वैद्युतचुम्बकीय तरंगें (ELECTROMAGNETIC WAVES)

भूमिका

मैक्सवेल के समीकरणों से उभरने वाली सबसे महत्वपूर्ण प्रागुक्ति वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अस्तित्व होना है जो अंतरिक्ष में संचरित समय के साथ बदलते (युग्मित) विद्युतीय एवं चुंबकीय क्षेत्र हैं। मैक्सवेल के समीकरणों के अनुसार, इन तरंगों की चाल, प्रकाशीय मापन द्वारा प्राप्त प्रकाश की चाल (3×10^8 m/s) के लगभग बराबर होती है। इससे हम इस महत्वपूर्ण निष्कर्ष पर पहुँचे कि प्रकाश एक वैद्युतचुंबकीय तरंग है। इस प्रकार, मैक्सवेल के कार्य ने विद्युत, चुंबकत्व एवं प्रकाश के क्षेत्रों को एकीकृत कर दिया। 1885 में, हर्ट्ज़ ने प्रयोग द्वारा वैद्युतचुंबकीय तंरगों के अस्तित्व को प्रदर्शित किया। मार्कोनी एवं अन्य आविष्कर्ताओं ने यथासमय, इसके तकनीकी उपयोग में संचार के क्षेत्र में जो क्रांति की उसके आज हम प्रत्यक्षदर्शी हैं। इस अध्याय में, पहले हम विस्थापन धारा की आवश्यकता एवं उसके परिणामों के विषय में चर्चा करेंगें। फिर हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों का एक विवरणात्मक चित्र प्रस्तुत करेंगें। वैद्युतचुंबकीय तरंगों का संपूर्ण वर्णक्रम, जो गामा किरणों (तंरगदैर्ध्य ~ 10^{12} m) से दीर्घ रेडियो तरंगों (तंरगदैर्ध्य ~ 10^6 m) तक फैला है, उसके विषय में चर्चा की जाएगी।

विस्थापन धारा

विद्युत धारा अपनें चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। मैक्सवेल ने दर्शाया कि तार्किक संगाति के लिए यह आवश्यक है कि परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र भी चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करे। यह प्रभाव बहुत ही महत्व का है, क्योंकि यह रेडियो तरंगों, गामा किरणों, एवं दृश्य प्रकाश के अतिरिक्त भी अन्य सभी वैद्युतचुंबकीय तरंगों के अस्तित्व की व्याख्या करता है।

यह देखने के लिए कि परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र किय प्रकार चुंबकीय क्षेत्र के उद्भव का कारण बनता है। आइए हम किसी संधारित्र के आवेशन की प्रक्रिया पर विचार करें और संधारित्र के बाहर किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए ऐम्पियर के परिपथीय नियम

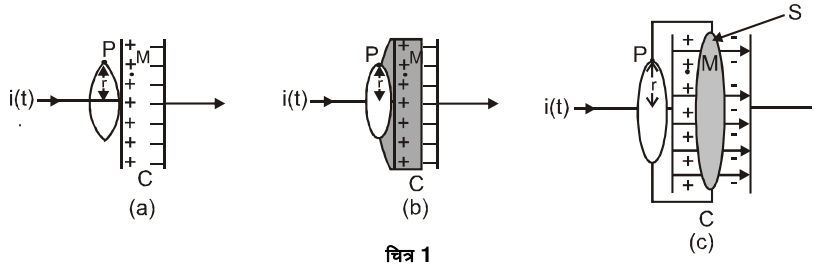
$$\int B.\ dl = \mu_0 i\ (t) \qquad \text{..... (1)}$$

