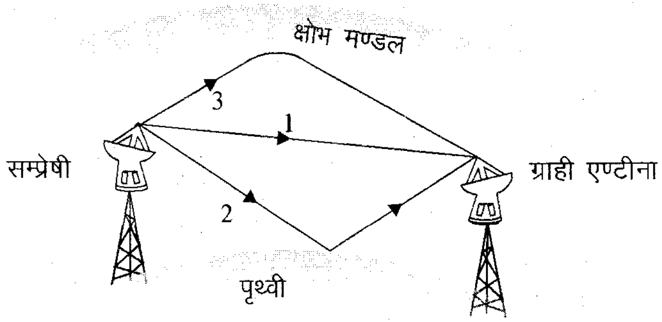



**चित्र 17.9 : ऊर्ध्व ध्रुवित तरंग जो पृथ्वी की सतह से गुजरती है। गाढ़ी रेखाएँ विद्युत चुम्बकीय तरंगों से सम्बद्ध विद्युत क्षेत्र (E) को प्रदर्शित कर रही है।**

### 17.5.2 आकाश तरंग संचरण (Space Wave Propagation)

40 MHz आवृत्ति से अधिक आवृत्ति की विद्युत चुम्बकीय तरंगें आकाश तरंगें कहलाती है जो अनिवार्य रूप से आकाश तरंगों के रूप में प्रसारित होती है तथा इस प्रकार के संचार को आकाश तरंग संचरण कहते हैं।

अति उच्च आवृत्तियों पर भू तरंग एवं व्योम तरंग संचरण विधि असफल हो जाती है तथा आकाश संचरण की इस विधि में उच्च आवृत्ति (परा उच्च आवृत्ति UHF) की ये तरंगें क्षोभ मण्डल में गति करती हुई एक सीधी रेखा के अनुदिश बढ़ते हुए सीधे प्रेषित्र ऐन्टिना से अभिग्राही ऐन्टिना तक गमन करती है। **आकाश तरंग संचरण को दृष्टि रेखा (Line of Sight: LOS) संचरण भी कहते हैं।**

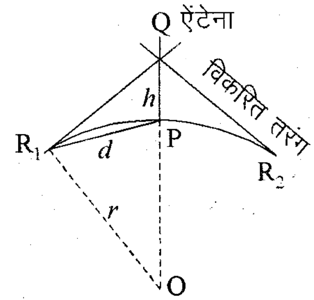



**चित्र 17.10**

40MHz से अधिक आवृत्तियों पर संचार केवल दृष्टि रेखीय (line of sight) रेडियो संचरण द्वारा ही संभव है इन आवृत्तियों पर ऐन्टिना का साइज अपेक्षाकृत छोटा होता है तथा पृथ्वी के पृष्ठ से कई तरंगदैर्ध्य की ऊँचाई पर स्थापित किया जा सकता है।

**1. टी.वी. सिग्नलों का संचरण**-दृष्टि रेखीय रेडियो संचार होने के कारण पृथ्वी की वक्रता के कारण ये सीधी तरंगे किसी बिन्दु पर अवरोधित हो जाती है।

यदि पृथ्वी की सतह से h ऊँचाई के टावर से प्रसारण किया जा रहा हो तो पृथ्वी की वक्रता के कारण $R_1$ व $R_2$ बिन्दुओं से आगे संकेत प्राप्त करना संभव नहीं है। केवल $R_1R_2$ दूरी में ही प्रसारण संभव है जिसे प्रसारण दूरी कहते हैं।




**चित्र 17.11**

यदि पृथ्वी की त्रिज्या r है। (अर्थात् $OR_1 = OR_2 = OP = r$) तथा d संकेतों द्वारा घिरी हुयी दूरी है जिसे क्षितिज दूरी भी कहते हैं।

समकोण त्रिभुजों $OQR_1$ व $QPR_1$ से

$$OQ^2 = QR_1^2 + OR_1^2$$

तथा $QR_1^2 = h^2 + d^2$

अतः $(r + h)^2 = h^2 + d^2 + r^2$

या $d^2 = 2rh$

या $\mathbf{d = \sqrt{2rh}}$

इस दूरी को प्रेषक ऐन्टिना का रेडियो क्षितिज भी कहते हैं जो कुल प्रसारण दूरी का आधा होती है। सामान्यतया यह दूरी 40km होती है।

क्षेत्रफल $A = \pi d^2 = 2\pi rh$

प्रोग्राम देख सकने वाली जनसंख्या

= जनसंख्या घनत्व × घिरा क्षेत्रफल

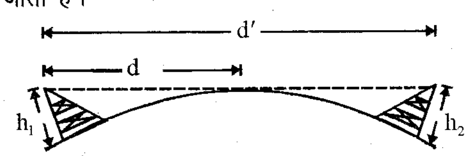
यदि संकेत को क्षितिज से परे प्राप्त करना हो तो अभिग्राही ऐन्टिना काफी अधिक ऊँचाई पर स्थापित किया जाना चाहिए।

चित्रानुसार पृथ्वी के पृष्ठ से $h_1$ व $h_2$ ऊँचाई वाले दो ऐन्टिना के बीच की अधिकतम दृष्टि रेखीय दूरी

$$\mathbf{d' = \sqrt{2rh_1} + \sqrt{2rh_2}}$$

जहाँ $h_1$ प्रेषक ऐन्टिना की ऊँचाई तथा $h_2$ = अभिग्राही ऐन्टिना की ऊँचाई है। अतः आकाश तरंग संचरण या दृष्टि रेखा (LOS) संचरण में प्रेषक ऐन्टिना व ग्राही ऐन्टिना की ऊँचाई समान नहीं होती है।

सूत्र से स्पष्ट है कि अधिक दूरी तक प्रसारण के लिए ऐन्टिना की ऊँचाई अधिक लेनी होगी। टेलिविजन प्रसारण में इसलिए प्रेषित टॉवर की ऊँचाई अधिक ली जाती है।



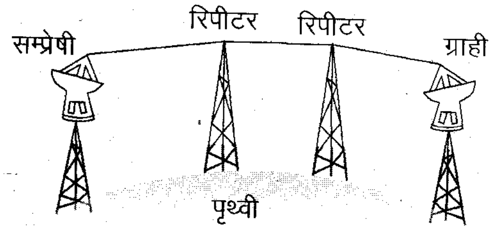

**चित्र 17.12**

## महत्त्वपूर्ण तथ्य

**1.** आकाश तरंगों का उपयोग दृष्टि रेखीय रेडियो संचरण, TV प्रसारण, माइक्रोवेव लिंक के साथ-साथ उपग्रह संचार में भी किया जाता है।

**2.** आकाश तरंग संचरण में दूरियों के बढ़ने के साथ-साथ संकेत कमजोर पड़ जाते हैं अतः संप्रेषण सीमित दूरी तक होता है तथा पृथ्वी की गोलीय आकार के कारण सीधे दृष्टि प्रसारण की दूरी की भी एक सीमा होती है। इस कारण बहुत अधिक दूरी के लिए आकाश तरंग संचरण का उपयोग नहीं किया जा सकता।

**2. सूक्ष्म तरंग संचार** : संकेतों को लम्बी दूरी तक भेजने के लिए इस संचार व्यवस्था का उपयोग करते हैं। चूँकि सूक्ष्म तरंगों की आवृत्ति पर विद्युत चुम्बकीय तरंगें बाधाओं (Obstacles) (जैसे इमारत का शिखर, पर्वत इत्यादि।) पर मुड़ती नहीं है। इसलिए सूक्ष्म तरंग संचरण आवश्यक रूप से दृष्टि रेखा में (In line of sight) ही सम्भव है।



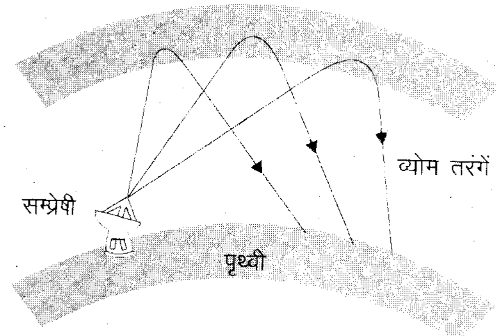

चित्र 17.13

पृथ्वी तल की वक्रता के कारण, सूक्ष्म तंरग संचरण की परास दूरी बहुत कम ($\approx 50\,km$) है। संचरण के साथ सूक्ष्म तरंगों की शक्ति कम होती जाती है, इस समस्या के निदान के लिए ग्राही एवं प्रेषी के बीच निश्चित अन्तरालों पर रिपीटर्स (रिपीटर मुख्यत: एक प्रवर्धक है जो दुर्बल संकेत की शक्ति को बढ़ाकर प्रेषित करता) का उपयोग करते हैं। इस कारण दो स्टेशनों के बीच इस विधा से सिग्नल भेजने पर संचरण की लागत बढ़ जाती है। सूक्ष्म तरंगों के संचरण में आने वाली समस्याओं के निवारण के लिए भू-तुल्यकाली उपग्रह संचार उपग्रह का उपयोग करते हैं।

### 17.5.3 व्योम तरंग संचरण (Sky Wave Propagation)

**पृथ्वी के किन्हीं दो बिन्दुओं के बीच लम्बी दूरी का संचार आयन मण्डल द्वारा विद्युत चुम्बकीय तरंगों के परावर्तन द्वारा संभव हो पाता है। इस प्रकार की तरंगों को व्योम तरंगे कहते हैं।**

लगभग कुछ MHz से 30 MHz– 40MHz के आवृत्ति परिसर में अधिक दूरी का संचार, रेडियो तरंगों के आयन मण्डलीय परावर्तन द्वारा पुन: पृथ्वी पर वापस लौटने के कारण संभव हो पाता है। इस प्रकार के संचार को व्योम तरंग संचरण कहते हैं। इस विधि में आयन मंडल की भूमिका होती है जो आकाश में पृथ्वी से ~65km से ~ 400km ऊँचाई तक फैला हुआ है। आयन मंडल में आवेशित कण (आयन) अत्यधिक संख्या में होते हैं। जब सूर्य से उच्च ऊर्जा युक्त विकिरण तथा पराबैंगनी किरणें वायु के सम्पर्क में आती हैं तो वायु के अणु आयनित हो जाते हैं। आयनों का संख्या घनत्व सम्पूर्ण वायुमण्डल में समान नहीं होता है जैसे-जैसे हम आयन मण्डल के भीतर जाते हैं संख्या घनत्व में वृद्धि होती है तथा आयन मण्डल का अपवर्तनांक मुक्त आकाश के अपवर्तनांक की तुलना में कम होता है अत: यह विरल माध्यम की तरह कार्य करता है। जब कोई तरंग आकाश से आयनमण्डल में प्रवेश करती है तो वह अभिलम्ब से परे विचलित होती है एवं एक ऊँचाई पर जाकर इसका पूर्ण आतंरिक परावर्तन हो जाता है। इस प्रकार आयन मण्डलीय परत 3MHz से 30MHz परिसर की आवृत्तियों के लिए परावर्तक की भाँति कार्य करती है। 30MHz से उच्च आवृत्ति की विद्युत चुम्बकीय तरंगें आयन मण्डल का भेदन कर पलायन कर जाती है अर्थात् परावर्तित नहीं होती हैं। इसी कारण T.V. संकेतों के प्रसारण में व्योम तरंगों का उपयोग नहीं किया जाता है क्योंकि T.V. संकेतों की आवृत्ति 30MHz से अधिक होती है। आयन मण्डल से परावर्तित होने के बाद व्योम तरंगें, प्रेषित्र से कुछ दूरी पर लौटती है जहाँ अभिग्राही ऐन्टिना लगाया जाता है।




चित्र 17.14

## महत्वपूर्ण तथ्य

**1. क्रांतिक आवृत्ति ($f_c$)**– रेडियो तरंगों की वह अधिकतम आवृत्ति जिस पर इन तरंगों का आयन मण्डल द्वारा परावर्तन संभव हो पाता है, क्रांतिक आवृत्ति कहते हैं।

यदि आयन मण्डल में किसी ऊँचाई के लिए इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम संख्या घनत्व $N_{max}$ हो तो

$$\text{क्रांतिक आवृत्ति } f_C = 9(N_{max})^{1/2}$$

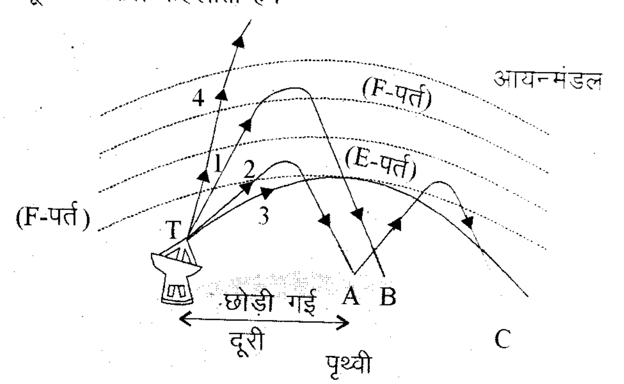
इसे **प्लाज्मा आवृत्ति** भी कहते हैं।

$f_c \approx$ 5 से 10MHz

$f_c$ का मान इलेक्ट्रॉन संख्या घनत्व $N_{max}$ पर निर्भर करता है।

इस आवृत्ति से अधिक आवृत्ति की तरंगें आयनमण्डल को भेदित कर इसके पार निकल जाती है।

**2. मूल अन्तराल या छोड़ी गयी दूरी (Skip Distance)**– प्रेषित्र एवं अभिग्राही ऐन्टिना के बीच पृथ्वी की सतह के अनुदिश नापी गयी दूरी मूल अन्तराल कहलाती है।




**3. उच्चवचन** : ग्राही सिरे पर व्यतिकरण के कारण संकेत की शक्ति में अधिकता व न्यूनता की क्रिया को उच्चवचन कहते हैं। उच्च आवृतियों पर उच्चवचन अधिक होती है। उच्चवचन के कारण आँकड़ों के संप्रेषण एवं प्राप्तीकरण में त्रुटियाँ आ जाती है।

**4. अधिकतम उपयोगी आवृति (MUF)** : रेडियो तरंग की वह अधिकतम आवृत्ति जिसे एक निश्चित आपतन कोण $\theta$ पर आयन मण्डल की ओर भेजा जाता है, तो वह परावर्तित होकर पृथ्वी पर वापस आ जाती है $MUF = \dfrac{f_c}{\cos\theta}$

5. आयनमण्डल का अपवर्तनांक प्रभावी रूप से 1 से कम होता है।

... है। पृथ्वी के चारों ओर स्थित भौतिक ...

**उदाहरण 12. एक TV मीनार (tower) की ऊँचाई 75m है। TV संप्रेषण कितनी अधिकतम दूरी तक तथा क्षेत्र में प्राप्त किया जा सकता है? पृथ्वी की त्रिज्या $6.4 \times 10^6$ m लें।**

**हल–** $d = \sqrt{2rh}$

$= \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 75}$

$= 3.1 \times 10^4 = 31 km$

अभिग्रहण क्षेत्र $= \pi d^2 = 3018 km^2$

**उदाहरण 13. किसी मीनार के शीर्ष पर स्थापित प्रेषक ऐन्टिना की ऊँचाई 32m तथा अभिग्राही ऐन्टिना की ऊँचाई 50m है। LOS विधा में संतोषजनक संचार के लिए दोनों ऐन्टिना के बीच की अधिकतम दूरी क्या है? (पृथ्वी की त्रिज्या = 6400 km)** **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.3**

**हल–दिया है–** प्रेषक ऐन्टिना की ऊंचाई $h_1 = 32$ मी., अभिग्राही ऐन्टिना की ऊँचाई, $h_2 = 50$ मीटर तथा पृथ्वी की त्रिज्या R = 6400 किमी. $= 64 \times 10^5$ मीटर

अतः दोनों ऐन्टिना के मध्य अधिकतम दूरी

$$d = \sqrt{2rh_1} + \sqrt{2rh_2}$$

$$\Rightarrow \quad d = \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 32} + \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 50}$$

$$\Rightarrow \quad d = 64 \times 10^2 \sqrt{10} + 80 \times 10^2 \sqrt{10}$$

$$= 144 \times 100 \times 3.161$$

या $\quad d = 455.184 \times 10^2$ मीटर $= 45.5$ किमी.

## 17.6 संचार तंत्र (Communication System)

**वह व्यवस्था जिसके द्वारा सूचनाओं का एक स्थान से सम्प्रेषण किया जाता है तथा फिर उसका दूसरे स्थान पर अभिग्रहण किया जाता है, संचार व्यवस्था कहलाती है।** वर्तमान में निम्नलिखित तीन प्रकृति की संचार व्यवस्था प्रयुक्त की जाती है— (a) विद्युतीय (b) इलेक्ट्रॉनिक तथा (c) प्रकाशीय। प्रत्येक संचार व्यवस्था के मुख्यत: निम्नलिखित तीन भाग या अवयव होते हैं—

(i) प्रेषित्र

(ii) संचार चैनल तथा

(iii) अभिग्राही

### (i) प्रेषित्र (Transmitter)

प्रेषित्र का मुख्य कार्य सूचना स्रोत द्वारा उत्पन्न संदेश संकेत को संसाधित कर संचार चैनल द्वारा प्रेषण के लिए उपयुक्त रूप में परिवर्तित कर अभिग्राही के लिए संप्रेषित करना होता है।

यदि किसी सूचना स्रोत का निर्गत, वाक् सिग्नल (ध्वनि संकेत) की भाँति अविद्युतीय हो तो ट्रांसड्यूसर द्वारा इस संदेश (सूचना) को प्रेषित्र में भेजने से पूर्व विद्युतीय संकेत में रुपांतरित कर दिया जाता है जिसे संदेश संकेत कहते हैं। अत: मूल संकेत से संदेश संकेत प्राप्त करने की प्रक्रिया प्रेषित्र व्यवस्था का मुख्य भाग होता है।

### (ii) संचार चैनल (Communication Channel)

संचार चैनल एक ऐसा भौतिक माध्यम है जो प्रेषित्र एवं अभिग्राही को एक दूसरे से संयोजित करता है अर्थात् प्रेषित्र व अभिग्राही के मध्य मार्ग उपलब्ध कराता है जिसके द्वारा संकेत का संचरण होता है। संचार चैनल को संचार माध्यम का लिंक भी कहते हैं।

चैनल का प्रकार संचार व्यवस्था के प्रकार पर निर्भर करता है यह प्रेषित्र तथा अभिग्राही को जोड़ने वाले एक तार अथवा केबल के रूप में हो सकता है अथवा बेतार (वायर लैस) भी हो सकता है।

जब कोई प्रेषित्र संकेत, संचार चैनल के अनुदशि संचारित होता है तब यह चैनल में अपूर्णता के कारण विकृत हो जाता है। इसके अतिरिक्त प्रेषित्र संकेत में शोर या रव (Noise) मिल जाता है। जिससे अभिग्राही पर प्रेषित्र संकेत का विकृत रूप प्राप्त होता है।

**विभिन्न चैनल**

| संचार के प्रकार | चैनल या लिंक |
|---|---|
| रेडियो संचार | मुक्त आकाश |
| टेलीफोन एवं टेलीग्राफी संचार | संचरण लाइन |
| प्रकाशीय संचरण | प्रकाशीय तंत |

### (iii) अभिग्राही (Receiver)

किसी अभिग्राही का मुख्य कार्य संकेत को प्रचालित करना होता है। यह इस सूचना संकेत की पुन: संरचना करके इसे मूल संदेश संकेत को पहचान सकने योग्य रूप में लाता है ताकि संदेश प्राप्तकर्ता को पहुँचाये जा सके अर्थात् किसी अभिग्राही का मुख्य कार्य संचार चैनल के निर्गत पर प्राप्त संकेत को वांछनीय संदेश संकेत अर्थात् पुन: उसके मूल स्वरूप में प्राप्त करना है।