का उपयोग करें।

[चित्र 1 (a)] में एक समांतर प्लेट संधारित्र C दर्शाया गया है जो एक ऐसे परिपथ का भाग है जिसमें समय के साथ परिवर्तनशील धारा i (t) प्रवाहित हो रही है। आइए, समांतर प्लेट संधारित के बाह्य क्षेत्र में स्थित किसी बिन्दु जैसे कि P पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करें। इसके लिए, हम r त्रिज्या का एक समतल वृत्ताकर लूप लेते हैं जिसका तल धारावाही तार की दिशा के लंबवत है और जिसका केंन्द्र तार के ऊपर है [चित्र 1 (a)]। सममिति क आधार पर हम कह सकते हैं कि चुंबकीय क्षेत्र की दिशा वृत्ताकार लूप की परिधि के अनुदिश है और लूप के प्रत्येक बिंदु पर इसका परिमाण समान है। इस कारण, यदि क्षेत्र का परिमाण B है तो समीकरण (1) का वाम पक्ष B ($2\pi r$) है।

$$B\ (2\pi r) = \mu_0 i\ (t) \qquad \text{.....(2)}$$

अब इसी परिसीमा वाली एक अन्य सतह पर विचार कीजिए। यह घड़े के आकार की एक सतह है जो धारा को कहीं भी नही छूती है। (चित्र. 1 (b)] पर इसकी तली संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच में है और उसका मुँह ऊपर वर्णित वृत्ताकार लूप है। दूसरी एसी सतह (बिना ढक्कन के) टिफिन बॉक्स के आकार की है [चित्र 1 (c)]। समान प्राचलों वाली ऐसी सतहों के लिए ऐम्पियर का नियम लगाने पर, हम पाते हैं कि समीकरण (1) के बाई और का मान तो नही बदलता है पर दाई ओर का मान शून्य है न कि $\mu_0 i$ (t), क्योकि चित्र 1 (b) और (c) में दर्शायी गई सतहों से कोई धारा नही गुजरती है। इसलिए, हमारा सामना एक विरोधाभास से होता है। एक प्रकार से गणना करें तो बिन्दु P पर चुंबकीय क्षेत्र है; दूसरी प्रकार गणना करें तो P पर चुंबकीय क्षेत्र शून्य होता है। क्योंकि यह विरोधाभास हमारे द्वारा लागू किए गए ऐम्पियर के परिपथीय नियम के कारण उत्पन्न होता है। इस नियम में संभवतः कोई पद छूट गया है। छूटा हुआ यह पद ऐसा होना चाहिए कि चाहे हम किसी भी सतह का उपयोग करें बिन्दु P पर चुंबकीय क्षेत्र का समान मान प्राप्त हो।



चित्र 1

यदि हम चित्र 1 (c) को ध्यानपूर्वक देखें तो छूटे हुए पद का अनुमान लगाया जा सकता है। क्या संधारित्र की प्लेटों के बीच की सतह S से गुजरती हुई किसी राशि के मान में परिवर्तन हो रहा है। जी हॉ, वास्तव में उनके बीच विद्युत क्षेत्र बदल रहा है। यदि संधारित्र की प्लेटों का क्षेत्रफल A हो एवं इस पर कुल आवेश Q हो तो प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र **E** का परिमाण $(Q/A)/\varepsilon_0$ होता है [देखिए समीकरण (2.4)] । यह क्षेत्र चित्र 1 (c) की सतह S के लंबवत होता है। इसका परिमाण संधारित्र की प्लेटों के क्षेत्रफल A पर समान रहता है पर इनके बाहर शून्य हो जाता है। इसलिए, सतह S से गुजरने वाला विद्युत फ्लक्स, गाउस के नियम के उपयोग से होता है।

$$\Phi_E = |E|\ A = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Q}{A}\ A = \frac{Q}{\varepsilon_0} \qquad .....(3)$$

अब यदि संधारित्र की प्लेटों पर आवेश Q समय के साथ परिवर्तित हो तो यहॉ एक धारा $i = (dQ / dt)$ होगी। इसलिए समीकरण (8.3) से

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{Q}{\varepsilon_0}\right) = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{dQ}{dt}$$