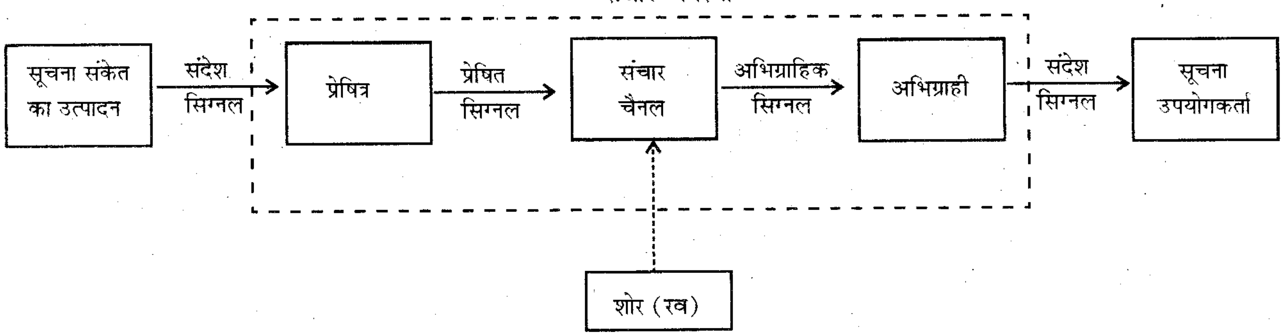
**व्याख्या**–जब एक व्यक्ति अपने समीप बैठे हुए किसी दूसरे व्यक्ति को कुछ बताना चाहता है या एक संदेश देना चाहता है तो वह बोलता है। बोलने वाला व्यक्ति सूचना के स्रोत एवं प्रेषित्र की तरह कार्य करता है और ध्वनि तरंगों को वायु के माध्यम (चैनल) से प्रेषित करता है। बोलने वाले व्यक्ति द्वारा उत्पन्न ध्वनि तरंगे ही सुनने वाले व्यक्ति तक पहुँचने वाले संकेत कहलाते हैं। दूसरी ओर दूसरा व्यक्ति इस संदेश को अपने कानों से सुनकर ग्रहण करता है अत: सुनने वाला व्यक्ति (उसके कान) अभिग्राही का कार्य करता है। यह एक सरलतम संचार तंत्र है।

सूचना के स्रोत (प्रेपित्र) तथा अभिग्राही के बीच बहुत अधिक दूरी होने पर स्रोत से उत्पन्न ध्वनि तरंगे, संचार माध्यम (हवा) में क्षीण हो जाती हैं और श्रोता (अभिग्राही) तक नहीं पहुँच पाती है। इस स्थिति में लम्बी दूरी तक सूचना को भेजने के लिए ध्वनि तरंगों को विद्युतीय संकेत में बदलकर लम्बे तारों द्वारा संचरित किया जाता है, जिस भाग से ध्वनि को प्रेषित करना होता है वहाँ पर एक माइक्रोफोन (ट्रांसड्यूसर) की सहायता से ध्वनि संकेत को विद्युतीय संकेत (धारा या वोल्टता संकेत) में परिवर्तित किया जाता है तथा अभिग्राही सिरे पर लाउडस्पीकर (ट्रांसड्यूसर) की सहायता से पुन: ध्वनि संकेत में बदल लिया जाता है।

जब स्रोत और अभिग्राही के बीच तारों अथवा केबल के माध्यम से विद्युतीय सम्पर्क सम्भव न हो तो पहले मूल संकेत को विद्युतीय संकेत में बदला जाता है फिर उसे प्रवर्धक के द्वारा प्रवर्धित करके अर्थात् संकेत की शक्ति को बढ़ाकर एक ऐन्टिना के द्वारा आकाश में भेजा जाता है। यहाँ पर मुक्त आकाश संचार-चैनल का कार्य करता है फिर दूर स्थित अभिग्राही अपने ऐन्टिना के द्वारा इसे ग्रहण कर पुन: ट्रांसडयूसर द्वारा मूल संकेत (संदेश) में बदल देता है।

निम्न चित्र में संचार व्यवस्था का ब्लॉक आरेख प्रदर्शित किया गया है–

संचार व्यवस्था




चित्र 17.15

**संचार विधाएँ (Modes of Communication)**

**( 1 ) बिन्दु-बिन्दु संचार (Point to point Communication)**— इस विधा में एक प्रेषक तथा एक ग्राही होता है। किसी व्यक्ति द्वारा भेजा गया संदेश या सूचना प्रेषक के माध्यम अथवा सम्पर्क द्वारा संचारित किया जाता है, जिसे ग्राही द्वारा प्राप्त कर लिया जाता है। उदाहरण-टेलीफोन व्यवस्था।

**( 2 ) प्रसारण (Broadcast)**— इस विधा में एक प्रेषक तथा अनेक ग्राही होते हैं। किसी प्रेषक द्वारा संदेश या सूचनाओं का प्रसारण किया जाता है, जिसे अनेक ग्राही प्राप्त करते हैं। उदाहरण-रेडियो तथा टेलीविजन।

## महत्वपूर्ण तथ्य

**इलेक्ट्रॉनिक संचार व्यवस्थाओं में उपयोग होने वाली मूल शब्दावली (Basic Terminology used in electronic communication systems)**

**(1) सूचना (Information)**— वह विचार/संदेश जिसे एक स्थान से दूसरे स्थान तक भेजा जाता है, सूचना कहलाती है। संदेश एकल या अनेक संदेशों से मिलकर बना हो सकता है।

**( 2 ) संकेत (Signal)**— किसी स्रोत द्वारा उत्पन्न संदेश या सूचना की प्रकृति विद्युतीय नहीं होती है।अत: स्रोत द्वारा उत्पन्न संदेश को एक ट्रांसड्यूसर द्वारा विद्युतीय संकेत में परिवर्तित कर दिया जाता है जिसे संदेश संकेत कहते हैं। यह सूचना को ले जाने वाला समय आश्रित एकल मानी फलन होता है। अत: प्रेषण के लिए उपयुक्त विद्युतीय रूप में रुपांतरित सूचना को संकेत कहते हैं।

संकेत मुख्यत: दो प्रकार के होते हैं-

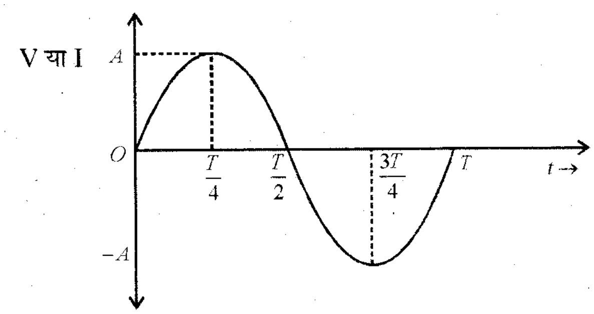
(i) अनुरूप संकेत तथा (ii) अंकीय संकेत

**(i) अनुरूप संकेत (Analog Signal)**— वह संकेत जिसमें धारा या वोल्टता, समय के साथ सतत् रूप से परिवर्तित होते रहते हैं, अनुरूप संकेत कहलाता है। यह संकेत, समय का सतत् फलन होता है तथा इसका आयाम भी सतत् होता है। ज्यातरंग एक मूल अनुरूप संकेत होती है इस प्रकार के संकेत को गणितीय रूप में निम्न समीकरण से व्यक्त कर सकते हैं—

$$F(t) = A\sin\omega t$$

अनुरूप संकेत के मान को व्यक्त करने के लिए आधार 10 पर दशमलव संख्या पद्धति का उपयोग किया जाता है। किसी भौतिक तरंग प्रतिरूप जैसे ध्वनि तरंग या प्रकाशीय तरंगों को विद्युतीय संकेत में बदलने पर ऐसे संकेत बनते हैं। यह परिवर्तन एक ट्रांसड्यूसर द्वारा किया जाता है।

टेलीविजन के ध्वनि तथा दृश्य संकेत प्रकृति में अनुरूप संकेत होते हैं तथा भाषण, संगीत, कम्पित स्वरित्र से उत्पन्न ध्वनि को माइक्रोफोन (ट्रांसड्यूसर) में भेजकर इससे समय के साथ परिवर्ती धारा या वोल्टता अनुरूप संकेत के रूप में प्राप्त करते हैं।



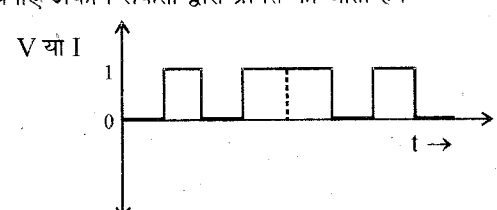

**(ii) अंकीय संकेत (Digital signal)**— वह संकेत जो समय के साथ सतत् रूप से परिवर्तित न होकर विविक्त रूप में अर्थात् स्पन्दों के रूप में होता है अंकीय संकेत कहलाता है।

अंकीय संकेत में वोल्टता या धारा केवल कुछ विविक्त समयों पर ही होती है तथा शेष समयों पर शून्य होती है अर्थात् धारा या वोल्टता के मान असतत् होते हैं।

अंकीय संकेत को आधार 2 पर द्विआधारी संख्या पद्धति द्वारा व्यक्त किया जाता है इसमें केवल दो स्तर होते हैं, जिन्हें 0,1 द्वारा व्यक्त किया जाता है यहाँ '0' तथा 1 बिट (Bit) कहलाते हैं। 0 निम्न वोल्टता-धारा स्तर के तदनुरुपी है तो 1 उच्च-वोल्टता धारा स्तर के अनुरूप होता है।

अंकीय संचार के लिए उपयोगी बहुत सी कोडन पद्धतियाँ हैं। एक कम्प्यूटर से प्राप्त निर्गत संकेत अंकीय संकेत का एक उदाहरण है।

पुस्तक में लिखे हुए अक्षर, किसी डाटा की सूचना, फैक्स (Fax) आदि सभी सूचनाएँ अंकीय संकेतों द्वारा प्रेषित की जाती है।




चित्र 17.3

**( 3 ) परिवर्तक (Converter)**— अनुरूप संकेत को अंकीय संकेत में अथवा अंकीय संकेत को अनुरूप संकेत में परिवर्तित किया जा सकता

है। वह युक्ति जो अनुरूप संकेत को अंकीय संकेत में परिवर्तित करती है, A/D परिवर्तक कहलाती है जबकि वह युक्ति जो अंकीय संकेत को अनुरूप संकेत में परिवर्तित करती है, D/A परिवर्तक कहलाती है।

**( 4 ) ट्रांसड्यूसर (Transducer)**— वह युक्ति जो ऊर्जा को एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित कर देती है उसे ट्रांसड्यूसर कहते हैं।

**विद्युतीय ट्रांसड्यूसर**— ऐसी युक्ति जो कुछ भौतिक राशियों (दाब, विस्थापन, बल, ताप आदि) को अपने निर्गत पर तदनुरुपी विद्युतीय संकेत के चरों में रुपांतरित कर देते हैं, विद्युतीय ट्रांसड्यूसर कहलाते हैं।

किसी स्रोत द्वारा उत्पन्न संदेश या सूचना को मूल रूप से एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजना संभव नहीं है, उसे ट्रांसड्यूसर द्वारा परिवर्ती विद्युत धारा या वोल्टता अर्थात् विद्युतीय संकेत में परिवर्तित कर दिया जाता है।

उदाहरण के लिए एक माइक्रोफोन ध्वनि संकेतों को विद्युतीय संकेतों में तथा लाउडस्पीकर विद्युतीय संकेतों को ध्वनि संकेतों में परिवर्तित करता है।

प्रकाश विद्युत सेल प्रकाश की तीव्रता में परिवर्तनों का धारा में अर्थात् विद्युतीय संकेत में परिवर्तित कर देता है।

**( 5 ) शोर ( रव ) (Noise)**— शोर से हमारा तात्पर्य उन अवांछनीय संकेतों से है जो किसी संचार व्यवस्था में संदेश संकेतों के प्रेषण तथा संसाधन में विक्षोभ का प्रयास करते हैं। अत: शोर एक अवांछित प्रभाव है जो बाह्य विद्युत प्रभाव के कारण अन्य आयाम अथवा अन्य आवृत्ति के संकेत की उपस्थिति से उत्पन्न हो सकता है। शोर उत्पन्न करने का स्रोत व्यवस्था के बाहर अथवा भीतर हो जाता है। उदाहरण के लिए टेलीफोन के ग्राही में चटचट की ध्वनि शोर के कारण होती है।

**( 6 ) क्षीणन या क्षीणता (Attenuation)**— संचार चैनल से संचरण के समय संकेत की ऊर्जा के अवशोषण के कारण संकेत की प्रबलता में क्षति को क्षीणता कहते हैं।

**( 7 ) विरूपण (Distortion)**— वह अवांछित प्रभाव जिसके अन्तर्गत संकेत की तरंग आकृति विरूपित हो जाती है, विरूपण कहलाता है।

**( 8 ) विघ्न (Interference)**— बाह्य संकेत की उपस्थिति से विघ्न उत्पन्न हो जाता है।

**( 9 ) प्रवर्धन (Amplification)**— संचार व्यवस्था में जब संकेत प्रेषक से ग्राही तक माध्यम से होकर गति करते हैं तब गतिकाल में इनमें क्षीणता हो जाती है इस क्षीणता के कारण होने वाले क्षय की क्षति पूर्ति के लिए प्रवर्धन आवश्यक है। अत: विद्युतीय संकेत के आयाम में वृद्धि करने की प्रक्रिया को प्रवर्धन कहते हैं। इसमें संकेत की आकृति व आवृत्ति में कोई परिवर्तन नहीं होता है।

यह किसी इलेक्ट्रॉनिक परिपथ जिसे प्रवर्धक (Amplifire) कहते हैं के उपयोग से किया जाता है। प्रवर्धक विद्युतीय संकेत को उच्च आवृत्ति की वाहक तरंगों पर अध्यारोपित करता है जिससे विद्युत संकेत (सूचना) को ले जाना संभव होता है अत: "प्रवर्धक वह युक्ति है जिससे प्राप्त निर्गत संकेत का आयाम दिए गये निवेशी संकेत के आयाम से अधिक प्राप्त होता है।"

संकेत के आयाम की वृद्धि में आवश्यक ऊर्जा की प्राप्ति प्रवर्धक में लगे DC विद्युत स्रोत से होती है।

प्रवर्धन, स्रोत तथा लक्ष्य के बीच उस स्थान पर किया जाता है जहाँ संकेत की प्रबलता, आपेक्षिक प्रबलता से दुर्बल हो जाती है।

**( 10 ) परास (Range)**— यह सूचना स्रोत तथा लक्ष्य के मध्य की वह अधिकतम दूरी है जहाँ तक संकेत को उसकी पर्याप्त प्रबलता से प्राप्त किया जाता है।

**( 11 ) पुन: परावर्तक (Repeater)**— संचार व्यवस्था में प्रेषक संकेतों की परास बढ़ाने के लिए मुख्य प्रेषी तथा मुख्य ग्राही के मध्य प्रेषकों तथा ग्राही के अनेक सैटों का प्रयोग किया जाता है इन मध्यवर्ती प्रेषक तथा ग्राहियों के सैट को पुन: परावर्तक कहते हैं।

पुन:परावर्तक मुख्य प्रेषी से प्राप्त संकेतों को प्रवर्धित कर उन्हें अभिग्राही को पुन: प्रेषित कर देता है।

पुन: परावर्तक का उपयोग संचार व्यवस्था की परास बढ़ाने के लिए किया जाता है। अंतरिक्ष में एक संचार उपग्रह, वास्तव में पुन:परावर्तक स्टेशन है।

## 17.7 मॉडुलन (Modulation)

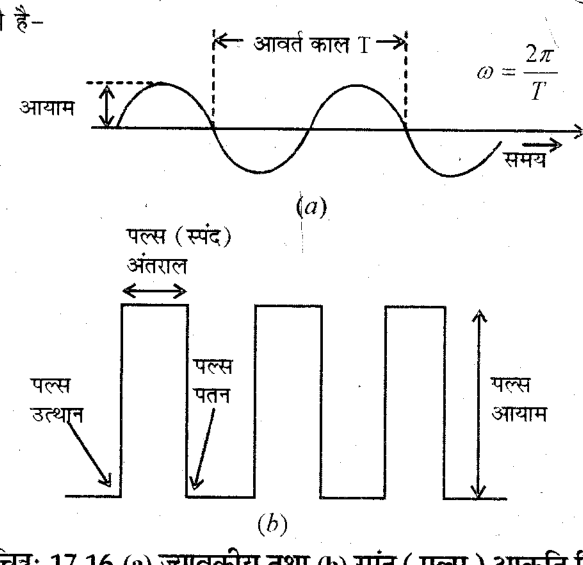
किसी संचार व्यवस्था का उद्देश्य सूचना या संदेश संकेत को प्रेषित करना है। संदेश संकेतों को आधार बैण्ड संकेत भी कहते हैं जो आवश्यक रूप से उस मूल संकेत द्वारा निरुपित आवृत्ति बैण्ड को निर्दिष्ट करता है जिसे सूचना स्रोत द्वारा प्रदान किया गया है। व्यापक रूप से कोई भी संकेत एकल आवृत्ति का ज्यावक्रीय नहीं होता, बल्कि वह एक आवृत्ति परिसर में फैला हुआ होता है। जिसे संकेत बैण्ड चौड़ाई कहते हैं।

ध्वनि तरंगों की आवृत्ति 20Hz से 20KHz के परास में होती है। हम इस आवृत्ति परास की श्रव्य तरंगों को बहुत अधिक दूरी तक सीधे ही प्रेषित नहीं कर सकते जिसके प्रसारण संभव नहीं होने के कारणों तथा उपयोग का हम अध्ययन करेंगे।

**वह प्रक्रिया जिसके द्वारा उच्च आवृत्ति की वाहक तरंग के साथ संदेश या सूचना संकेत को संलग्न अर्थात् अध्यारोपित किया जाता है मॉडुलन (Modulation) कहलाती है।**

**मॉडुलन के द्वारा सूचना या संदेश संकेत जिसे मॉडुलक तरंग (Modulating wave) संकेत कहते हैं को उपयुक्त आवृत्ति के संकेत अर्थात् वाहक तरंग संकेत में बदल कर विकिरत कर दिया जाता है मॉडुलन के उपरान्त तरंग को मॉडुलित तरंग (Modulated wave) संकेत कहते हैं।**

वाहक तरंग सतत् (ज्यावक्रीय) अथवा स्पंद के रूप में चित्रानुसार हो सकती है-




**चित्र: 17.16 (a) ज्यावक्रीय तथा (b) स्पंद ( पल्स ) आकृति सिग्नल**

किसी ज्यावक्रीय वाहक तरंग को इस प्रकार निरुपित किया जा सकता है-

$$e_c = E_c \sin(\omega_c t + \phi)$$

जहाँ $e_c$ संकेत की तीव्रता (वोल्टता या धारा), $E_c$ = आयाम, $\omega_c$ (= $2\pi f_c$) कोणीय आवृत्ति तथा $\phi$ वाहक तरंग की प्रारम्भिक कला है।

मॉडुलन की प्रक्रिया में इन तीनों प्राचलों में से वाहक तरंग के किसी भी एक प्राचल $E_c$, $\omega_c$ तथा $\phi$ को सूचना या संदेश संकेत द्वारा नियंत्रित किया जा सकता है।

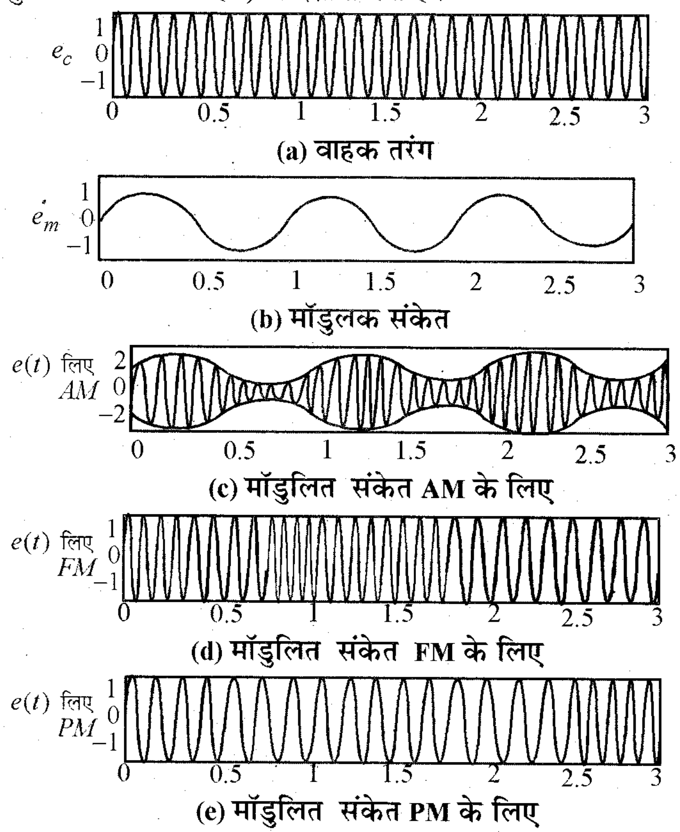
इस आधार पर तरंग का मॉडुलन तीन प्रकार से किया जा सकता है

(i) आयाम मॉडुलन (AM)

(ii) आवृत्ति मॉडुलन (FM)

(iii) कला मॉडुलन (PM)

इन प्रकारों का मॉडुलन निम्न चित्र (ज्यावक्रीय वाहक तरंग संकेत तथा मॉडुलक तरंग संकेत सहित) में दर्शाया गया है।




**चित्र 17.17 : ज्यावक्रीय वाहक तरंग का मॉडुलक तरंग से आयाम, आवृत्ति तथा कला मॉडुलन**

**(i) आयाम मॉडुलन (Amplitude Modulation)**–आयाम मॉडुलन में वाहक तरंग संकेत का आयाम, मॉडुलक संकेत (सूचना संकेत) के अनुरूप परिवर्तित होता है जैसा चित्र (c) में दर्शाया गया है। उच्च आवृत्ति की वाहक तरंग चित्र (a) में तथा न्यून आवृत्ति सूचना संकेत (मॉडुलक संकेत) चित्र (b) में दर्शाया गया है।

सूचना संकेत स्थानान्तरित वाहक तरंग (मॉडुलित तरंग) का आयाम नियत नहीं रहता है। इसका आयाम मॉडुलक तरंग के आयाम के साथ क्रमश: घटता है एवं बढ़ता है। अत: मॉडुलित तरंग का आयाम स्थिर नहीं रहता है। बल्कि इस तरंग के आवरण में वही ज्यावक्रीय परिवर्तन प्राप्त होता है जैसा न्यून आवृत्ति मॉडुलक तरंग में है अर्थात् मॉडुलित तरंग, न्यून आवृत्ति तरंग की सूचना संकेत से भारित होते हैं।

**(ii) आवृत्ति मॉडुलन (Frequency Modulation)**–इस प्रकार के माडुलन में [चित्र (d)] वाहक तरंग संकेत की आवृत्ति में मॉडुलक तरंग के आयाम के साथ संगत परिवर्तन होता है। चित्र से स्पष्ट है कि मॉडुलित तरंग का आयाम अपरिवर्ती है जबकि आवृत्ति में परिवर्तन हो रहा है। यदि किसी क्षण मॉडुलक तरंग संकेत का आयाम (वोल्टता) अधिक है तो उस क्षण मॉडुलित वाहक तरंग संकेत की आवृत्ति अधिक है (यह आवृत्ति कम होगी यदि मॉडुलक वोल्टता कम हो)। इसका उपयोग TV प्रसारण में किया जाता है।

**(iii) कला मॉडुलन (Phase Modulation)**–इस मॉडुलन में वाहक तरंग संकेत का कला कोण $\phi$ मॉडुलक वोल्टेज के अनुरूप परिवर्तित होता है। चित्र (e) में कला परिवर्तन सीधे-सीधे प्रकट नहीं है। चित्र में मॉडुलक तरंग के आयाम के संगत मॉडुलित तरंग संकेत के आवृत्ति में परिवर्तन होता प्रतीत होता है। इसका कारण है कि कला कोण में आवृत्ति पद $\omega$ (तरंग का ज्यावक्रीय समीकरण देखें) समाहित है।

ध्वनि संकेतों के व्यावसायिक प्रसारण में आयाम मॉडुलन का बहुतायत में प्रयोग होता है। यहाँ वाहक तरंग की आवृत्ति 0.5 से 2.0 MHz परास में से चुनी जाती है। सामान्यत: AM मॉडुलित तरंगों में पर्याप्त शोर (Noise) होता है क्योंकि प्राकृतिक विद्युतीय घटनाएँ (यथा वातावरण में विद्युत तड़ित) या कृत्रिम विद्युतीय शोर संकेत इस पर अत्यधिक प्रभाव डालते हैं। आवृत्ति मॉडुलन (FM) प्रेषण बेहतर गुणवता युक्त है तथा इसकी बैण्ड चौड़ाई भी अधिक होती है। FM संकेतों में सूचना या संदेश आवृत्ति परिवर्तन के रूप में रहती है अत: वायुमण्डलीय अथवा कृत्रिम शोर (जो सामान्यत: आयाम परिवर्तन के रूप में होता है) इस पर अधिक प्रभावी नहीं है। FM का प्रयोग संगीत संप्रेषण में इसीलिए अधिक उपयुक्त है। निम्न सारणी में व्यावसायिक FM रेडियो तथा टेलीविजन के प्रसारण हेतु निर्धारित आवृत्तियों के परास का उल्लेख है–

**सारणी : FM रेडियो तथा TV प्रसारण हेतु विनिर्दिष्ट आवृत्ति परास**

| प्रसारण का प्रकार | आवृत्ति बैंड |
|---|---|
| FM रेडियो | 88 से 108 MHz |
| VHF TV | 47 से 230 MHz |
| UHF TV | 470 से 960 MHz |

### 17.7.1 मॉडुलन की आवश्यकता (Need of Modulation)

**(i) ऐन्टिना अथवा ऐरियल का साइज (Size of the antenna or aerial)**

सिग्नलों के संप्रेषण के लिए हमें किसी ऐन्टिना या ऐरियल की आवश्यकता होती है। यह किसी चालक का टुकड़ा होता है जिसके द्वारा लंबी दूरियों तक संप्रेषण के लिए संकेतों को आकाश में विकिरत किया जाता है। विद्युत चुम्बकीय तरंगों को प्रसारित करने के लिए प्रयुक्त ऐन्टिना की लम्बाई सम्प्रेषित की जाने वाली तरंगों के तरंगदैर्ध्य की कोटि की होना चाहिए। (सम्प्रेषण ऐन्टिना की न्यूनतम ऊँचाई $\lambda/4$ के बराबर होनी चाहिए।) श्रव्य तरंगों की आवृत्ति चूंकि 20Hz से 20KHz है अर्थात् इनकी तरंगदैर्ध्य

$$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{3\times10^8}{20} = 1.5\times10^7 \text{ मी. से } \frac{3\times10^8}{20000} = 1.5\times10^4 \text{ मी. है।}$$

अत: श्रव्य आवृत्ति की विद्युत चुम्बकीय तरंगों को प्रसारित करने के लिए ऐन्टिना की लम्बाई लगभग $1.5 \times 10^7$ मी. से $1.5 \times 10^4$ मी. की कोटि की होनी चाहिए जो कि व्यवहार में संभव नहीं है। अत: ऐसे आधार बैण्ड संकेतों का सीधा प्रेषण व्यवहारिक नहीं है। इसके विपरीत रेडियो तरंगों (जिनकी आवृत्ति मेगा हर्ट्ज की कोटि की है) की तरंग दैर्ध्य लगभग $10^2$ मी. की कोटि की होती है, अत: इन्हें प्रसारित करने के लिए इतनी लम्बाई का ऐन्टिना आसानी से लिया जा सकता है।

उदाहरण के लिए 1MHz के सिग्नल के लिए आवश्यक ऐन्टिना की ऊँचाई

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{1}{4}\left(\frac{c}{n}\right)$$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{3\times10^8}{10^6} = 75 \text{ मी.}$$

इस लम्बाई के ऐन्टिना का निर्माण आसानी से किया जा सकता है।

अत: हमारे न्यून आवृत्ति आधार बैण्ड सिग्नल में निहित सूचना को प्रेषण से पूर्व उच्च रेडियो आवृत्तियों में रुपांतरित करने की आवश्यकता होती है।

**(ii) किसी ऐन्टिना द्वारा प्रभावी शक्ति विकिरण**

**(Effective power radiated by an antenna)**

किसी $l$ लम्बाई के रेखीय ऐन्टिना द्वारा विकिरत शक्ति $\propto \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$

अर्थात् समान लम्बाई के ऐन्टिना के लिए, तरंगदैर्ध्य के कम होने पर विकिरत शक्ति के मान में वृद्धि होती है। अधिक क्षेत्र में प्रसारण के लिए विकिरत शक्ति भी अधिक होनी चाहिए जो कि अधिक आवृत्ति की स्थिति में ही संभव है।

अत: अच्छे प्रेषण के लिए उच्च आवृत्ति के उपयोग की आवश्यकता होती है।

**(iii) विभिन्न प्रेषित्रों से प्राप्त सिग्नलों का मिश्रण**

**(Mixing up of signals from different transmitters)**

संचार तंत्र का कार्य सूचना या संदेश संकेतों को एक स्थान से दूसरे स्थान तक प्रेषित करना है परन्तु इन आधार बैण्ड संकेतों को सीधे ही प्रेषित नहीं किया जा सकता है। माना बहुत से व्यक्ति एक ही समय पर बातचीत कर रहे हैं अथवा एक ही क्षण कई प्रेषित आधार बैण्ड सूचना संकेत प्रेषित कर रहे हैं। ये सभी संकेत एक दूसरे के साथ मिल जाते हैं ताकि उनमें विभेदन करने का कोई सरलतम उपाय नहीं है। इसके हल के रूप में उच्च आवृत्तियों पर एक ऐसे संचार के उपयोग की ओर संकेत करता है जिसमें प्रत्येक संदेश संकेत के प्रेषण के लिए आवृत्तियों का एक बैण्ड (स्पैक्ट्रम) आवंटित किया जाता है।

अत: न्यून आवृत्ति के मूल आधार बैण्ड या सूचना संकेत का प्रेषण से पूर्व किसी उच्च आवृत्ति तरंग में रूपान्तरण आवश्यक है। रुपांतरण की प्रक्रिया इस प्रकार से हो कि रुपांतरित संकेत में उन सभी सूचनाओं का समावेश रहे जो मूल संकेत में था। इसके लिए हम उच्च आवृत्ति के रेडियो संकेतों की सहायता लेते हैं, जिसे वाहक तरंग कहते हैं।

### 17.7.2 आयाम मॉडुलन (Amplitude Modulation)

माना कि मॉडुलक सिग्नल का समीकरण निम्न है—

$$e_m = E_m \sin \omega_m t \quad .....(i)$$

जहाँ $e_m$ मॉडुलक सिग्नल का तात्क्षणिक मान,

$E_m$ आयाम तथा $\omega_m (= 2\pi f_m)$ कोणीय आवृत्ति है।

इसी प्रकार वाहक तरंग का समीकरण निम्न हैं-

$$e_c = E_c \sin \omega_c t \quad ....(2)$$

आयाम मॉडुलन में मॉडुलित तरंग की आवृत्ति और कला, वाहक तरंग की आवृत्ति व कला के समान होती है।

तब मॉडुलित तरंग के समीकरण को निम्नानुसार लिखा जा सकता है-

$$e(t) = [E_c + E_m \sin \omega_m t] \sin \omega_c t$$

$$= E_c \left[1 + \frac{E_m}{E_c} \sin \omega_m t\right] \sin \omega_c t \quad ...(3)$$

अब सूचना या संदेश संकेत मॉडुलित संकेत में निहित है-

$$e(t) = E_c \sin \omega_c t + \mu E_c \sin \omega_c t \sin \omega_m t \quad ...(4)$$

जहाँ $\mu = \frac{E_m}{E_c}$ **मॉडुलन सूचकांक (modulation index) या मॉडुलन गुणांक (modulation factor), या मॉडुलन की गहराई कहते हैं।**

मॉडुलक संकेत के आयाम तथा वाहक संकेत के आयाम के अनुपात को मॉडुलन सूचकांक कहते हैं।

विरुपण से बचाव के लिए $\mu \le 1$ रखा जाता है।

**आवृत्ति वर्णक्रम (Frequency spectrum)**

समीकरण (4) को हल करने पर

$$e(t) = E_c \sin \omega_c t + \frac{\mu E_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\mu E_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t \quad ...(5)$$

त्रिकोणमितीय सूत्र की सहायता से

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2}[\cos(A-B) - \cos(A+B)]$$

समीकरण (5) से स्पष्ट है कि आयाम मॉडुलित तरंग में तीन आवृत्तियाँ $\omega_c, (\omega_c - \omega_m)$ तथा $(\omega_c + \omega_m)$ उपस्थित होती है। जिनके आयाम क्रमश: $E_c, \frac{\mu E_c}{2}$ तथा $\frac{\mu E_c}{2}$ होते हैं।

आवृत्ति $(\omega_c - \omega_m)$ तथा $(\omega_c + \omega_m)$ को क्रमश: निम्न पार्श्व आवृत्ति तथा उच्च पार्श्व आवृत्ति कहते हैं। इस प्रकार मॉडुलित संकेत में $\omega_c$ आवृत्ति की वाहक तरंग के साथ दो ज्यावक्रीय तरंगें भी निहित होती है जिनकी आवृत्तियाँ कुछ भिन्न होती है।

इस प्रकार वाहक तरंग के दोनों ओर पार्श्व आवृत्तियों का समूह प्राप्त होता है। पार्श्व आवृत्तियों के इन समूहों को पार्श्व बैण्ड (Side Band) कहते हैं।

वाहक तरंग से उच्च आवृत्ति की ओर वाले समूह को उच्च पार्श्व बैण्ड (USB) कहते हैं तथा निम्न आवृत्ति की ओर वाले समूह को निम्न पार्श्व बैण्ड (LSB) कहते हैं।

मॉडुलक संकेत इन्हीं दोनों पार्श्व बैण्डों में निहित होता है।

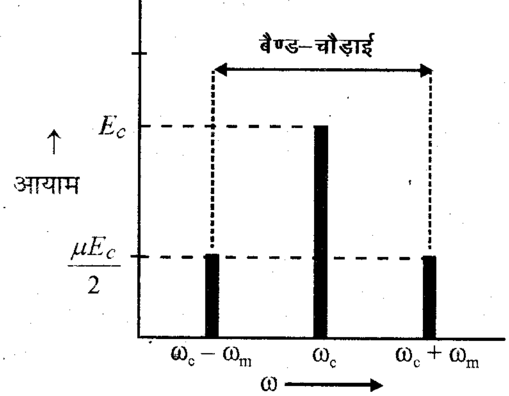
बैण्ड की कोणीय चौड़ाई= $(\omega_c + \omega_m) - (\omega_c - \omega_m)$

$$= 2\omega_m$$

$\therefore$ बैण्ड चौड़ाई $= \dfrac{2\omega_m}{2\pi} = 2f_m$

अतः आयाम मॉडुलन में बैण्ड चौड़ाई मॉडुलक तरंग की आवृत्ति के दोगुने के बराबर होती है।

आयाम मॉडुलित तरंग की आवृत्ति तथा उसके संगत आयाम को प्रदर्शित करने वाले ग्राफ को आवृत्ति वर्णक्रम कहते हैं।

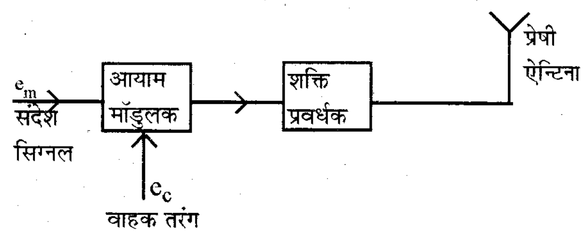



**चित्र 17.18 : आवृत्ति वर्णक्रम**

इस स्थिति में प्रसारित आवृत्तियाँ (वाहक तरंगें) पर्याप्त दूरियों पर रखी जाती हैं ताकि पार्श्व बैण्ड एक दूसरे पर अतिव्यापित न हो, विभिन्न स्टेशन एक दूसरे में बिना बाधा पहुँचाए प्रचालित हो सकें।

### 17.7.3 आयाम मॉडुलित तरंगों का संप्रेषण तथा अभिग्रहण (Transmission and Reception of Amplitude Modulated Waves)

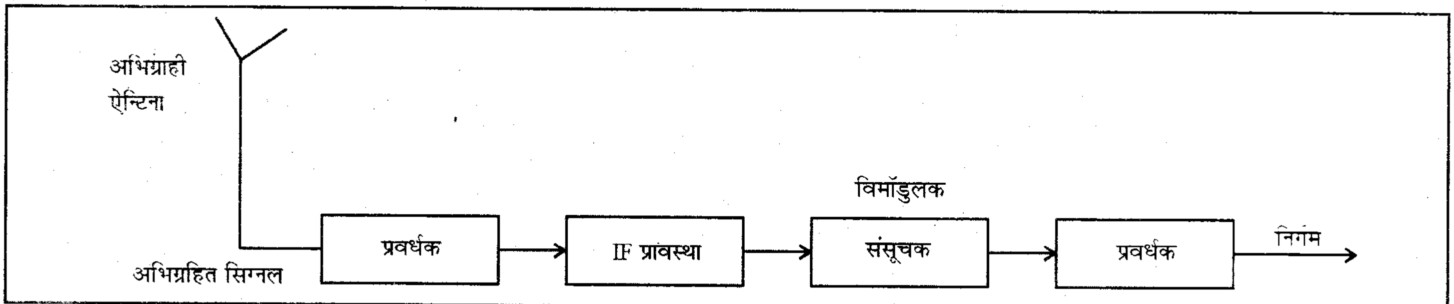
मॉडुलित सिग्नल को सीधे ही प्रेषित नहीं किया जा सकता है बल्कि पहले उसे शक्ति प्रवर्धक में से गुजार कर प्रवर्धित किया जाता है तथा अन्त में इसे उपयुक्त आकार के ऐन्टिना को प्रदान कर दिया जाता है जो कि सिग्नल को विकिरत कर देता है।




**चित्र 17.19 : प्रेषित्र का ब्लॉक-आरेख**

अभिग्राही सिरे पर की गयी व्यवस्था अथवा अभिग्राही का प्रारूप (design) इस बात पर निर्भर करता है कि प्रेषी द्वारा कौनसी प्रक्रिया का उपयोग किया गया है, अनुरूप (Analog), या आंकिक (Digital)

चैनल से प्रसारण में प्रेषित संदेश क्षीण हो जाता है अतः प्रेषी द्वारा प्रेषित मॉडुलित तरंग को अभिग्राही ऐन्टिना ग्रहण करता है जिसे प्रवर्धक द्वारा प्रवर्धित किया जाता है साथ ही संसाधन की सुविधा के लिए वाहक आवृत्ति को प्रायः किसी मध्य आवृत्ति (IF) चरण पर संसूचन से पूर्व निम्न आवृत्ति में परिवर्तित कर लेते हैं। संसूचित संकेत इतना प्रबल नहीं होता है कि उसका उपयोग किया जा सके, अतः उसे प्रवर्धित करने की आवश्यकता होती है। इस प्रकार विमॉडुलक प्राप्त संकेत से पुनः मूल संकेत प्राप्त कर लेता है। चित्र में एक अभिग्राही की व्यवस्था अर्थात् किसी प्रारूपी अभिग्राही का ब्लॉक आरेख दर्शाया गया है।




**चित्रः 17.20 : अभिग्राही का ब्लॉक-आरेख**

**उदाहरण 14. 10kHz आवृत्ति तथा 10V शिखर वोल्टता के संदेश सिग्नल का उपयोग किसी 1 MHz आवृत्ति तथा 20V शिखर वोल्टता की वाहक तरंग को मॉडुलित करने में किया गया है। (a) मॉडुलन सूचकांक तथा (b) उत्पन्न पार्श्व बैण्ड ज्ञात कीजिए।**