यह निर्दिष्ट करता है कि ऐम्पियर के नियम में संगति के लिए,

$$\varepsilon_0\left(\frac{d\Phi_E}{dt}\right) = i \qquad .....(4)$$

यही ऐम्पियर के परिपथीय नियम का छूटा हुआ पद है। यदि हम किसी भी सतह से होकर चालकों द्वारा वाहित कुल धारा में, ε_0 गुणा विद्युत फ्लक्स के परिवर्तन की दर जोडें तो हम ऐम्पियर के परिपथीय नियम का सामान्यीकरण कर सकते हैं। तब सभी सतहों के लिए धारा का मान i समान होगा। तब कहीं पर भी ऐम्पियर का सामान्यीकृत नियम लगाने पर B के प्राप्त मान में कोई विसंगति नही आएगी। बिन्दु P पर, B का मान शून्येतर ही होगा चाहे इसकी गणना करने के लिए हम कोई भी सतह लें प्लेटों के बाहर, किसी बिन्दु P पर B का मान वही होगा जो ठीक इसके अन्दर बिन्दु M पर होना चाहिए [चित्र1 (a)] । आवेशों के प्रवाह के कारण चालकों में जो धारा प्रवाहित होती है उसे चालन धारा कहा जाता है। समीकरण (4) द्वारा व्यक्त धारा एक नवीन पद है। जो परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र (या विद्युतीय विस्थापन, जो अभी भी कभी उपयोग में आता है।) के कारण अस्तित्व में आता है। इसको इसलिए विस्थापन धारा अथवा मैक्सवेल की विस्थापन धारा कहा जाता है। चित्र 2 ऊपर वर्णित समांतर प्लेट संधारित्र के अन्दर विद्युत एवं चुबंकीय क्षेत्र दर्शाता है।

मैक्सवेल द्वारा किया गया व्यापकीकरण निम्न है। चुबकीय क्षेत्र का स्त्रोत्र केवल प्रवाहमान आवेशों से निर्मित चालन विद्युत धारा ही नहीं होती, अपितु समय के सापेक्ष विद्युत क्षेत्र में परिवर्तन की दर भी इसका कारण बन सकती है। अधिक स्पष्टता से इस बात को कहें तो कुल धारा i, i_c द्वारा निर्दिष्ट चालन धारा एवं i_d $(= \varepsilon_0 (d\Phi_E / dt)$ द्वारा निर्दिष्ट विस्थापन धारा के योग के बराबर होती है। अतः

$$i = i_e + i_d = i_c + \varepsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt} \qquad .....(5)$$

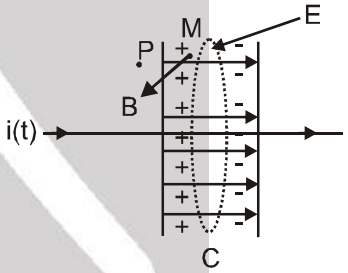
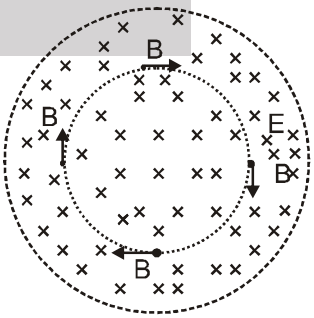


Figure 2 (a)



सुस्पष्ट शब्दों में इसका अर्थ है कि संधारित्र की प्लेटों के बाहर केवल चालन धारा $i_c = i$ होती है। अर्थात $i_d = 0$। दूसरी और संधारित्र के अंदर कोई चालन धारा नहीं होती, अर्थात् $i_c = 0$ और केवल विस्थापन धारा होती है। जिससे $i_d = i$ ।

व्यापकीकृत (एवं यथार्थ) ऐम्पियर के परिपथीय नियम का स्वरूप समीकरण (1) जैसे है। बस केवल एक अंतर है। "ऐसी किसी भी सतह, जिसकी परिमिति बंद लूप है से गुजरने वाली कुल धारा चालन धारा एवं विस्थापन धारा का योग होती है।" व्यापक रूप में यह नियम

$$\oint B \bullet d\ell = \mu_0 i_c + \mu_0\varepsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt}$$