हल–दिया है-संदेश सिग्नल की आवृत्ति $f_m = 10$ किलो हर्ट्ज तथा

वोल्टता आयाम $E_m = 10$ वोल्ट

वाहक तरंग की आवृत्ति $f_c = 1$ मेगा हर्ट्ज तथा

वोल्टता आयाम $E_c = 20$ वोल्ट

अतः (a) मॉडुलन सूचकांक $\mu = \dfrac{E_m}{E_c} = \dfrac{10}{20} = 0.5$

(b) पार्श्व बैण्ड $= (f_c \pm f_m) = (1\times 10^3 \pm 10)$ किलो हर्ट्ज

$= 1010$ किलोहर्ट्ज तथा $990$ किलो हर्ट्ज

**उदाहरण 15. 12V शिखर वोल्टता की वाहक तरंग का उपयोग किसी संदेश सिग्नल के प्रेषण के लिए किया गया है। मॉडुलन सूचकांक 75% के लिए मॉडुलक सिग्नल की शिखर वोल्टता कितनी होनी चाहिए?**

**पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.4**

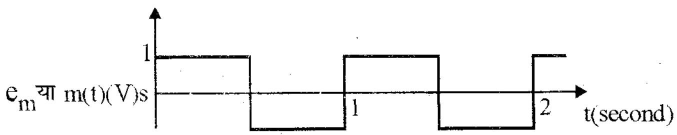
हल–दिया है- वाहक तरंग की शिखर वोल्टता $E_c = 12$ वोल्ट

मॉडुलक सूचकांक $\mu = 75\% = \dfrac{75}{100} = \dfrac{3}{4}$

$\because \mu = \dfrac{E_m}{E_c} \Rightarrow E_m = \mu E_c = \dfrac{3}{4}\times 12 = 9$ वोल्ट

अत: मॉडुलक तरंग की शिखर वोल्टता = 9 वोल्ट

**उदाहरण 16. चित्र में दर्शाए अनुसार कोई मॉडुलक सिग्नल वर्ग तरंग है।**




**चित्र 17.21**

**दिया गया है कि वाहक तरंग $e_c$ या c(t) = 2 sin (8πt)V**

**(i) आयाम मॉडुलित तरंग रूप आलेखित कीजिए।**

**(ii) मॉडुलन सूचकांक क्या है?**

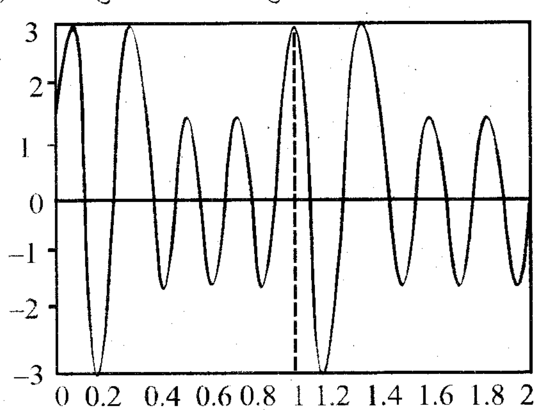
**हल**-चित्र से स्पष्ट है कि मॉडुलक तरंग की आवृत्ति

$$f_m = \frac{1}{T} = \frac{1}{1} = 1 \text{ हर्ट्ज}$$

तथा समीकरण c(t) = 2 sin (8πt) से

वाहक तरंग की आवृत्ति $f_c = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{8\pi}{2\pi} = 4$ हर्ट्ज

(i) अत: मॉडुलित तरंग निम्नानुसार होगी-




**चित्र 17.22**

(ii) ∵ $E_m = 1$ तथा $E_c = 2$

अत: मॉडुलक सूचकांक $\mu = \frac{E_m}{E_c} = \frac{1}{2}$

या $\mu = 0.5$

**उदाहरण 17. आयाम मॉडुलन के पश्चात वाहक तरंग का आयाम 5 V व 2 V के मध्य होता है। मॉडुलन की गहराई ज्ञात कीजिए।** **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 17.5**

**हल**-दिया गया है: $E_{max} = 5V$ तथा $E_{min} = 2V$

मॉडुलन सूचकांक $\mu = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} = \frac{5-2}{5+2} = \frac{3}{7}$

या $\mu = \frac{3}{7} \times 100\% = 42.8\%$

**उदाहरण 18. आर्थिक कारणों से किसी AM तरंग का केवल ऊपरी पार्श्व बैण्ड ही प्रेषित किया जाता है, परंतु ग्राही स्टेशन पर वाहक तरंग उत्पन्न करने की सुविधा होती है। यह दर्शाइए कि यदि कोई ऐसी युक्ति उपलब्ध हो जो दो सिग्नलों की गुणा कर सके, तो ग्राही स्टेशन पर मॉडुलक सिग्नल की पुनःप्राप्ति संभव है।**

**हल**-माना अभिग्राही पर मॉडुलित संकेत

$e_r = E_r \cos(\omega_c + \omega_m)t$ है।

तथा वाहक संकेत $e_c = E_c \cos \omega_c t$ है।

दोनों संकेतों को गुणा करने पर

$$e = E_r E_c \cos(\omega_c + \omega_m)t \cos \omega_c t$$

$$[\because 2\cos A \cos B = \cos(A+B) + \cos(A-B)]$$

$$e = \frac{E_r E_c}{2}[\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t]$$

इस संकेत को लो-पास फिल्टर से गुजारने पर उच्च आवृत्ति घटक cos $(2\omega_c + \omega_m)$ रूक जायेगा तथा प्राप्त संकेत $\frac{E_r E_c}{2}\cos \omega_m t$ होगा जोकि मॉडुलक संकेत है।

## 16.8 नैनोतकनीकी (Nanotechnology)

नैनोविज्ञान तकनीकी विज्ञान की वह शाखा है जिसमें 100 nm से छोटी वस्तुओं का अध्ययन किया जाता है। मानव का बाल लगभग 60000 से 80000 nm मोटाई का होता है इससे हम नैनोतकनीकी की सूक्ष्मता का आभास कर सकते है। वैज्ञानिकों ने नैनो आकार के विभिन्न कण तथा पतली फिल्मों की खोज की है जिनके गुण उसी वस्तु के स्थूल आकार गुण से भिन्न है। इन नैनो कणों एवं फिल्मों आदि से बेहतर संरचना, उपकरण एवं पदार्थ बनाए जाने की अन्तहीन संभावनाएँ है। नैनोतकनीकी में निम्न तीन गुणों का समावेश माना गया है–

1. 100 nm या उससे कम का आकार।
2. सूक्ष्म आकार के कारण अद्वितीय गुण।
3. संरचना एवं गुणों पर नैनो मीटर स्केल तक नियंत्रण।

प्रकृति में नैनो संरचना के अनेक उदाहरण है जैसे उत्प्रेरक, सरन्ध्री कण, कुछ विशेष खनिज आदि जिनमें नैनो स्तर पर भिन्न गुण पाए गए है। पिछले दशक में नैनोतकनीकी के क्षेत्र में हुए नवाचरों से इन संरचनाओं को समझ कर इनके गुणों को नियंत्रि कर नए क्रियात्मक अभियंत्रि पदार्थ (functional enginnered materials) एवं युक्तियाँ (devices) बनाना संभव हो रहा है।

नैनो तकनीकी के क्षेत्र में पिछले 40 वर्षो में नैनो एवं माइक्रो लिथोग्राफी (Lithography) की तकनीक विकसित हुई है। यह तकनीक माइक्रो–इलेक्ट्रोनिकी क्रान्ति की जनक बनी है। इस तकनीक से ऐसे जटिल माइक्रो प्रोसेसर बनाए गए है जिनमें कई करोड़ नैनो संरचनाओं का समावेश किया गया है जिसके कारण इन माइक्रो–प्रोसेसर का आकार घटते हुए इनकी दक्षता कई सौ गुना बढ़ी है। पिछले कुछ वर्षो में नैनो तकनीक से सूक्ष्म यान्त्रिकी, सूक्ष्म प्रकाशीय युक्तियाँ भी बनाई गई है।

नैनो तकनीकी की एक अन्य शाखा आणविक एवं रसायनिक तकनीकी है जिसमें परमाणुओं के रसायनिक गुणों पर नियंत्रण का कार्य चल रहा है जिससे अनेक उपभोक्ता उत्पादनों में वांछनीय परिवर्तन की संभावनाएँ प्रबल हुई है।

### 17.8.1 प्रकृति में नैनो संरचनाएँ (Nano Structures in Nature)

यदि हम अपने निकट पौधों एवं जन्तुओं का सूक्ष्मता से प्रेक्षण करे तो पाएंगे कि इनमें नैनो स्तर पर कुछ विशेषताएँ है इनके कुछ उदाहरण इस प्रकार है–

1. कीटो की आँख पर बहुत छोटे–छोटे उभार होते है जो षट्कोणीय आकार के कुछ सौ नैनोमीटर लम्बे होते है इनका आकार दृश्य प्रकाश (380–780 nm) से छोटा है इसलिए इनकी आँखों के द्वारा दृश्य प्रकाश की परावर्तकता बहुत कम होती है और ये कीट अधिक प्रकाश अवशोषित करने के कारण मनुष्य के मुकाबले अल्प प्रकाश में बेहतर देख पाते है। वैज्ञानिकों ने इसी प्रकार की नैनो संरचना बनाई है जो अधिक अवरक्त प्रकाश को अवशोषित कर सकती है। इन संरचनाओं को थर्मो–वोल्टाईक सैल में उपयोग कर इसकी दक्षता बढ़ाई जा सकती है।

2. तितली के पंखों पर बहुपरतीय नैनो पैटर्न होते है। ये संरचनाएँ प्रकाश को फिल्टर कर एक विशेष तरंग दैर्ध्य वाले प्रकाश को परावर्तित कर देती है। तितली के पंखों की नैनो संरचना का आकार दृश्य प्रकाश की तरंग दैर्ध्य की कोटि का होता है इसी कारण इसकी बहुपरतीय सतह पर प्रकाशीय व्यतिकरण होता है। वैज्ञानिक इस परिघटना को प्रकाश के रंगो की विवेचना में उपयोग कर रहे है।

3. एडेलवाइस (Edelweiss) एक अल्पाइन (Alpine) पादप है जो उच्च पर्वतीय क्षेत्रें में पाया जाता है जहाँ पराबैंगनी विकिरण अधिकता में पाए जाते है। इस पादप का पुष्प 100 से 200 nm के नैनो आकार के खोखले तन्तुओं से ढ़का होता है जो उसके आकार की पराबैंगनी किरणों को अवशोषित कर दृश्य प्रकाश को परावर्तित करता है जिस कारण यह सफेद रंग का नजर आता है। इन्हीं नैनो संरचना के कारण पुष्प का उच्च ऊर्जा विकिरण से बचाव होता है। इसके आधार पर वैज्ञानिकों द्वारा उच्च ऊर्जा विकिरण से होने वाली हानियों को रोकने वाली युक्तियों को बनाया जा रहा है।

### 17.8.2 नैनो संरचनाओं का प्रेक्षण (Observations of Nano Structures)

नैनो संरचनाओ के अध्ययन के लिए सामान्य सूक्ष्मदर्शी उपयुक्त नहीं है। इन संरचनाओं के अध्ययन के लिए कुछ जटिल उपकरण उपयोग में लाते है। इनमें कुछ प्रमुख है–

#### (i) प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी (Optical Microscope)

इस प्रकार के सूक्ष्मदर्शी के द्वारा लगभग 250 nm तक की संरचनाओं का अध्ययन किया जा सकता है जो कि वास्तविक नैनो संरचना से काफी अधिक है। यही इस सूक्ष्मदर्शी की सीमा है।

#### (ii) इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी (Electron Microscope)

इस प्रकार के सूक्ष्मदर्शी में दृश्य प्रकाश के स्थान पर इलेक्ट्रॉन पुँज का उपयोग किया जाता है जिससे कुछ नैनोमीटर तक की संरचना का अध्ययन संभव है।

#### (iii) स्केनिंग प्रोब सूक्ष्मदर्शी (Scanning Probe Microscope)

इस प्रकार के सूक्ष्मदर्शी की सतह पर एक भुजा के सिरे पर अत्यन्त बारीक प्रोब लगी होती है जिसकी गति से 1 nm तक की संरचना का अध्ययन संभव होता है।

ठोस अवस्था भौतिकी, रसायन विज्ञान विद्युत अभियान्त्रिकी, जैव रसायनिकी सहित विज्ञान की लगभग सभी शाखाओं में नैनो तकनीकी महत्वपूर्ण शोध का विषय है। आगामी वर्षो में इस तकनीकी क्रान्ति से हमारी अर्थ व्यवस्था एवं जीवन शैली पर गहरा प्रभाव पड़ेगा।

## महत्वपूर्ण तथ्य

1. संचार माध्यम दो प्रकार का होता है—
   **(i) निर्देशित माध्यम**- जैसे ट्विस्टीय लाइन, समाक्ष केबल व प्रकाशीय तंतु।
   **(ii) अनिर्देशित माध्यम**-जैसे मुक्त आकाश।
2. स्पंद कोडित मॉडुलन, अंकीय में मॉडुलित करने के काम आता है।
3. स्पंद मॉडुलन पर कार्य करने वाला उपकरण टेलीग्राफ है।
4. प्रकाशीय संसूचक के रूप में ऐवलांश डायोड, फोटो डायोड व फोटो ट्रांजिस्टर का उपयोग किया जाता है।
5. न्यून तथा उच्च आवृत्तियों का निराकरण बैण्ड पारक फिल्टर द्वारा किया जाता है तथा यह आवृत्तियों के एक बैण्ड को गुजरने देता है।
6. टेलीफोन लाइन केवल अनुरूप संकेतों को लाने व ले जाने में सक्षम होती है।
7. उपग्रह संचार में अपलिंक व डाउनलिंक की आवृत्ति में अन्तर होता है।
8. **ट्रांसपोडर चैनल**-एक ही उपग्रह बहुत सारी अलग-अलग आवृत्ति बैण्ड का उपयोग कर सकता है। जिनको ट्रांसपोडर चैनल कहते हैं।
9. संचार उपग्रह एक रिले केन्द्र की तरह कार्य करता है जिसमें सूक्ष्म तरंगों का उपयोग किया जाता है।
10. लम्बी दूरी की संचार सेवाओं में टेलीविजन व ध्वनि संकेतों के लिए समाक्ष केबल के स्थान पर सूक्ष्म तरंगों का उपयोग करने से डाटा दर बढ़ जाती है।
11. कम आवृत्ति पर संकेत सभी दिशाओं में संचरित होते हैं।
12. उच्च आवृत्ति पर संकेत को एक विशेष दिशा में एक दैशिक की तरह भेजना संभव होता है।
13. आयन मण्डल में उपस्थित धन आयन व इलेक्ट्रॉन को प्लाज्मा कहते हैं।
14. डिश ऐन्टिना का उपयोग उपग्रह संचार, राडार, केबल TV संचालन

में किया जाता है।

15. अंकीय डाटा संचार में डाटा किस दर से संचारित हो रहा है यह अत्यन्त महत्वपूर्ण है। अत: डिजिटल डाटा की संचरण दर बिट्स प्रति सेकण्ड द्वारा प्रदर्शित की जाती है।

16. डिजिटल संचय की गुणवत्ता की अंकरूप संचय से बेहतर होती है।

17. यदि वाहक तरंग की आवृत्ति $f_c$ व संदेश संकेत की उच्चतम आवृत्ति $f_m$ हो तो $f_c >> f_m$

18. व्योम तरंगों का प्रसारण लगभग 30MHz आवृत्ति तक ही हो सकता है।

19. संदेश संकेत (मॉडुलक संकेत) + वाहक तरंग → मॉडुलित तरंग यह कार्य प्रेषक द्वारा किया जाता है।

20. मॉडुलित तरंग→ वाहक तरंग + संदेश संकेत (मॉडुलक संकेत) यह कार्य अभिग्राही द्वारा किया जाता है।

21. **बेस (आधार) बैण्ड**-किसी सूचना स्रोत द्वारा उत्पन्न मूल संकेत को प्रदर्शित करने वाले आवृत्तियों के बैण्ड को बेस बैण्ड कहते हैं।

22. **बेस बैण्ड संकेत**-मूल संदेश संकेत को उपयुक्त ट्रांसड्यूसर द्वारा विद्युतीय संकेत में बदला जाता है जिसे बैस बैण्ड संकेत कहते हैं, अर्थात् संदेश संकेतों को बेस बैण्ड संकेत भी कहते हैं।

23. संचार चैनल मॉडुलित तरंग स्वरूप को प्रेषित्र से अभिग्राही तक ले जाता है।

24. **संचार के लिए भूस्थिर उपग्रह की आवश्यकता**-भू स्थिर उपग्रह पृथ्वी के सापेक्ष स्थिर प्रतीत होता है क्योंकि इसका घूर्णन काल 24 घण्टे है इनकी सहायता से सूक्ष्म तरंगों को पृथ्वी के एक स्थान से दूसरे स्थान तक प्रेषित किया जा सकता हैं क्योंकि ये लगभग 36000Km ऊँचाई पर स्थित होते हैं। ये पृथ्वी के बड़े भूभाग में संकेतों को वापिस भेज देते हैं। दूरदर्शन प्रसारण को भूस्थिर उपग्रहों की सहायता से किया जाता है।

25. आयाम मॉडुलन में मॉडुलन सूचकांक $\mu \leq 1$ का उपयोग किया जाता है। जिससे मॉडुलन में विरुपण से बचा जा सके।

26. **मोडेम**-मोडेम का पूरा नाम मॉडुलेटर डी-मॉडुलेटर है। मोडेम प्रेषित्र सिरे पर कम्प्यूटर से प्राप्त अंकीय संकेत को अनुरूप संकेत में तथा अभिग्राही सिरे पर अनुरूप को अंकीय संकेत में बदल देता है। अत: डाटा संप्रेषण तथा पुन: प्राप्ति के लिए मोडेम का प्रयोग किया जाता है।

27. संदेश संकेत तथा वाहक तरंग को किसी अरैखिक युक्ति पर अनुप्रयुक्त करके तथा फिर उसे बैण्ड पारक फिल्टर से गुजारकर आयाम मॉडुलित संकेत प्राप्त किया जाता है।

28. AM संसूचन किसी AM तरंग रूप से मॉडुलक संकेत की पुन: प्राप्ति की वह प्रक्रिया है जिसके संचालन में किसी दिष्टकारी तथा एन्वेलप संसूचक का उपयोग किया जाता है।

29. **दृष्टिसंचरण दूरी**-प्रेषित्र ऐन्टिना व ग्राही ऐन्टिना के बीच की वह सीधी दूरी जिस पर वे एक दूसरे को देख सकते हैं दृष्टि संचरण दूरी कहलाती है।

30. इलेक्ट्रॉनिक संचार का तात्पर्य सूचना या संदेशों जो विद्युतीय रूप में उपलब्ध होते हैं, को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक विश्वसनीय ढंग से स्थानान्तरित करना है।

31. **अनुरूप संचार की अवधारणा**-जब सूचना सम्प्रेषण की व्यवस्था अनुरूप संकेत सम्प्रेषण के माध्यम से हो तो इस संचार को अनुरूप संचार कहते हैं। अनुरुप संचार में प्रसारित की जाने वाली सूचना व्यापक रूप से सतत् तरंगवत् होती है।

32. **अंकरूप संचार की अवधारणा**-जब सूचना सम्प्रेषण की व्यवस्था आंकिक संकेत (0,1) सम्प्रेषण के माध्यम से हो तो इस संचार को अंकीय संचार कहते हैं। अंकीय संचार में प्रसारित की जाने वाली सूचना व्यापक रूप से विविक्त अथवा क्वांटित होती है, डिजिटल संचय की गुणवत्ता बेहतर होती है।

33. **रेडियो तरंगें**-रेडियो तरंगों की तरंगदैर्ध्य कुछ किलोमीटर से 0.3 मीटर तक होती है। इन तरंगों को विद्युत दोलित्र परिपथों से उत्पन्न किया जा सकता है। रेडियो तरंगे पृथ्वी पर आयनमण्डल की सहायता से संचरित की जा सकती है। इसलिए इनका उपयोग TV तथा रेडियो संकेतों के प्रसारण में किया जाता है।

34. **सूक्ष्म तरंगें**-इन तरंगों की तरंगदैर्ध्य 0.3 मीटर से $10^{-3}$ मीटर तक होती है। इन्हें परा उच्च आवृत्ति (UHF) की तरंगे भी कहते है। इनका उत्पादन मेग्नेट्रॉन, क्लिस्ट्रॉन द्वारा किया जाता है। इन तरंगों का उपयोग TV तथा रेडियो प्रसारण के लिए वाहक तरंगों के रूप में तथा उपग्रह संचार एवं मौसम की भविष्यवाणी में किया जाता है। माइक्रोवेन ओवन तथा राडार संचालन में भी इनका उपयोग किया जाता है। इनकी आवृत्ति लगभग 100GHz से 300GHz के परास में होती है। उच्च आवृत्ति के कारण हमें ज्यादा बैण्ड चौड़ाई प्राप्त होती है।

35. प्रसारण के लिए रेडियो आवृत्ति पुंज की तुलना में सूक्ष्म तरंग पुंज का उपयोग वाहक तरंगों के रूप में किया जाता है क्योंकि रेडियो आवृत्ति तरंगों की तरंगदैर्ध्य 30cm से 200m के मध्य होती है तथा प्रकृति में इसी कोटि के अवरोध आसानी से मिल जाते हैं। जिससे उनका विवर्तन आसानी से हो जाता है। जबकि सूक्ष्म तरंगों की तरंगदैर्ध्य कुछ मिलीमीटर की कोटि की होती है इनका विवर्तन आसानी से नहीं हो पाता है इस कारण इनमें दैशिक गुण बहुत अच्छा होता है एवं किसी एक दिशा में संकेत को बीम करने में आसानी होती है।

36. **मॉडुलन गुणांक**-

मॉडुलन गुणांक, वाहक तरंग के आयाम में अपने प्रारम्भिक आयाम से अधिकतम परिवर्तन और वाहक तरंग के प्रारम्भिक आयाम के अनुपात के बराबर होता है।

मॉडुलन गुणांक उस सीमा को प्रदर्शित करता है जहाँ तक वाहक तरंग का आयाम सिग्नल के द्वारा परिवर्तित होता है।

AM के लिए मॉडुलित तरंग

$$e = (E_c + E_m \sin\omega_m t)\sin\omega_c t \quad ....(1)$$

$\sin\omega_m t$ का अधिकतम मान +1 तथा न्यूनतम मान -1 होता है अत: समीकरण (1) से अधिकतम व न्यूनतम आयाम

$$E_{max} = E_c + E_m \quad ....(2)$$

तथा $$E_{min} = E_c - E_m \quad ....(3)$$

समीकरण (2) व (3) से

$$E_c = \frac{1}{2}[E_{max} + E_{min}]$$

$$E_m = \frac{1}{2}[E_{max} - E_{min}]$$

अत: मॉडुलन सूचकांक

$$\mu = \frac{E_m}{E_c} = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$$

मॉडुलन गुणांक या मॉडुलन की गहराई का मान 0 से 1 के बीच होता है। जब इसका मान 1 से अधिक होता है तो मॉडुलन में विरुपण होने लगता है। मॉडुलन की गहराई को प्रतिशत में व्यक्त करते हैं। अत: इसे प्रतिशत मॉडुलन भी कहते हैं।

$\mu$ का मान जितना अधिक होता है मॉडुलक तरंग का वाहक तरंग में अध्यारोपण उतना ही स्पष्ट व तीव्र होता है। अत: $\mu \leq 1$

37. **आयाम मॉडुलन के दोष**—
1. आयाम मॉडुलित तरंग का अभिग्रहण शोर युक्त होता है।
2. आयाम मॉडुलन की दक्षता काफी कम होती है।

38. **आयाम व आवृत्ति मॉडुलन में अन्तर**–
1. आयाम मॉडुलित तरंग की बैण्ड चौड़ाई कम होती है जबकि आवृत्ति मॉडुलित तरंग की बैण्ड चौड़ाई अधिक होती है।
2. आयाम मॉडुलन में वाहक संकेत का आयाम मॉडुलक संकेत के अनुसार रैखिक रूप से परिवर्तित होता है अर्थात् आयाम नियत नहीं रहता है जबकि आवृत्ति मॉडुलन में वाहक तरंग की आवृत्ति मॉडुलक संकेत के अनुसार परिवर्तित होती है, अर्थात् आयाम निश्चित रहता है।
3. आयाम मॉडुलन में वाहक संकेत की कोणीय आवृत्ति स्थिर रहती है जबकि आवृत्ति मॉडुलन में स्थिर नहीं रहती है।
4. आयाम मॉडुलन का व्यापक उपयोग ध्वनि तरंगों के व्यावसायिक प्रसारण के लिए किया जाता है जबकि आवृत्ति मॉडुलन का उपयोग रेडियो व TV प्रसारण में किया जाता है।

39. आवृत्ति मॉडुलन, आयाम मॉडुलन की अपेक्षा अच्छा होता है।
1. TV प्रसारण में ज्यादा बैण्ड चौड़ाई की आवश्यकता होती है इसलिए आवृत्ति मॉडुलन का उपयोग करना पड़ता है, क्योंकि आवृत्ति मॉडुलन संकेत की बैण्ड चौड़ाई अधिक होती है।
2. आवृत्ति मॉडुलित संकेत में सूचना आवृत्ति परिवर्तनों के रूप में होती है इसलिए वातावरण व मानव निर्मित विद्युत विसर्जन द्वारा उत्पन्न शोर मूल सूचना पर कोई प्रभाव नहीं डाल पाता इसलिए FM प्रसारण में शोर कम होता है तथा पुन: प्राप्त मूल सूचना की गुणवत्ता अच्छी होती है।

40. समाक्ष केबल के द्वारा अनुरूप व अंकीय दोनों प्रकार के संकेतों को संचरित किया जा सकता है।

41. डाटा का संप्रेषण बैण्ड चौड़ाई पर निर्भर करता है। उच्च डाटा दर के लिए आवश्यक बड़े बैण्ड की चौड़ाई को प्राप्त करने के लिए उच्च आवृत्ति की वाहक तरंग का उपयोग किया जाता है।

42. आयाम मॉडुलन में वाहक संकेत की कोणीय आवृत्ति स्थिर रहती है।

43. **डाटा संचरण व अभिग्रहण**–डाटा से अभिप्राय: अपरिष्कृत, असंसाधित तथ्यों से है जो अंकों, शब्दों, चित्रों, ध्वनियों आदि के रूप में व्यक्त किया जा सके।
डाटा संचरण का कार्य एक मशीन से दूसरी मशीन के बीच मोडेम की सहायता से किया जाता है।

44. रेडियो पर संगीत प्रसारण के लिए सर्वश्रेष्ठ मॉडुलन आवृत्ति मॉडुलन (FM) होता है।

45. आवृत्ति मॉडुलित तरंग में वातावरण द्वारा शोर उत्पन्न नहीं होता क्योंकि वातावरण द्वारा उत्पन्न शोर का मूल सूचना पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

46. आयाम मॉडुलित प्रसारण में स्थैतिक एवं मानव निर्मित विद्युतीय विसर्जन के कारण उत्पन्न संकेत भी मुख्य संकेत के साथ आयाम मॉडुलित हो जाता है। अत: आयाम मॉडुलित प्रसारण शोर युक्त होता है।

47. कला व आवृत्ति मॉडुलन दोनों ही कोणीय मॉडुलन कहलाते हैं।

48. **ऐन्टिना**–यह किसी चालक का टुकड़ा होता है जो संकेत का रूप बदलने की युक्ति के रूप में काम आता है। प्रेषित ऐन्टिना विद्युत संकेत को विद्युत चुम्बकीय तरंगों में तथा ग्राही ऐन्टिना विद्युत चुम्बकीय तरंगों को विद्युत संकेतों में बदलता है।

## अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. अनुरूप संचार पद्धति तथा अंकीय संचार पद्धति में मुख्य अन्तर बताइए।
2. क्या कारण है कि ध्वनि तरंगों को विद्युत तरंगों में परिवर्तित कर सीधे प्रेषित नहीं किया जा सकता है?
3. डिजिटल संचार में अवांछनीय प्रभावों के नाम लिखिए।
4. 30MHz आवृत्ति की रेडियो तरंगों के संचार के लिए आवश्यक ऐन्टिना की लम्बाई क्या होगी?
5. वाहक तरंग क्या है?
6. टेलीविजन सम्प्रेषण के लिए उपयोग में आने वाली आवृत्ति परास लिखिए।
7. आयाम, आवृत्ति तथा कला मॉडुलन में वाहक तरंग की कौनसी राशि परिवर्तित होती है?
8. मॉडुलन सूचकांक का क्या महत्व है?
9. शोर से क्या तात्पर्य है?
10. AM संकेत की तुलना में FM संकेत में शोर कम होने का क्या कारण है?
11. वाहक आवृत्ति $\omega_c$ के साथ श्रव्य आवृत्ति $\omega_m$ के मॉडुलन से प्राप्त मॉडुलित तरंग की कुल चैनल परास (या बैण्ड चौड़ाई) का मान कितना होता है?
12. मॉडुलन गहराई का मान किन राशियों पर निर्भर करता है?
13. यदि आयाम मॉडुलित वाहक तरंग का समीकरण निम्न हैं—
$$(e_c)_{AM} = E_c(1 + \mu E_m \cos\omega_m t)\cos\omega_c t$$
जहाँ $E_m \cos\omega_m t$ मॉडुलक संकेत तथा $E_c \cos\omega_c t$ वाहक संकेत है तथा $\mu$ समानुपाती नियतांक है जो परिपथ पर निर्भर करता है। तब मॉडुलन की गहराई का मान कितना होगा?
14. 50% मॉडुलन के साथ यदि वाहक तरंग का अधिकतम आयाम 100mV है तब इसका न्यूनतम आयाम कितना होगा?
15. यदि आयाम मॉडुलित तरंग का अधिकतम तथा न्यूनतम आयाम क्रमश: 5 वोल्ट तथा 3 वोल्ट हो तो मॉडुलन गहराई कितने प्रतिशत होगी?
16. 1MHz आवृत्ति की वाहक तरंग को आवृत्ति परास 20Hz से 20KHz तक वाली श्रव्य आवृत्ति से मॉडुलित किया जाता है। निम्न पार्श्व बैण्ड में संभावित आवृत्ति का परिकलन कीजिए।

17. अनुरुप संकेत को अंकीय संकेत में तथा अंकीय संकेत को अनुरूप संकेत में बदलने वाली युक्तियों के नाम लिखिए।
18. विमॉडुलक के मुख्य दो भागों का नाम लिखिए।
19. विमॉडुलन से क्या तात्पर्य है?
20. मॉडुलन सूचकांक का सूत्र लिखिए।
21. मुक्त आकाश संचरण द्वारा तरंग संचरण की विधियों का नाम लिखिए।
22. भू-तरंग संचरण किस आवृत्ति परास के लिए उपयुक्त होता है?
23. व्योम तरंगों से क्या तात्पर्य है?
24. व्योम तरंग संचरण में वायुमण्डल के किस भाग की महत्वपूर्ण भूमिका होती है?
25. आकाश तरंग संचरण में वायुमण्डल के किस भाग की महत्वपूर्ण भूमिका होती है?
26. विद्युत चुम्बकीय तरंगों को प्रसारित करने के लिए प्रयुक्त ऐन्टिना की लम्बाई का सम्प्रेषित की जाने वाली तरंगों के तरंगदैर्ध्य से क्या सम्बन्ध होता है?
27. किसी $l$ लम्बाई के ऐन्टिना द्वारा विकिरत शक्ति का ऐन्टिना की लम्बाई व तरंगदैर्ध्य से सम्बन्ध लिखिए।
28. मॉडुलक तरंग संकेत व मॉडुलित तरंग संकेत से क्या तात्पर्य है?
29. अनुरूप संकेतों के मॉडुलन के प्रकार लिखिए।
30. स्पन्द मॉडुलन के प्रकार लिखिए।

## उत्तरमाला

1. अनुरूप संचार पद्धति में समय के साथ लगातार परिवर्तित अनुरूप संकेत प्रयुक्त किए जाते हैं, जबकि अंकीय संचार पद्धति में अंकीय संकेत (जिसमें वोल्टेज के केवल दो स्तर 0 तथा 1 होते हैं) प्रयुक्त किए जाते हैं।
2. इस स्थिति में इन विद्युत तरंगों के संचरण के लिए अति उच्च लम्बाई का ऐन्टिना लेना होगा।
3. शोर, क्षीणन, विरुपण।
4. ऐन्टिना की लम्बाई = रेडियो तरंग की तरंगदैर्ध्य

$$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{3\times10^8}{30\times10^6} = 10 \text{ मीटर}$$

5. उच्च आवृत्ति तथा नियत आयाम की वह विद्युत चुम्बकीय तरंग जिसका उपयोग पृथ्वी तल के एक स्थान से दूसरे स्थान तक श्रव्य संकेत को ले जाने के लिए किया जाता है, वाहक तरंग कहते हैं।
6. 30-300 मेगा हर्ट्ज।
7. माना कि वाहक तरंग का समीकरण $e_c = E_c \cos(\omega_c t + \theta)$ है तथा श्रव्य संकेत का समीकरण $e_m = E_m \cos\omega_m t$ है।
आयाम मॉडुलन में वाहक तरंग का आयाम $E_c$, श्रव्य संकेत के तात्क्षणिक मान $e_m$ के अनुसार परिवर्तित होता है।
आवृत्ति मॉडुलन में वाहक तरंग की कोणीय आवृत्ति $\omega_c$, श्रव्य संकेत के तात्क्षणिक मान $e_m$ के अनुसार परिवर्तित होती है।
कला मॉडुलन में वाहक तरंग की प्रारंभिक कला $\theta$, श्रव्य संकेत के तात्क्षणिक मान $e_m$ के अनुसार परिवर्तित होती है।
8. मॉडुलन सूचकांक की सहायता से संकेत की शक्ति तथा गुणवत्ता का बोध होता है। मॉडुलन सूचकांक जितना अधिक होता है, संकेत उतना ही प्रबल तथा अच्छी गुणवत्ता का होता है।
9. संदेश सिग्नल के साथ उपस्थित अवांछनीय सिग्नल, शोर कहलाता है।
10. AM संकेत में शोर उत्पन्न होने का कारण संकेत के आयाम में परिवर्तन होना है जबकि FM संकेत में आयाम नियत रहता है।
11. $2\omega_m$
12. श्रव्य तथा वाहक, दोनों तरंगों के आयाम पर।
13. $\mu = \dfrac{E_m}{E_c}$
14. $\because E_{max} = 100mV, \quad \mu = 0.5, \quad E_{min} = ?$

$$\because \mu = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \Rightarrow 0.5 = \frac{100 - E_{min}}{100 + E_{min}}$$

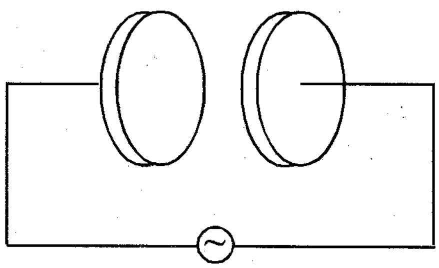
$\therefore E_{min} = 33.3\ mV$

15. $\because \mu = \dfrac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} = \dfrac{5-3}{5+3} = \dfrac{1}{4} = 25\%$
16. निम्न पार्श्व बैंड की आवृत्ति परास $= \omega_c - \omega_m$
= 1MHz – 20KHz से 1MHz – 20 Hz तक
जिससे $f_c - f_m$ = 980KHz से 999.98 KHz तक
17. अनुरूप संकेत को अंकीय संकेत में बदलने के लिए प्रयुक्त युक्ति को A/D परिवर्तक या इनकोडर (encoder) तथा अंकीय संकेत को अनुरूप संकेत में बदलने के लिए प्रयुक्त युक्ति को D/A परिवर्तक या डिकोडर (decoder) कहते हैं।
18. (i) दिष्टकारक तथा (ii) फिल्टर परिपथ
दिष्टकारक के लिए P–N संधि डायोड तथा फिल्टर के लिए संधारित्र उपयोग में लिया जाता है।
19. मॉडुलन क्रिया के विपरीत वह प्रक्रिया जो अभिग्राही में मॉडुलित संकेत में से मॉडुलक संकेत को पृथक् करने के लिए की जाती है, विमॉडुलन (या संसूचन) कहलाती है।
20. $\mu = \dfrac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$
21. (i) भू-तरंग संचरण (ii) व्योम तरंग संचरण (iii) आकाश तरंग संचरण।
22. न्यून आवृत्तियों के लिए (500 KHz से 1500KHz)
23. पृथ्वी के किन्हीं दो बिन्दुओं के बीच लम्बी दूरी का संचार आयन मण्डल द्वारा विद्युत चुम्बकीय तरंगों के परावर्तन द्वारा संभव हो पाता है। इस प्रकार की तरंगों को व्योम तरंगें कहते हैं।
24. आयनमण्डल। 25. क्षोभमण्डल।
26. विद्युत चुम्बकीय तरंगों को प्रसारित करने के लिए प्रयुक्त ऐन्टिना की लम्बाई सम्प्रेषित की जाने वाली तरंगों के तरंगदैर्ध्य की कोटि की होनी चाहिए।
27. $l$ लम्बाई के ऐन्टिना द्वारा विकिरत शक्ति $\propto \left(\dfrac{l}{\lambda}\right)^2$
28. मॉडुलन के द्वारा सूचना या संदेश संकेत जिसे भेजा जाना है को मॉडुलक तरंग संकेत कहते हैं। इसे उपयुक्त आवृत्ति के संकेत अर्थात् वाहक तरंग संकेत में बदलकर विकिरत कर दिया जाता है। मॉडुलन के उपरान्त तरंग को मॉडुलित तरंग संकेत कहते हैं।
29. (i) आयाम मॉडुलन (AM)
(ii) आवृत्ति मॉडुलन (FM)
(iii) कला मॉडुलन (PM)
30. (i) स्पंद आयाम मॉडुलन (PAM)
(ii) स्पंद अवधि मॉडुलन (PDM)
(iii) स्पंद स्थिति मॉडुलन (PPM)

# विविध उदाहरण

## Basic Level

**उदा. 19.** एक समांतर प्लेट संधारित्र (चित्र), $R = 6.0$ cm त्रिज्या की दो वृत्ताकार प्लेटों से बना है और इसकी धारिता $C = 100$ pF है। संधारित्र को 230 V, 300 rad $s^{-1}$ की (कोणीय) आवृत्ति के किसी स्रोत से जोड़ा गया है।



चित्र 17.23

**(a) चालन धारा का rms मान क्या है?**

**(b) क्या चालन धारा विस्थापन धारा के बराबर है?**

**(c) प्लेटों के बीच, अक्ष से 3.0 cm की दूरी पर स्थित बिंदु पर B का आयाम ज्ञात कीजिए।**

**हल–दिया है:** त्रिज्या R = 6 सेमी.,

धारिता $C = 100\,pF = 100\times10^{-12}$ फैरड, $E_{rms} = 230$ वोल्ट,

$\omega = 300$ रेडियन/सेकण्ड

(a) धारा $I_{rms} = \dfrac{E_{rms}}{1/\omega C} = (\omega C)E_{rms}$

$= (300\times100\times10^{-12})\times230 = 6.9\times10^{-6}$ एम्पियर

$I_{rms} = 6.9$ माइक्रो एम्पियर

(b) हाँ, नियत मान की धारा एवं दोलनी धारा दोनों स्थितियों के लिए चालन धारा एवं विस्थापन धारा समान होती हैं क्योंकि

विस्थापन धारा

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} = \epsilon_0 \frac{d}{dt}(EA) = A\epsilon_0 \frac{dE}{dt} = A\epsilon_0 \frac{d}{dt}\left(\frac{q}{A\epsilon_0}\right)$$

या $I_d = \dfrac{dq}{dt} = I$ चालन

(c) $\because B = \dfrac{\mu_0 I_d}{2\pi R^2} r = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$ $\quad (\because I_d = I)$

चुम्बकीय क्षेत्र के आयाम के लिए $I = I_0$ (धारा का शिखर मान)

$= \sqrt{2} I_{rms}$

अत: चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम $B = \dfrac{\sqrt{2}\mu_0 I_{rms}}{2\pi R^2} r$ (r = 3 सेमी.)

$$B = \frac{\sqrt{2}\times4\pi\times10^{-7}\times6.9\times10^{-6}\times3\times10^{-2}}{2\pi\times36\times10^{-4}} = \frac{\sqrt{2}\times2\times6.9\times10^{-11}}{12}$$

$B = 1.63\times10^{-11}$ टेसला

**उदा. 20.** $10^{-10}$ **m तरंगदैर्ध्य की X-किरणों, 6800 Å तरंगदैर्ध्य के प्रकाश, तथा 500 m की रेडियो तरंगों के लिए किस भौतिक राशि का मान समान है?**

**हल :-** तीनों ही विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं अत: निर्वात् में इनका वेग एक समान होगा तथा यह प्रकाश के वेग $c = 3\times10^8$ मी./से. होगा।

**उदा. 21. एक समतल विद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में Z-अक्ष के अनुदिश चल रही है। इसके विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों के सदिश की दिशा के बारे में आप क्या कहेंगे? यदि तरंग की आवृत्ति 30 MHz हो तो उसकी तरंगदैर्ध्य कितनी होगी?**

**हल :** चूंकि विद्युत चुम्बकीय तरंग में संचरण की दिशा, विद्युत क्षेत्र सदिश के कम्पन तथा चुम्बकीय क्षेत्र सदिश के कम्पन परस्पर लम्बवत् होते हैं अत: यदि तरंग संचरण Z - अक्ष के अनुदिश है तो विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र सदिशों के कम्पन $X$- $Y$ तल में होंगें।

तथा तरंग की आवृत्ति $\upsilon = 30MHz = 30\times10^6$ हर्ट्ज

अत: तरंग दैर्ध्य $\lambda = \dfrac{c}{\upsilon} = \dfrac{3\times10^8}{3\times10^7} = 10$ मी.