तथा इसे ऐम्पियर मैक्सवेल नियम कहते हैं।

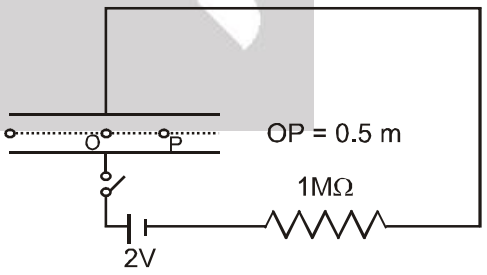
किसी भी दृष्टि से विस्थापन धारा के भौतिक प्रभाव चालन धारा के समान हैं। कुछ स्थितियों में, उदाहरणार्थ, किसी चालक तार में नियत विद्युत क्षेत्र के लिए विस्थापन धारा का मान शून्य हो सकता है क्योंकि किसी विद्युत क्षेत्र **E** समय के साथ परिवर्तित नहीं होता। कुछ दूसरी स्थितियों में, जैसे कि ऊपर बताए गए आवेशित होते संधारित्र में चालन एवं विस्थापन धारा दोनों ही उपस्थित हो सकते है पर अलग अलग दिक् स्थानों में। परन्तु अधिकतर स्थितियों में दोनो एक ही स्थान पर विद्यमान हो सकते हैं क्योकि कोई भी माध्यम पूर्ण चालक या पूर्ण विद्युतरोधी नहीं होता। सर्वाधिक रोचक तथ्य यह है कि किसी विशाल क्षेत्र में जहॉ कोई भी चालन धारा नहीं होती, समय के साथ परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र के कारण केवल विस्थापन धारा ही होती है। ऐसे क्षेत्र में, आसपास कोई (चालन) धारा स्त्रोत नहीं होने पर भी चुबंकीय क्षेत्र विद्यमान होगा। इस विस्थापन धारा के अस्तित्व की प्रागुक्ति प्रयोग द्वारा पुष्ट की जा सकती है। उदाहरण के लिए चित्र 2(a) के संधारित्र की प्लेटों के बीच (माना बिन्दु M पर) चुबंकीय क्षेत्र मापा जा सकता है। यह ठीक उतना ही पाया जाएगा जितना कि बाहर के किसी बिन्दु (माना P) पर। विस्थापन धारा के (शब्दशः) दूरगामी परिणाम हैं। एक तथ्य जिसकी ओर हमारा ध्यान एकदम आकर्षित होता है, वह यह है कि विद्युत एवं चुंबकत्व अब और अधिक सममितीय हो गए हैं। फैराडे का प्ररेण संबंधी नियम यह बताता है कि प्रेरित विद्युत वाहक बल चुंबकीय फ्लक्स परिवर्तन की दर के बराबर होता है। अब, चूँकि दो बिन्दुओं 1 एवं 2 के बीच विद्युत वाहक बल, बिन्दु 1 से बिन्दु 2 तक इकाई आवेश को ले जाने में किया गया कार्य है। विद्युत वाहक बल की उपस्थिति एक विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति को इंगित करती है। फैराडे के विद्युत चुंबकीय प्ररेण संबंधी नियम को हम दूसरे शब्दों में इस प्रकार भी कह सकते हैं कि समय के साथ परिवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्र, विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है। यह तथ्य कि समय के साथ परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है, फैराडे के नियम का सममितीय प्रतिरूप है और विस्थापन धारा के चुंबकीय क्षेत्र का स्त्रोत होने का परिणाम है। अतः समय पर निर्भर वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे की उत्पत्ति के कारण हैं। फैराडे का विद्युत चुंबकीय प्रेरण का नियम एवं मैक्सवेल- ऐम्पियर का परिपथीय नियम इस कथन की परिमाणात्मक अभिव्यक्ति है। जहॉ धारा, कुल धारा है जैसा कि समीकरण (5) से स्पष्ट है। इस सममिति की एक अत्यंत महत्वपूर्ण निष्पत्ति विद्युत चुंबकीय तरंगों का अस्तित्व है जिसके विषय में हम अगले अनुभाग में चर्चा करेंगे।

मैक्सवेल के समीकरण

1. $\oint E \cdot dA = Q / \varepsilon_0$ (विद्युत संबंधी गाउस नियम)
2. $\oint B \cdot dA = 0$ (चुंबकत्व संबंधी गाउस नियम)
3. $\oint E \cdot d\ell = \frac{-d\Phi_B}{dt}$ (फैराडे नियम)
4. $\oint B \cdot d\ell = \mu_0 i_c + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$ (ऐम्पियर-मैक्सवेल नियम)