**उदा. 22. एक रेडियो 7.5 MHz से 12 MHz बैंड के किसी स्टेशन से समस्वरित हो सकता है। संगत तरंगदैर्ध्य बैंड क्या होगा?**

**हल :** हर्ट्ज $\upsilon_1 = 7.5\times10^6$ हर्ट्ज, $\upsilon_2 = 12\times10^6$ हर्ट्ज

अत: $\lambda_1 = \dfrac{c}{\upsilon_1} = \dfrac{3\times10^8}{7.5\times10^6} = 40$ मी.

$\lambda_1 = \dfrac{c}{\upsilon_2} = \dfrac{3\times10^8}{12\times10^6} = 25$ मी.

अत: संगत तरंग दैर्ध्य बैंड 40 मी. से 25 मी. तक होगा

**उदा. 23. एक आवेशित कण अपनी माध्य साम्यावस्था के दोनों ओर $10^9$ Hz आवृत्ति से दोलन करता है। दोलक द्वारा जनित विद्युतचुंबकीय तरंगों की आवृत्ति कितनी है?**

**हल :** उत्पन्न विद्युत चुम्बकीय तरंग की आवृत्ति, आवेशित कण की दोलन आवृत्ति $10^9$ Hz के समान ही होगी।

**उदा. 24. निर्वात में एक आवर्त विद्युतचुंबकीय तरंग के चुंबकीय क्षेत्र वाले भाग का आयाम $B_0 = 510$ nT है। तरंग के विद्युत क्षेत्र वाले भाग का आयाम क्या है?**

**हल: दिया है:** चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम

$B_0 = 510\,nT = 510\times10^{-9}$ टेसला

अत:विद्युत क्षेत्र का आयाम

$E_0 = cB_0 = 3\times10^8\times510\times10^{-9} = 153$ न्यूटन/कूलॉम

**उदा. 25. विद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों की पारिभाषिकी पाठ्यपुस्तक में दी गई है। सूत्र $E = h\upsilon$ (विकिरण के एक क्वांटम की ऊर्जा के लिए : फोटॉन) का उपयोग कीजिए तथा EM वर्णक्रम के विभिन्न भागों के लिए eV के मात्रक में फोटॉन की ऊर्जा निकालिए। फोटॉन ऊर्जा के जो विभिन्न परिमाण आप पाते हैं वे विद्युतचुंबकीय विकिरण के स्रोतों से किस प्रकार संबंधित हैं?**

**हल:** $\upsilon$ आवृत्ति के फोटॉन की ऊर्जा $E = h\upsilon$ जूल

या $E = \dfrac{h\upsilon}{1.6\times10^{-19}}$ इलेक्ट्रॉन वोल्ट

$= \frac{6.62\times10^{-34}}{1.6\times10^{-19}} \upsilon$ इलेक्ट्रॉन वोल्ट

या $E = 4.1375\times10^{-15}\upsilon$ इलेक्ट्रॉन वोल्ट ..... (1)

सम्बन्ध (1) में विभिन्न विद्युत चुम्बकीय तरंगें के लिए माध्य आवृत्ति का मान रखकर फोटोन ऊर्जा का सन्निकट मान प्राप्त कर सकते हैं, ये मान निम्न सारणी में दिए गए हैं-

| विद्युत चुम्बकीय तरंग का भाग | माध्य आवृत्ति | फोटॉन ऊर्जा | विद्युत चुम्बकीय विकिरण स्रोत |
|---|---|---|---|
| रेडियो तरंगें | $3\times10^{8}$ हर्ट्ज | $1.241\times10^{-6}eV$ | दोलनी धारा द्वारा। |
| सूक्ष्म तरंगें | $10^{10}$ हर्ट्ज | $4.137\times10^{-5}eV$ | निर्वात नालिका में दोलनी धारा द्वारा। |
| अवरक्त तरंगें | $10^{13}$ हर्ट्ज | $4.137\times10^{-2}eV$ | पदार्थ की तप्त अवस्था में उत्तेजित परमाणु एवं अणुओं के द्वारा। |
| दृश्य प्रकाश | $6\times10^{14}$ हर्ट्ज | $2.48eV$ | संयोजी इलेक्ट्रॉन के उत्तेजन द्वारा |
| पराबैंगनी | $10^{15}$ हर्ट्ज | $4.137eV$ | सूर्य से एवं परमाणु के उत्तेजन द्वारा। |
| X- किरणें | $3\times10^{18}$ हर्ट्ज | $1.241\times10^{4}eV$ | उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन के भारी धातु से टकराने से। |
| γ-किरणें | $3\times10^{20}$ हर्ट्ज | $1.241\times10^{6}eV$ | नाभिकीय क्रियाओं में। |

**उदा. 26. 100 W विद्युत बल्ब की शक्ति का लगभग 5% दृश्य विकिरण में बदल जाता है।**

**(a) बल्ब से 1 m की दूरी पर,**

**(b) 10 m की दूरी पर दृश्य विकिरण की औसत तीव्रता कितनी है? यह मानिए कि विकिरण समदैशिकतः उत्सर्जित होता है और परावर्तन की उपेक्षा कीजिए।**

**हलः दिया है:** P = 100 वॉट, $P_{दृश्य} = 5\%P = 100\times\frac{5}{100} = 5$ वाट

(a) तीव्रता $I = \frac{P_{दृश्य}}{4\pi r_1^2} = \frac{5}{4\times3.14\times1^2} = 0.4$ वाट/मी²

(b) तीव्रता $I = \frac{P_{दृश्य}}{4\pi r_2^2} = \frac{5}{4\times3.14\times100} = 0.004$ वाट/मी²

$= 4\times10^{-3}$ वाट/मी²

**उदा. 27. किसी मॉडुलित तरंग का अधिकतम आयाम 10V तथा न्यूनतम आयाम 2V पाया जाता है। मॉडुलन सूचकांक का मान निश्चित कीजिए।**

**यदि न्यूनतम आयाम शून्य वोल्ट हो तो मॉडुलन सूचकांक क्या होगा?**

**हल**- (i) दिया हुआ है- $E_{max} = 10$ वोल्ट, $E_{min} = 2$ वोल्ट

$\because$ माडुलन सूचकांक $\mu = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$

$= \frac{10-2}{10+2} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3} = 0.67$

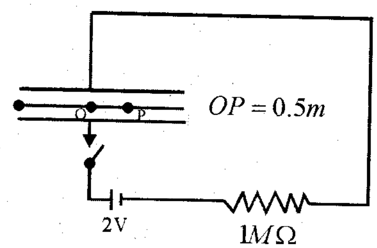
(ii) दिया हुआ है-$E_{min} = 0$

$\therefore \quad \mu = \frac{E_{max} - 0}{E_{max} + 0} = 1$

इस स्थिति में माडुलन सूचकांक $E_{max}$ के मान पर निर्भर नहीं करेगा।

## Advance Level

**उदा. 28. एक समांतर प्लेट संधारित्र जिसकी वृत्ताकार प्लेटों की त्रिज्या 1 m है, धारिता 1 nF है। समय $t = 0$ पर इसको आवेशित करने के लिए $R = 1\,M\Omega$ के एक प्रतिरोधक के साथ श्रेणीक्रम में 2V की बैटरी से जोड़ा गया है (चित्र)। $10^{-3}$s के पश्चात संधारित्र के बीच में दोनों प्लेटों के केंद्र एवं उनकी परिमिति के ठीक मध्य में स्थित बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र का परिकलन कीजिए। [क्षण $t$ पर संधारित्र पर आवेश $q(t) = CV[1 - \exp(-t/\tau)]$ होता है, जहाँ समय नियतांक $\tau = CR$ है]।**




**चित्र 17.24**

**हल**–दिया है- प्लेटों की त्रिज्या r = 1 मी.,

धारिता $C = 1nF = 1\times10^{-9}$ फैरड, प्रतिरोध $R = 1\Omega$ V = 2 वोल्ट

समय $t = 10^{-3}$ सेकण्ड

अतः CR परिपथ का काल नियतांक

$\tau = CR = 1\times10^{-9}\times1\times10^{6} = 10^{-3}$ सेकण्ड

प्लेट का क्षेत्रफल $A = \pi r^2 = 3.14$ मी² $= \pi$मी.² $(\because r = 1$ मी)

$\because$ किसी क्षण t पर संधारित्र पर आवेश $q = CV(1-e^{-t/\tau})$

अतः $q = 2\times1\times10^{-9}(1-e^{-10^{-3}/10^{-3}}) = 2\times10^{-9}(1-e^{-1})$

अतः क्षण t पर प्लेटों के मध्य विद्युत क्षेत्र

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{A\epsilon_0} = \frac{q}{\pi\epsilon_0}$$

अब यदि हम ½ मी. त्रिज्या के एक वृत्ताकार लूप जो कि बिन्दु P से गुजरे तथा जिसका केन्द्र बिन्दु O पर हो की कल्पना करते हैं। लूप के प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र एक समान होगा तथा इसकी दिशा लूप के तल के अनुदिश होगी।

लूप से गुजरने वाला विद्युत फ्लक्स $\Phi_E = Ea$ (a लूप का क्षेत्रफल)

$$\Phi_E = \frac{q}{\pi\epsilon_0}\left(\pi\times\left(\frac{1}{2}\right)^2\right) = \frac{q}{4\epsilon_0}$$

अतः विस्थापन धारा $I_d = \epsilon_0\frac{d\phi_E}{dt} = \epsilon_0\frac{d}{dt}\left(\frac{q}{4\epsilon_0}\right) = \frac{1}{4}\frac{dq}{dt}$

q का मान रखने पर

$$I_d = \frac{1}{4}\frac{d}{dt}\left[CV(1-e^{-t/\tau}\right] = \frac{CV}{4\tau}e^{-t/\tau}$$

या $$I_d = \frac{1\times10^{-9}\times2}{4\times10^{-3}}e^{-1} = 0.5\times10^{-6}e^{-1}$$

एम्पियर नियम से

$B\times2\pi r_1 = \mu_0(I_c + I_d)$ (जहाँ $r_1$ = लूप की त्रिज्या)

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r_1}(I_c + I_d) \qquad (\because I_c = 0)$$

$$B = \frac{4\pi\times10^{-7}}{2\pi\times\frac{1}{2}} = (0+0.5\times10^{-6}e^{-1})$$

$$B = \frac{4\times10^{-7}\times0.5\times10^{-6}}{e} = \frac{2\times10^{-13}}{2.7}$$

$B = 0.74\times10^{-13}$ टेसला

**उदा. 29.** किसी टी.वी. टॉवर की ऊँचाई में 21% की वृद्धि करने पर उसका कितने प्रतिशत प्रेषण परिसर प्रभावित होगा?

**हल**–प्रेषण परिसर $d = \sqrt{2rh}$

माना प्रारम्भ में टी.वी. टॉवर की ऊँचाई $h_1$ तथा प्रसारण दूरी $d_1$ है तो

$d_1 = \sqrt{2rh_1}$ जहाँ r = पृथ्वी की त्रिज्या

टॉवर की ऊँचाई बढ़ने के बाद परास

$d_2 = \sqrt{2rh_2}$ जहाँ $h_2$ = बढ़े गये ऐन्टिना की ऊँचाई

अत: $$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

ऊँचाई में वृद्धि = 21%

तब $$\frac{121}{100}h_1 = h_2$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{121}{100}} = 1.1 = \frac{11}{10}$$

## अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

**प्रश्न 1.** संचार के लिये भू स्थिर उपग्रह की आवश्यकता क्यों होती है ?

**प्रश्न 2.** रेडियो तरंग की आवृत्ति जो व्योम संचरण के लिए आवश्यक होती है ?

**प्रश्न 3.** संचरण तकनीक किस कहते हैं?

**प्रश्न 4.** डाटा किसे कहते हैं?

**प्रश्न 5.** सूचना किसे कहते हैं?

**प्रश्न 6.** टेलीफोन पर व्यक्ति की आवाज कुछ भिन्न लगती है। क्यों?

**प्रश्न 7.** ट्रांसड्यूसर का कार्य बताइये।

**प्रश्न 8.** संचार तंत्र में सिग्नल से क्या तात्पर्य है?

**प्रश्न 9.** बेस-बैण्ड किसे कहते हैं?

**प्रश्न 10.** डिजिटल डाटा की संचरण दर किसमें व्यक्त की जाती है?

**प्रश्न 11.** रेडियो पर संगीत प्रसारण के सर्वश्रेष्ठ मॉडुलन क्या हैं?

**प्रश्न 12.** स्पंद मॉडुलन पर कार्य करने वाले एक उपकरण का नाम बताइये।

**प्रश्न 13.** अनुरूप सिग्नलों के स्पंद मॉडुलन में प्रयुक्त किन्हीं दो स्पंद तंत्रों का नाम बताइये।

**प्रश्न 14.** डिजिटल डाटा को अनुरूप सिग्नल में बदलने के लिये प्रयुक्त किन्हीं दो मॉडुलन तंत्रों का नाम बताइये।

**प्रश्न 15.** डिश-ऐन्टिना का कहाँ उपयोग किया जाता है?

**प्रश्न 16.** उपग्रह सेवाओं में समन्वय किस संस्था द्वारा स्थापित किया जाता है ?

**प्रश्न 17.** दूर-संवेदन किसे कहते हैं?

**प्रश्न 18.** निर्देशित माध्यम के संचरण-अभिलाक्षणिक गुण व संचरण की गुणवत्ता किन बातों पर निर्भर करती है?

### उत्तरमाला

**उत्तर 1.** उपग्रह की सहायता से संकेत को इच्छित स्थान पर भेजा जा सकता हैं।

**उत्तर 2.** 3 MHz से 30 MHz

**उत्तर 3.** सूचना को एक स्थान से दूसरे स्थान तक भेजने की तकनीक को संचरण तकनीक कहते हैं।

**उत्तर 4.** अपरिष्कृत व असंसाधित तथ्यों को डाटा कहते हैं।

**उत्तर 5.** डाटा का परिष्कृत व संसाधित रूप सूचना कहलाता है।

**उत्तर 6.** क्योंकि कोडित व विकोडित करने की प्रक्रिया में गुणवत्ता का ह्रास हो जाता है।

**उत्तर 7.** ऊर्जा के एक रूप को दूसरे रूप में बदलना।

**उत्तर 8.** सिग्नल से तात्पर्य उपयुक्त ट्रांसड्यूसर द्वारा मूल सिग्नल से उत्पन्न समय-आश्रित विद्युतीय सिग्नल से है।

**उत्तर 9.** किसी सूचना-स्रोत द्वारा उत्पन्न मूल सिग्नल को प्रदर्शित करने वाली आवृत्तियों के बैण्ड को बेस-बैण्ड कहते हैं।

**उत्तर 10.** बिट्स प्रति सेकण्ड (bits per second-bps) में।

**उत्तर 11.** आवृति मॉडुलन (FM)।

**उत्तर 12.** टेलीग्राफ।

**उत्तर 13.** (i) स्पंद-आयाम मॉडुलन (PAM)

(ii) स्पंद-कोड मॉडुलन (PCM)।

**उत्तर 14.** (i) आयाम शिफ्ट कीइंग (ASK)

(ii) कला शिफ्ट कीइंग (PSK)।

**उत्तर 15.** (i) उपग्रह-संचार में

(ii) राडार में

(iii) केबल-टीवी संचालन में।

**उत्तर 16.** अन्तर्राष्ट्रीय दूर संचार यूनियन (ITU)।

**उत्तर 17.** किसी वस्तु क्षेत्र या घटना के बारे में बिना उस लक्ष्य के सीधे सम्पर्क में आये हुए जानकारी प्राप्त करने के विज्ञान को दूर संवेदन कहते हैं।

**उत्तर 18.** (i) माध्यम की प्रकृति

(ii) सिग्नल की प्रकृति।

## पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

**बहुचयनात्मक प्रश्न**

1. **विद्युत चुम्बकीय तरंग में औसत ऊर्जा घनत्व सम्बंधित होता है**

(अ) केवल विद्युत क्षेत्र से

(ब) केवल चुम्बकीय क्षेत्र से

(स) विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों दोनों से बराबर
(द) औसत विद्युत घनत्व शून्य होता है

2. **दूरसंचार से संबंधित तरंगे होती हैं**
(अ) अवरक्त (ब) दृश्य प्रकाश
(स) सूक्ष्म तरंग (द) पराबैंगनी किरण

3. **विद्युत चुम्बकीय तरंगें परिवहन नहीं करती है**
(अ) ऊर्जा (ब) आवेश
(स) संवेग (द) सूचना

4. **यदि $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ एक विद्युत चुम्बकीय तरंग के विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र सदिश है तो विद्युत चुम्बकीय तरंग का संचरण किस के अनुदिश है**
(अ) $\vec{E}$ के (ब) $\vec{B}$ के
(स) $\vec{E}\times\vec{B}$ के (द) $\vec{E}\cdot\vec{B}$ के

5. **निम्न में से कौन से विकिरण की तरंग दैर्ध्य न्यूनतम होती है**
(अ) X-किरणें (ब) $\gamma$-किरणें
(स) $\beta$-किरणें (द) $\alpha$-किरणें

6. **विद्युत चुम्बकीय तरंगों के गुणधर्म के बारे में कौनसा कथन गलत है?**
(अ) विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र सदिश एक ही समय व स्थान पर अधिकतम व न्यूनतम मान ग्रहण करते है
(ब) विद्युत चुम्बकीय तरंगों में ऊर्जा विद्युत व चुम्बकीय सदिशों में समान रूप से विभाजित होती है
(स) विद्युत व चुम्बकीय दोनों सदिश एक दूसरे के समान्तर होते है व तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् होते है
(द) इन तरंगों को किसी पदार्थ माध्यम की आवश्यकता नहीं होती

7. **किसके लिए भू तरंगे सम्भव है**
(अ) लघु परास पर कम रेडियो आवृत्ति
(ब) लघु परास पर उच्च रेडियो आवृत्ति
(स) दीर्घ परास पर कम रेडियो आवृत्ति
(द) लघु परास पर निम्न रेडियो आवृत्ति

8. **एक TV टावर की ऊँचाई h मीटर है। यदि पृथ्वी की त्रिज्या R मीटर है, तब TV प्रसारण के द्वारा घेरा गया क्षेत्रफल (यदि h < R)**
(अ) $\pi R^2$ (ब) $\pi h^2$
(स) $2\pi Rh$ (द) $\pi Rh$

9. **संचरण के किस तरीके के द्वारा रेडियों तरंगों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर भेजा सकता है?**
(अ) भू तरंग संचरण (ब) आकाश तरंग संचरण
(स) अन्तरिक्ष तरंग संचरण (द) ये सभी

10. **एक आयाम माडुलित तरंग में अधिकतम आयाम 10 V व न्यूनतम आयाम 2 V है। मॉडुलन सूचकांक *m* है।**
(अ) 2 / 3 (ब) 1 / 3
(स) 3 / 4 (द) 1 / 5

11. **अति मॉडुलित (Over modulated) तरंग का मॉडुलेशन गुणांक है**
(अ) 1 (ब) शून्य
(स) <1 (द) > 1

**उत्तरमाला**

| प्रश्न क्रमांक | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| उत्तर | (स) | (स) | (ब) | (स) | (ब) | (स) | (अ) | (स) |
| प्रश्न क्रमांक | 9 | 10 | 11 | | | | | |
| उत्तर | (द) | (अ) | (द) | | | | | |

**हल एवं संकेत ( बहुचयनात्मक प्रश्न )**

1. (स)
2. (स)
3. (ब)
4. (स) $\vec{E}$ व $\vec{B}$ सदिशों के तल के लम्बवत् अर्थात् $\vec{E}\times\vec{B}$ के अनुदिश
5. (ब)
6. (स)
7. (अ) लघु परास सीमित दूरी लगभग 500 किमी. तक तथा कम रेडियो आवृत्ति 1500 KHz से कम।
8. (स) यदि h < R तब $d = \sqrt{2Rh}$
$\therefore$ T.V. प्रसारण के लिये घेरा गया क्षेत्रफल $A = \pi d^2$
$$A = \pi \times 2Rh$$
$$= 2\pi Rh$$
9. (द)
10. (अ)
$$A_{max} = A_C + A_m = 10\text{ V}$$
$$A_{min} = A_C - A_m = 2\text{V}$$
$\therefore$ $A_C = 6$ V तथा $A_m = 4$V
$\therefore$ मॉडुलन सूचकांक $m = \dfrac{A_m}{A_C} = \dfrac{4}{6}$
या $m = \dfrac{2}{3}$
11. (द)

## अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1 **विद्युत चुम्बकीय तरंगे निर्वात् में किस वेग से गमन करती हैं?**

उत्तर– विद्युत चुम्बकीय तरंगे निर्वात में प्रकाश के वेग $C = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$ से गमन करती है।

**2 विद्युत चुम्बकीय तरंगों के लिये आयनमंडल के अपवर्तनांक पर पृथ्वी तल से ऊँचाई बढ़ने पर क्या प्रभाव पड़ता है?**

उत्तर– पृथ्वी तल से ऊँचाई बढ़ने पर आयनमण्डल की सघनता में कमी होती जाती है, अतः विद्युत चुम्बकीय तरंगों के लिये आयनमण्डल का अपवर्तनांक भी घटता जाता है।

**3 X-दिशा में संचरित विद्युत चुम्बकीय तरंग के $\vec{E}$ सदिश के कंपन Y-अक्ष के समान्तर हैं तो $\vec{B}$ सदिश के कम्पन किस अक्ष के समान्तर होंगे?**

उत्तर– $\vec{B}$ सदिश के कम्पन Z अक्ष के समान्तर होंगे।

**4 अधिक दूरी तक संचरण के लिये किस विधि का उपयोग किया जाता है?**

उत्तर– अधिक दूरी तक संचरण के लिए व्योम तरंग संरचण विधि का उपयोग किया जाता है।

**5 व्योम तरंगों द्वारा दूरस्थ स्थानों तक संकेतों के प्रसारण हेतु आवृत्ति सीमायें क्या हैं?**

उत्तर– व्योम तरंगों द्वारा दूरस्थ स्थानों तक संकेतों के प्रसारण के लिये आवृत्ति सीमा की परास 1.5 MHz से 30 MHz होती है।

**6 संचार तंत्र का वह भाग क्या कहलाता है, जो संदेश को संचार चैनल पर संचरित होने योग्य परिवर्तित कर अभिग्राही को प्रेषित करता है?**

उत्तर– प्रेषी या प्रेषित्र (Transmitter) कहलाता है।

**7 सूचना संकेत को वाहक तरंगों पर अध्यारोपित करने की प्रक्रिया क्या कहलाती है?**

उत्तर– मॉडुलन

**8 नैनेतकनीकी में किस आकार की वस्तुओं का अध्ययन किया जाता है?**

उत्तर– नैनेतकनीकी में 100 nm से छोटे आकार की वस्तुओं का अध्ययन किया जाता है।

## लघुत्तरात्मक प्रश्न

**1 विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के घटकों के नाम बताते हुए तरंगदैर्ध्य के क्रम में लिखिये।**

उत्तर– विद्युत चुम्बकीय तरंगों के घटक तरंगदैर्ध्य

| | | |
|---|---|---|
| (i) | रेडियो तरंगें | $10^{4}$ m से $10^{-1}$ m |
| (ii) | सूक्ष्म तरंगें | $3 \times 10^{-1}$ m से $10^{-4}$ m |
| (iii) | अवरक्त तरंगें | $10^{-3}$ m से $7 \times 10^{-7}$ m |
| (iv) | दृश्य प्रकाश | $7.8 \times 10^{-7}$ m से $3.8 \times 10^{-7}$ m |
| (v) | पराबैंगनी तरंगें | $4 \times 10^{-7}$ m से $6 \times 10^{-10}$ m |
| (vi) | X-किरणें | $10^{-8}$ m से $10^{-12}$ m |
| (vii) | $\gamma$-तरंगें | $10^{-10}$ m से $10^{-14}$ m |

**2 विद्युत चुम्बकीय तरंगों के चार मुख्य गुण लिखिये।**

उत्तर– विद्युत चुम्बकीय तरंगों के चार मुख्य गुण–

(i) विद्युत चुम्बकीय तरंगों के संरचण के लिये द्रव्य माध्यम (Material Medium) की आवश्यकता नहीं होती है, अर्थात् ये निर्वात् में भी संचरित हो सकती है।

(ii) विद्युत चुम्बकीय तरंगें निर्वात में $c = \dfrac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$ वेग (प्रकाश के वेग) से संचरित होती है।
यहाँ $\mu_0$ तथा $\epsilon_0$ क्रमशः निर्वात की विद्युतशीलता तथा चुम्बकीय पारगम्यता है।

(iii) विद्युत चुम्बकीय तरंगें अनुप्रस्थ प्रकृति की होती है, अर्थात् इन तरंगों के घटक विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ एवं चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ आपस में एक दूसरे के लम्बवत् होते हैं तथा साथ ही तरंग से संचरण की दिशा के भी लम्बवत् होते हैं।

(iv) इन तरंगों की ऊर्जा विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों में समान रूप से विभाजित होती है।

**3 भू-तरंगों तथा व्योम तरंगों को समझाइये।**

उत्तर– **भू–तरंगें (Ground Waves) :** ये वे रेडियो तरंग है, जो भू तरंग संचरण में पृथ्वी के पृष्ठ के अनुदिश गमन करती है तथा पृथ्वी की वक्रता का अनुकरण करती है। स्रोत से दूरी के साथ इनकी ऊर्जा में कमी आती जाती है। अतः इनके द्वारा संचरण का उपयोग अल्प दूरी तक ही सीमित रहता है। इनकी आवृत्ति 1500 KHz = 1.5 MHz से कम होती है।

**व्योम तरंगें (Sky Waves) :** पृथ्वी पर लम्बी दूरी का संचार आयनमण्डल द्वारा जिन विद्युत चुम्बकीय तरंगों को परावर्तन द्वारा संभव हो पाता है, व्योम तरंगें कहलाती है। इनकी आवृत्ति परास 2MHz से 30 MHz होती है। 30 MHz से अधिक आवृत्ति की रेडियो तरंगें आयनमण्डल को पार कर जाती है।

**4 संचार तंत्र किसे कहते हैं?**

उत्तर– किसी सूचना, संदेश, समाचार, संवाद या संकेत को एक स्थान से दूसरे स्थान तक या एक व्यक्ति से अन्य व्यक्ति तक प्रेषण या प्राप्त करने की प्रक्रिया संचार कहलाती है तथा प्रक्रिया के लिए प्रयुक्त व्यवस्था संचार तंत्र कहलाती है। सरलतम संचार तंत्र के तीन अवयव / भाग होते हैं–

(i) सूचना स्रोत एवं प्रेषित्र (ii) माध्यम / चेनल
(iii) अभिग्राही

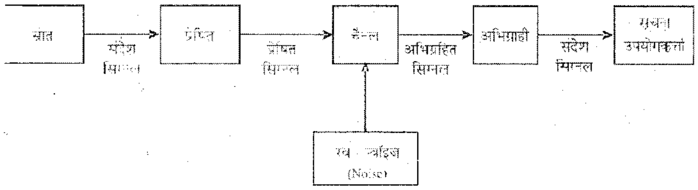
**5 संचार तंत्र में कितने और कौन-कौन से भाग होते हैं?**

उत्तर– संचार तंत्र के मुख्यतः निम्न भाग होते हैं–

(i) सूचना स्रोत (ii) प्रेषित्र
(iii) चेनल (iv) अभिग्राही
(v) सूचना उपभोगकर्ता

निम्न ब्लॉक आरेख में उपरोक्त सभी भागों का पारस्परिक संयोजन दर्शाया गया है, जो संचार तंत्र के रूप में प्रेषण से अभिग्रहण की

प्रक्रिया को प्रदर्शित करता है।




चित्र 17.25

6 **मॉडुलन को समझाइये।**

**उत्तर–** जब प्रेषक एवं अभिग्राही के बीच दूरी अधिक होती है, तो इस अवस्था में (i) सबसे पहले मूल संकेतों को विद्युतीय संकेतों में बदला जाता है। (ii) तत्पश्चात् इसके अनुरूप उच्च आवृत्ति की विद्युत चुम्बकीय वाहक तरंगों (Carrier Waves) के किसी विशिष्ट गुण (आयाम, आवृत्ति, कला) को परिवर्तित किया जाता है। अत: सूचना को सम्प्रेषित करने के लिये तरंग में किया जाने वाला परिवर्तित मॉडुलन कहलाता है। इसमें संकेतों को प्रेषण के लिए उच्च आवृत्ति वाली ऐसी ही वाहक तरंगों पर अध्यारोपित किया जाता है, जो सूचना के वाहक की तरह कार्य करती है।

7 **नैनो संरचना के प्रेक्षण के लिए प्रयोग किए जाने वाले उपकरणो के नाम दीजिए।**

**उत्तर–** नैनों संरचना के प्रेक्षण के लिए प्रयोग किए जाने वाले उपकरण–

(i) प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी (ii) इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी

(iii) स्केनिंग प्रोब सूक्ष्मदर्शी

## निबंधात्मक प्रश्न

1 **विद्युतचुम्बकीय तरंगों की क्या प्रकृति होती है? विद्युतचुम्बकीय तरंगों से सम्बन्धित हर्टज के प्रयोग का वर्णन कीजिये।**

**उत्तर–** अनुच्छेद 17.3 पर देखें।

2 **विद्युतचुम्बकीय तरंगों के विभिन्न घटकों को वर्णन करते हुये इनके गुणों का उल्लेख कीजिये।**

**उत्तर–** अनुच्छेद 17.4 पर देखें।

3 **मॉडुलन व विमॉडुलन की प्रक्रिया समझाइये। यह किस प्रकार संदेश संचरण में उपयोग में लाये जाते हैं?**

**उत्तर–** अनुच्छेद 17.7 तथा 17.7.3 पर देखें।

4 **आयाम मॉडुलन, आवृत्ति मॉडुलन व कला मॉडुलन का सचित्र वर्णन कीजिये।**

**उत्तर–** अनुच्छेद 17.7 पर देखें।

5 **प्रकृति में प्रेक्षित नैनोतकनीक के उदाहरणों को समझाइये।**

**उत्तर–** अनुच्छेद 17.8.1 पर देखें।

## आंकिक प्रश्न

1 **X-दिशा में संचरित समतल ज्यावक्रीय विद्युत चुम्बकीय तरंग के E सदिश का अधिकतम मान किसी क्षण किसी बिन्दु पर 600 वोल्ट/मीटर है। इस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात कीजिये। प्रकाश का वेग** $= 3 \times 10^8$ m/s

**उत्तर–** किसी क्षण किसी बिन्दु पर विद्युत चुम्बकीय तरंग के $\vec{E}$ सदिश का अधिकतम मान,

$$E_0 = 600 \text{ वोल्ट / मीटर}$$

इस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ का मान

$$B_0 = ?$$

प्रकाश का वेग $c = 3 \times 10^8$ m/s

$$\because \quad c = \frac{E_0}{B_0}$$

या $$B_0 = \frac{E_0}{c}$$

या $$B_0 = \frac{600}{3 \times 10^8}$$

या $$B_0 = 2 \times 10^{-6} \text{ Web/m}^2$$

2 **एक दूरदर्शन मीनार की ऊँचाई 75 m है। किस महत्तम दूरी व क्षेत्रफल में यह दूरदर्शन संचरण प्राप्त किया जा सकता है? पृथ्वी की त्रिज्या** $= 6.4 \times 10^6$ m

**उत्तर–** मीनार की ऊँचाई $h = 75$ m.

पृथ्वी की त्रिज्या $R = 6.4 \times 10^6$ m.

प्रसारण की महत्तम दूरी $d = ?$

प्रसारण का महत्तम क्षेत्रफल $A = ?$

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

$$= \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 75}$$

$$= \sqrt{960 \times 10^6 m}$$

या $$d = 31 \times 10^3 \text{ m.}$$

या $$d = 31 \text{ km.}$$

$$A = \pi d^2$$

या $$A = 3.14 \times 960 \times 10^6 \text{ m}^2$$

या $$A = 3014.4 \text{ km}^2$$

## अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न

1. विद्युत चुम्बकीय तरंगों की प्रकृति होती है–
   (अ) अनुदैर्घ्य (ब) अनुप्रस्थ
   (स) यांत्रिक (द) अनुप्रस्थ व अनुदैर्घ्य
2. विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम में निम्न में से कौन से घटक की तरंगदैर्घ्य न्यूनतम होती है?
   (अ) गामा-किरणों की (ब) X-किरणों की
   (स) रेडियो तरंगों की (द) सूक्ष्म तरंगों की
3. निम्न में से किस रंग के प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, पीले रंग के प्रकाश के तरंगदैर्घ्य से अधिक होता है?

(अ) हरा (ब) नीला
(स) लाल (द) बैंगनी

4. निर्वात में विद्युत चुम्बकीय तरंगों का वेग होता है–
(अ) $3 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड (ब) $3 \times 10^7$ मीटर/सेकण्ड
(स) $3 \times 10^6$ मीटर/सेकण्ड (द) $3 \times 10^{10}$ मीटर/सेकण्ड

5. वायुमण्डल में स्थित ओजोन परत, सूर्य से आने वाले किन हानिकारक विकिरणों से हमारी रक्षा करती है?
(अ) X-किरणों से (ब) गामा किरणों से
(स) पराबैंगनी किरणों से (द) सूक्ष्म किरणों से

6. निम्न में से किस आवृत्ति की तरंगें आयनमण्डल को भेदित कर सकती हैं–
(अ) 5 हर्ट्ज से अधिक (ब) 10 मेगा हर्ट्ज से अधिक
(स) 20 मेगा हर्ट्ज से अधिक (द) 15 मेगा हर्ट्ज से अधिक

7. पांइटिंग सदिश $\vec{S}$ का मान होगा–
(अ) $\vec{S} = \frac{1}{\mu}(\vec{E}\times\vec{B})$ (ब) $\vec{S} = \mu(\vec{E}\times\vec{B})$
(स) $\vec{S} = \vec{E}\cdot\vec{B}$ (द) $\vec{S} = \mu(\vec{E}\cdot\vec{B})$

8. निम्न में से कौनसी तरंगें विद्युतचुम्बकीय तरंगें नहीं हैं–
(अ) रेडियो तरंगें (ब) ध्वनि तरंगें
(स) अवरक्त तरंगें (द) सूक्ष्म तरंगें

9. विद्युतचुम्बकीय स्पेक्ट्रम का वह घटक जिसका उपयोग क्रिस्टल संरचना के अध्ययन के लिये किया जाता है, निम्न में से है–
(अ) सूक्ष्म तरंगें (ब) रेडियो तरंगें
(स) X-किरणें (द) अवरक्त तरंगें

10. निम्न में से किस रंग के प्रकाश का तरंगदैर्घ्य हरे रंग के प्रकाश के तरंगदैर्घ्य से अधिक होता है–
(अ) पीला (ब) नीला (स) जामुनी (द) बैंगनी

11. आयनमण्डल का विद्युतचुम्बकीय तरंगों के लिये अपवर्तनांक के मान में पृथ्वी तल से ऊँचाई में वृद्धि होने पर–
(अ) वृद्धि होती है। (ब) कमी होती है।
(स) नियत रहता है।
(द) वृद्धि होकर फिर कमी होने लगती है।

12. अनुरूप संकेत की प्रकृति होती है–
(अ) असंतत (ब) संतत
(स) विकृत (द) अनुप्रस्थ

13. बैण्ड चौड़ाई निर्भर करती है–
(अ) वाहक-आवृत्ति पर
(ब) मॉडुलित संकेत की आवृत्ति पर
(स) केबल की मोटाई पर
(द) परिपथ के प्रतिरोध पर

14. कम आवृत्ति की तरंगों व कम दूरियों के लिये सबसे अधिक उपयोगी संचरण होगा–
(अ) आकाश तरंगों द्वारा (ब) भू-तरंगों द्वारा
(स) पृष्ठीय तरंगों द्वारा (द) व्योम तरंगों द्वारा

15. आकाश तरंग संचरण उपयोगी है–
(अ) कम आवृत्ति की तरंगों व अधिक दूरियों के लिये
(ब) कम आवृत्ति की तरंगों व कम दूरियों के लिये
(स) उच्च आवृत्ति की तरंगों के लिये
(द) परा-उच्च आवृत्ति की तरंगों के लिये

16. लाइन-संचार में उपयोग होता है–
(अ) समाक्ष केबल (ब) प्रकाशीय तन्तु केबल
(स) ट्विस्टेड पेयर (द) उपरोक्त सभी

17. मॉडुलन की प्रक्रिया में–
(अ) सूचना संकेत को वाहक संकेत पर अध्यारोपित किया जाता है।
(ब) वाहक संकेत को सूचना संकेत पर अध्यारोपित किया जाता है।
(स) बैण्ड चौड़ाई बढ़ाई जाती है।
(द) बैण्ड चौड़ाई स्थिर रखी जाती है।

18. UHF परास की आवृत्तियों का संचरण प्रायः होता है–
(अ) भू-तरंगों द्वारा (ब) आकाश तरंगों द्वारा
(स) पृष्ठीय तरंगों द्वारा (द) व्योम तरंगों द्वारा

19. किस संचय की गुणवत्ता बेहतर होती है–
(अ) डिजिटल (ब) अनुरूप
(स) दोनों की बराबर होती है (द) फार्मेट पर निर्भर करती है

20. यदि वाहक तरंग की आवृत्ति $f_c$ तथा संदेश सिग्नल की उच्चतम आवृत्ति $f_M$ हो तो इनमें सही संबंध होगा–
(अ) $f_c >> f_M$ (ब) $f_c << f_M$ (स) $f_c = f_M$ (द) $f_c \geq f_M$