Solved Examples

Example 1. एक समान्तर 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 MΩ के एक प्रतिरोधक के साथ श्रेणीक्रम में 2 V की बैटरी से जोड़ा गया है (चित्रानुसार)। 10^{-3} s के पश्चात संधारित्र के बीच में दोनों प्लेटों के केन्द्र एवं उनकी परिमिति के ठीक मध्य में स्थित बिन्दु P पर चुंबकीय क्षेत्र का परिकलन कीजिए। [क्षण t पर संधारित पर आवेश q (t) = CV [1 – exp (–t / τ)] होता है, जहॉ समय नियतांक τ = RC है।



Solution : CR परिपथ का समय नियतांक $\tau = CR = 10^{-3}$ s अतः

$q(t) = CV [1 - \exp(-t/t)] = 2 \times 10^{-9} [1 - \exp(-t/10^{-3})]$

t क्षण पर प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र,

$E = \frac{q(t)}{\varepsilon_0 A} = \frac{q}{\pi\varepsilon_0}$; क्योंकि $A = \pi (1)^2 m^2$ = प्रत्येक प्लेट का क्षेत्रफल

अब बिन्दु P से गुजरते हुए प्लेटों के समान्तर एक (1/2)m त्रिज्या के वृत्ताकार लूप की कल्पना कीजिए। लूप के प्रत्येक बिन्दु पर चुंबकीय क्षेत्र B का परिणाम समान है और इसकी दिशा लूप के अनुदिश है। लूप से गुजरने वाले फलक्स Φ_E का मान $\Phi_E = E \times$ लूप का क्षेत्रफल $= E \times \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{\pi E}{4} = \frac{q}{4\varepsilon_0}$

विस्थापन धारा $i_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{1}{4}\frac{dq}{dt} = 0.5 \times 10^{-6} \exp(-1)$

$t = 10^{-3}$ s रखने पर। अब लूप के लिए ऐम्पियर का नियम लागू करने पर,

$B \times 2\pi \times \left(\frac{1}{2}\right) = \mu_0 (i_c + i_d) = \mu_0 (0 + i_d) = 0.5 \times 10^{-6}\ \mu_0 \exp(-1)$

अथवा $B = 0.74 \times 10^{-13}$ T

वैद्युतचुम्बकीय तरंगें (ELECTROMAGNETIC WAVES)

तरंगों के स्त्रोत (Source of electromagnetic waves)

वैद्युतचुंबकीय (electromagnetic, संक्षेप में em) तरंगें उत्पन्न कैसे होती हैं ? न तो स्थिर आवेश, न ही एकसमान गाति से चलते हुए आवेश (स्थिर धारा), वैद्युतचुंबकीय तरंगों के स्त्रोत हो सकते हैं। क्योंकि, स्थिर आवेश तो केवल स्थिरवैद्युत क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। जबकि गातिमान आवेश चुबंकीय क्षेत्र भी उत्पन्न करते हैं पर वह समय के साथ परिवर्तित नहीं होता है। मैक्सवेल के सिद्धांत की यह एक महत्वपूर्ण निष्पत्ति है कि त्वरित आवेश वैद्युतचुंबकीय तरंगें विकिरित करते हैं। इस मौलिक निष्पत्ति का प्रमाण यहाँ के विस्तार क्षेत्र से परे हैं, परंतु हम इसको एक अपरिष्कृत, गुणात्मक विवेचन के आधार पर स्वीकार कर सकते हैं। मान लीजिए कि एक आवेश है जो किसी निश्चित आवृत्ति से दोलन कर रहा है (कोई दोलन करता हुआ आवेश भी एक त्वरित आवेश का उदाहरण है)। यह उस क्षेत्र में एक दोलित विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है जो पुनः एक दोलित चुंबकीय क्षेत्र को जन्म देता है, जो पुनः एक दोलित विद्युत क्षेत्र की उत्पत्ति का कारण बनता है और यह प्रक्रिया चलती रहती है। अतः दोलित विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक दूसरे को संपोषित करते हैं या कहें कि तरंग गमन करती है। स्वाभाविक रूप से वैद्युतचुंबकीय तरंगों की आवृत्ति, आवेश के दोलनों की आवृत्ति के बराबर होती है। गमनकारी तंरगों से जुडी ऊर्जा, स्त्रोत अर्थात त्वरित आवेश की ऊर्जा से ही प्राप्त होती है।