## हल एवं संकेत

1. (ब) 2. (अ) 3. (स) 4. (अ) 5. (स) 6. (स) 7. (अ) 8. (ब) 9. (स) 10. (अ) 11. (ब) 12. (ब) 13. (अ) 14. (ब) 15. (द) 16. (द) 17. (अ) 18. (ब) 19. (अ) 20. (अ)

## लघुत्तरात्मक प्रश्न

**प्रश्न 1. प्रेरित विद्युत क्षेत्र जो कि परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र से उत्पन्न होता है। शीघ्रता से दिखाई देता है। जबकि प्रेरित चुम्बकीय क्षेत्र जो परिवर्ती विद्युत क्षेत्र के कारण उत्पन्न होता है। इतनी शीघ्रता से दिखाई नही देता। क्यों ?**

**उत्तर**–परिवर्ती विद्युत क्षेत्र, विस्थापन धारा उत्पन्न करता है। जिसका मान बहुत कम होता है। इस कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र भी बहुत कम होता है, जिसे आसानी से नही देखा जा सकता। प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में विस्थापन धारा का मान, धारा की कोणीय आवृत्ति बढ़ा कर बढाया जा सकता है। इस कारण प्रेरित विद्युत क्षेत्र भी बढ़ जायेगा। प्रेरित विद्युत क्षेत्र का मान अधिक फेंरो की कुण्डली का उपयोग करके भी बढ़ाया जा सकता है।

**प्रश्न 2. एक परिवर्ती आवृत्ति का प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत एक संधारित्र से जुड़ा है। प्रत्यावर्ती धारा की आवृत्ति बढ़ाने पर विस्थापन का मान बढ़ेगा अथवा घटेगा ?**

**उत्तर**–प्रत्यावर्ती धारा की आवृत्ति बढाने पर संधारित्र की प्रतिघात $\left(X_c = \frac{1}{2\pi fC}\right)$ कम हो जायेगी। अतः चालन धारा का मान बढ़ जायेगा। क्यों कि विस्थापन धारा चालन धारा के बराबर होती है। इसलिये विस्थापन धारा का मान भी बढ़ जायेगा।

**प्रश्न 3. प्रकाश की तरंगें निर्वात् में भी गमन कर सकती है जब कि ध्वनि तरंगें नहीं, क्यों ?**

**उत्तर**–प्रकाश तरंगें विद्युत-चुम्बकीय तरंगें है, अतः निर्वात् में भी गमन कर सकती है। इन्हें किसी माध्यम की आवश्यकता नही है। जबकि ध्वनि तरंगें यांत्रिक तरंगे है जिनके संचरण के लिए प्रत्यास्थ माध्यम की आवश्यकता होती है। इस कारण ध्वनि तरंगे निर्वात् में गमन नही कर सकती है।

**प्रश्न 4. चुम्बकीय बल रेखाएँ किसी बिन्दु से उत्सर्जित नही हो सकती न ही किसी बिन्दु पर समाप्त हो सकती है। जबकि छड़ से उत्सर्जित होकर दक्षिणी ध्रुव पर समाप्त होती प्रतीत होती है। क्या बाद वाला कथन पहले कथन के विपरीत है ?**

**उत्तर**–नहीं। क्यों कि छड़ चुम्बक में चुम्बकीय रेखाए दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर गमन करती है। चुम्बकीय क्षेत्र कुल फ्लक्स ऐसे पृष्ठ में जिसमें उत्तरी व दक्षिणी ध्रुव स्थित हो , सदैव शुन्य होगा।

**प्रश्न 5. यदि आकाश में किसी क्षेत्र में चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की एक बन्द लूप स्थित है। क्या आवश्यक है कि बन्द क्षेत्र के अनुदिश वास्तव में आवेश प्रवाहित हो रहे है ?**

**उत्तर**–यह आवश्यक नही है। विस्थापन धारा आकाश में चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की बन्द लूप उत्पन्न कर सकती है।

**प्रश्न 6. चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की एक बन्द लूप परिवर्ती विद्युत क्षेत्र के कारण उत्पन्न होती है। क्या यह आवश्यक है कि $\vec{E}$ व $\frac{d\vec{E}}{dt}$ का मान लूप के सभी बिन्दुओं व लूप द्वारा बनाये क्षेत्र में शून्य नही है ?**

**उत्तर**–यह आवश्यक नही है। आवश्यक यह है कि कुल विद्युत फ्लक्स जो लूप से गुजर रहा है समय के साथ परिवर्ती होना चाहिये।

**प्रश्न 7. एक परिवर्ती प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत एक संधारित्र से जुड़ा है। क्या विस्थापन धारा में वृद्धि अथवा कमी प्रत्यावर्ती धारा की आवृत्ती कम कर देगी।**

**उत्तर**–आवृत्ति में कमी, संधारित्र की प्रतिघात बढा देगी अतः धारा के मान में कमी होगी जो प्लेटों के मध्य विस्थापन धारा के बराबर होगी।

**प्रश्न 8. वायुमण्डल में ओजोन परत मानव जीवन के लिए क्यों आवश्यक है ?**

**उत्तर**–ओजोन परत स्ट्रैटोस्फीयर के ऊपर स्थित है, पराबैंगनी विकिरणों, X-किरणों, $\gamma$-किरणों, व अन्य कास्मिक विकिरणों का अवशोषण कर लेती है। उपरोक्त सभी विकिरण जीवित प्राणियों के लिए हानिकारक है। अतः ओजोन परत मानव जीवन के संवर्धन के लिए आवश्यक है।

**प्रश्न 9. यदि पृथ्वी के चारों ओर वायुमण्डल नही हो तो पृथ्वी का औसत ताप वर्तमान की तुलना में अधिक अथवा कम होगा ?**

**उत्तर**–पृथ्वी का औसत ताप कम होगा क्योंकि हरित गृह प्रभाव वायुमण्डल की अनुपस्थिति में नही होगा।

**प्रश्न 10. ऊचाँई के साथ पृथ्वी के वायुमण्डल की चालकता क्यों बढ़ जाती है ?**

**उत्तर**–हम जानते है, ऊचाँई के साथ वायुमण्डल का घनत्व कम होता जाता है। उच्च ऊर्जा के कण (जैसे $\gamma$-किरणें, कास्मिक किरणें) जो आकाशीय पिण्डों से पृथ्वी की ओर आते है, इस भाग में स्थित गैस के परमाणुओं को पूर्णतया आयनीकृत कर देती है। पृथ्वी की सतह के समीप आते टक्करों के कारण इनकी आयनन क्षमता घटती जाती है। इस कारण वायुमण्डल के उपरी भाग में विद्युत चालकता बढती जाती है।

**प्रश्न 11. मैक्सवेल की समीकरणें व लॉरेंज बल का नियम दिया गया है-**

(i) $\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

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

(iii) $\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{A}$

(iv) $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I_C + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt}\int_S \vec{E}\cdot d\vec{A}$

लॉरेंज बल $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B})$

**इन समीकरणें से सम्बन्धित निम्न के उत्तर दो-**

**(a) चारों समीकरणों से सम्बन्धित प्रचलित नाम लिखो।**

**(b) कौन-कौन सी समीकरणों $\vec{E}$ और $\vec{B}$ के स्त्रोत प्रदर्शित करती है और कौन सी नहीं ? आवेश रहित होने की स्थिति में समीकरणों का क्या प्रारूप होगा।**

**(c) स्थिर विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रों के लिए मैक्सवेल समीकरणें लिखिये।**

**(d) यदि चुम्बक का एक ध्रुव होता तो, कौन सी समीकरणों को परिवर्तित करना पड़ता।**

**(e) चारों समीकरणों में कौन सी समीकरण यह प्रदर्शित करती है कि चुम्बकीय क्षेत्र किसी से उत्सर्जित अथवा समाप्त किया जा सकता है।**

**(f) चारों समीकरणों में कौनसी समीकरण यह प्रदर्शित करती है कि स्थिर विद्युत क्षेत्र की रेखाऐं बन्द लूप नहीं बनाती ?**

**(g) क्या उपरोक्त समीकरणें विभिन्न माध्यमों, परावैद्युत, चालक व प्लाज्मा इत्यादि के लिए सही है।**

**हल**–(a) (i) गॉउस का नियम (स्थिर विद्युतिकी)

(ii) गॉउस का नियम (स्थिर चुम्बकत्व)

(iii) फैराडे का विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण नियम

(iv) एम्पियर का परिक्रमी नियम, मैक्सवेल के सुधार के साथ।

(b) समीकरण (i) व (iv) में $q$ व I के स्त्रोत है। समीकरण (ii) व (iii) में नहीं। आवेश रहित के लिए $q = 0, I = 0$

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{(समीकरण (i) से)}$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt}\int_S \vec{E}\cdot d\vec{A} \quad \text{(समीकरण (iv) से)}$$

(c) $\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$$

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

(d) समीकरण (ii) व (iii) में परिवर्तन करना होगा।

समीकरण (ii) इस तथ्य पर आधारित है कि अकेले ध्रुव का अस्तित्व नहीं है। यदि अकेला ध्रुव है तो समीकरण के दाहिने पक्ष में पद $q_m$ चुम्बकीय ध्रुव की सामर्थ्य भी लेना होगा जो गॉस के नियम के तुल्य होगा। तब–

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = q_m \times \text{नियतांक}$$

इसी प्रकार (iii) समीकरण

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{l} = I_m \times \text{नियतांक} - \frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{A}$$

(e) समीकरण (ii)

(f) समीकरण (iii) यदि $\vec{E}$ समय पर निर्भर नहीं हो

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

(g) मैक्सवेल समीकरण सभी माध्यमों के लिए सही है।

**प्रश्न 12.** आकाश तरंग संचरण में सूक्ष्म तरंग क्यों अधिक उपयुक्त है?

**उत्तर**-सूक्ष्म तरंगों की आवृत्ति पर विद्युत चुम्बकीय तरंगे बाधाओं पर मुड़ती नहीं है अर्थात् उनमें एकदिशिक गुण होता है क्योंकि इनकी आवृत्ति बहुत अधिक होती है तथा तरंगदैर्ध्य सूक्ष्म होती है।

**प्रश्न 13.** मॉडुलन की आवश्यकता समझाइए।

**उत्तर**-संचार तंत्र का कार्य सूचना को एक स्थान से दूसरे स्थान तक प्रेषित करना होता है परन्तु सूचना के संकेत (वोल्टता या धारा) को बहुत अधिक दूरी तक प्रेषित करना संभव नहीं क्योंकि इनकी आवृत्ति बहुत कम होती है। अतः सूचना संकेत को संचार चैनल पर प्रेषण योग्य बनाने हेतु इसमें कुछ परिवर्तन करने पड़ते हैं। इसके लिए मॉडुलन की आवश्यकता पड़ती है। इसके लिए उच्च वाहक तरंगों पर न्यून आवृत्ति के संकेत को अध्यारोपित कर उन्हें प्रेषित ऐन्टिना से मुक्त आकाश में विकिरत कर दिया जाता है, सूचना के संकेत को इस प्रकार बदलने की प्रक्रिया मॉडुलन कहलाती है।

**प्रश्न 14.** लम्बी दूरी के रेडियो प्रसारण के लिए लघुतरंग बैण्ड (Short wave band) क्यों उपयोग किया जाता है?

**उत्तर**-लघु तरंग बैंड रेडियो तरंगे लम्बी दूरी के प्रसारण के लिए उपयोग में लायी जाती है क्योंकि ये आसानी से आयन मण्डल के द्वारा पृथ्वी पर परावर्तित हो जाती है, इसका कारण यह है कि इनकी आवृत्ति 30MHz से कम होती है।

**प्रश्न 15.** T.V. सिग्नलों के प्रेषण के लिए व्योम तरंग संचरण का उपयोग संभव क्यों नहीं है?

**उत्तर**-टी.वी. संकेत आयन मण्डल के द्वारा उचित रीति से परावर्तित नहीं हो पाते क्योंकि उनकी आवृत्ति 30MHz से अधिक होती है अर्थात् ये सूक्ष्म तरंगें कहलाती है। ये संकेत आयन मण्डल को भेदित कर जाते हैं। इस कारण T.V. सिग्नलों के प्रेषण के लिए व्योम तरंग संचरण का उपयोग संभव नहीं है।

**प्रश्न 16.** किसी टी.वी. टॉवर की ऊँचाई में 21% की वृद्धि करने पर उसका कितने प्रतिशत प्रेषण परिसर प्रभावित होगा?

**उत्तर**-प्रेषण परिसर $d = \sqrt{2rh}$

माना प्रारम्भ में टी.वी. टॉवर की ऊँचाई $h_1$ तथा प्रसारण दूरी $d_1$ है तो

$d_1 = \sqrt{2rh_1}$ जहाँ r = पृथ्वी की त्रिज्या

टॉवर की ऊँचाई बढ़ने के बाद परास

$d_2 = \sqrt{2rh_2}$ जहाँ $h_2$ = बढ़े गये ऐन्टिना की ऊँचाई

अतः $$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

ऊँचाई में वृद्धि = 21% तब $\frac{121}{100}h_1 = h_2$

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{121}{100}} = 1.1 = \frac{11}{10}$$

**प्रश्न 17.** आयाम मॉडुलन (Amplitude modulation) क्या है?

**उत्तर**-आयाम मॉडुलन में वाहक तरंग के आयाम में सूचना सिग्नल अर्थात् मॉडुलक सिग्नल (Modulating signal) के आयाम के अनुसार परिवर्तन होता है।

जबकि आयाम मॉडुलित तरंग (modulated wave) की आवृत्ति, वाहक तरंग की आवृत्ति के समान रहती है।

**प्रश्न 18.** लम्बी दूरी के टी.वी. संचरण के लिए उपग्रह का उपयोग क्यों करते हैं?

**उत्तर**-लम्बी दूरी के टी.वी. संचरण के लिए टी.वी संकेत आयन मण्डल के द्वारा उचित रीति से परावर्तित नहीं हो पाते हैं क्योंकि इनकी आवृत्ति बहुत अधिक होती है और वे आयन मण्डल को भेदित कर जाते हैं। अतः इनके परावर्तन के लिए उपग्रह का उपयोग करते हैं। जिसमें सूक्ष्म तरंगों का उपयोग किया जाता है। उपग्रह एक रिले केन्द्र की तरह कार्य करता है।

**प्रश्न 19.** भू तरंग संचरण क्या है?

**उत्तर**-पृथ्वी के पृष्ठ के निकट विद्युत चुम्बकीय तरंगे पृष्ठीय तरंगों के रूप में प्रसारित होती है जिन्हें भू-तरंगें कहते हैं। इनकी आवृत्ति न्यून होती है। संचरण की इस विधि को पृष्ठीय तरंग संचरण या भू तरंग संचरण कहते हैं।

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

इसमें प्रेषित्र व अभिग्राही ऐन्टिना पृथ्वी की सतह से अधिक ऊँचाई पर नहीं होते हैं। भू तरंग संचरण लम्बी दूरियों के लिए उपयुक्त नहीं है। यह केवल न्यून आवृत्तियों (500 KHz से 1500 KHz) अर्थात् दीर्घ तरंग दैर्ध्य की रेडियो तरंगों के प्रसारण में किया जाता है।

**प्रश्न 20.** बिंदु-बिंदु संचार किसे कहते हैं?

**उत्तर**-इस विधा में एक प्रेषक तथा एक ग्राही होता है। किसी व्यक्ति द्वारा भेजा गया संदेश या सूचना प्रेषक के माध्यम अथवा सम्पर्क द्वारा संचारित किया जाता है जिसे ग्राही द्वारा प्राप्त कर लिया जाता है।

**उदाहरण**-टेलीफोन व्यवस्था।

**प्रश्न 21.** संचार उपग्रह में प्रयोग आने वाली आवृत्तियों की परास लिखिए।

इन तरंगों व प्रकाश तरंगों में क्या उभयनिष्ठ है?

**उत्तर**-संचार उपग्रह में काम आने वाली तरंगों की आवृत्ति परास

(i) 3.7 – 4.2 GHz डाउनलिंक के लिए

(iii) 5.9–6.4 GHz अपलिंक के लिए

संचार उपग्रह में उपयोग होने वाली तरंगें तथा प्रकाश तरंगें दोनों ही विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं तथा दोनों ही सीधी रेखा में गमन करती है।

## आंकिक प्रश्न

**प्र. 1. एक भू-केन्द्र अभिग्राही (a) 5 MHz तथा (b) 100 MHz के संकेत ग्रहण कर रहा है जिन्हें 300 *m* ऊँचाई पर स्थित भू-प्रेषित्र से संप्रेषित किया जा रहा है। दोनों के बीच 100 *km* दूरी है। पता लगाइए कि संकेत अंतरिक्ष तरंगों के रूप में, व्योम तरंग से या उपग्रह ट्रांसपोंडर (प्रेषानुकर) से प्राप्त किए जा रहे हैं। पृथ्वी की त्रिज्या $\approx 6.4 \times 10^6$ *m* आयनमण्डल का $N_{max} = 10^{12}\ m^3$.**

**उत्तर**-अंतरिक्ष तरंगों द्वारा संचार का अधिकतम व्यापित परास

$$= \sqrt{2rh}$$
$$= \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 300}$$
$$= 62\ km$$

चूँकि प्रेषित्र-अभिग्राही दूरी 100 *km* है अतः दोनों संकेतों के लिए अंतरिक्ष संचरण संभव नहीं है।

आयन मण्डल संचरण के लिए

$$f_c = 9\ (N_{max})^{1/2}$$
$$= 9 \times (10^{12})^{1/2}$$
$$= 9\ \text{MHz}$$

चूँकि 5 MHz का संकेत ($< f_c$) की सीमा में है अतः इसे आयन मण्डल संचरण से प्राप्त किया जाएगा जबकि 100 MHz संकेत का

संचरण उपग्रह द्वारा ही संभव है।

**प्रश्न 2. एक टी.वी. टॉवर जिसकी ऊँचाई 400 मीटर है, उसकी प्रसारण दूरी (Coverage Range) या क्षितिज दूरी ज्ञात कीजिए, यदि पृथ्वी की त्रिज्या 6400 Km है?**

उत्तर- अधिकतम प्रसारण दूरी

$d = \sqrt{2rh}$ जहाँ $r = 6400 \text{ Km} = 6400\times10^3 \text{m}$

$h = 400 \text{ m}$

$d = \sqrt{2\times6400\times10^3\times400}$

$= 71554.17 \text{ m} = 71.554 \text{ Km}$

**प्रश्न 3. एक टी.वी. टॉवर की लम्बाई 80 मी है। उस अधिकतम दूरी को ज्ञात कीजिए जो कि टॉवर से संकेत को प्रसारित कर सके।**

उत्तर- अधिकतम संप्रेषण दूरी

$d = \sqrt{2rh}$ जहाँ $r = 6400 \text{ Km} = 6400\times10^3 \text{m}$

$h = 80 \text{ m}$

$= \sqrt{2\times6400\times10^3\times80}$

$= 32000 \text{ m}$

$= 32 \text{ Km}$

**प्रश्न 4. 12KHz आवृत्ति तथा 20 वोल्ट शिखर वोल्टता के संदेश सिग्नल का उपयोग किसी 12MHz आवृत्ति तथा 30 वोल्ट शिखर वोल्टता की वाहक तरंग को मॉडुलित करने में किया जाता है।**

(i) मॉडुलन सूचकांक (ii) पार्श्व बैण्ड ज्ञात कीजिए।

उत्तर- मॉडुलन सूचकांक

$\mu = \frac{E_m}{E_c}$ जहाँ $E_m = 20$ वोल्ट

$E_c = 30$ वोल्ट

$= \frac{20}{30} = 0.67$

पार्श्व बैण्ड $= (f_c \pm f_m)$ $f_c = 12 \text{ MHz} = 12000 \text{ KHz}$

$f_m = 12\text{KHz}$

उच्च पार्श्व बैण्ड

$(\text{USB}) = f_c + f_m$

$= 12000 + 12 = 12012 \text{ KHz}$

निम्न पार्श्व बैण्ड

$(\text{LSB}) = f_c - f_m$

$= 12000 - 12 = 11988 \text{ KHz}$