पूर्वोक्त चर्चा के आधार पर हो सकता है कि इस प्रागुक्ति का परीक्षण कि प्रकाश विद्युत चुंबकीय तरंग है, सहज हो सकता है। हम विचार कर सकते हैं कि दृश्य प्रकाश (माना कि पीला) उत्पन्न करने के लिए हमें बस एक आवेश को उस प्रकाश की आवृत्ति से दोलन कराने के लिए एक ac परिपथ की आवश्यकता है। लेकिन अफसोस की बात यह है कि ऐसा संभव नहीं है। पीले प्रकाश की आवृत्ति लगभग 6×10^{14} Hz है जबकि अत्यधिक आधुनिक इलैक्ट्रॉनिक परिपथों से भी जो अधिकतम आवृत्ति हम प्राप्त कर पाते हैं वह लगभग 10^{11} Hz होती है। यही कारण है कि जब वैद्युत चुंबकीय तरंगों का प्रयोगिक प्रदर्शन हुआ तो वह निम्न आवृत्ति की तरंगों (रेडियो तरंगों के परिसर में) के लिए ही हुआ, जैसा कि हर्ट्ज के प्रयोग (1887) के प्रकरण में देख सकते हैं। मैक्सवेल के सिद्धान्त के परीक्षण के लिए किए गए हर्ट्ज के सफल प्रयोग ने सनसनी फैला दी तथा ये प्रयोग इस क्षेत्र में अन्य महत्वपूर्ण कार्यो के लिए प्रेरणा का आधार बने।

वैद्युतचुंबकीय तरंगों की प्रकृति (Nature of electromagnetic wave)

मैक्सवेल के समीकरणों के आधार पर यह दर्शाया जा सकता है कि किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग में विद्युतीय एवं चुंबकीय क्षेत्र एक दूसरे के लंबवत होते है और इसके गमन की दिशा के भी। विस्थापन धारा पर दिए गए विवेचन के आधार पर भी यह तर्कसंगत प्रतीत होता है। चित्र 2 पर विचार कीजिए। संधारित्र में प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र प्लेटों के लंबवत है। विस्थापन धारा के द्वारा उत्पन्न चुबंकीय क्षेत्र संधारित्र की प्लेटों के समांतर वृत्त के अनुदिश है। अतः इस स्थिति में **B एवं E** परस्पर लंबवत हैं। यह एक सामान्य लक्षण है।

चित्र 4 में हमने z दिशा में गमन करती हुई एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग का प्रारूपिक उदाहरण प्रदर्शित किया है (किसी क्षण t पर, क्षेत्रों को z निर्देशांक के फलन के रूप में दर्शाया गया है) । विद्युत क्षेत्र E_x, x-अक्ष के अनुदिश है और किसी क्षण t पर z के साथ ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तित होता है। चुबंकीय क्षेत्र B_y, y-अक्ष के अनुदिश है और यह भी z के साथ ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तित होता है। विद्युत क्षेत्र E_x एवं चुबंकीय क्षेत्र B_y एक दूसरे के लंबवत हैं एवं गमन दिशा, z के भी लंबवत है। E_x एवं B_y को हम निम्नवत लिख सकते हैं :

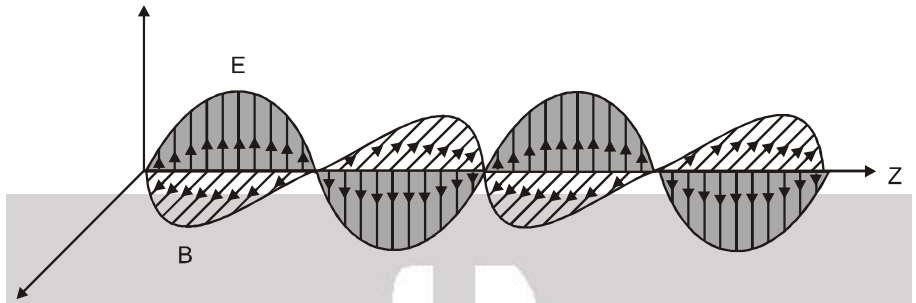
$E_x = E_0 \sin(kz - \omega t)$ .....7(a)

$B_y = B_0 \sin(kz - \omega t)$ .....7(b)

यहॉ k एवं तरंग की तरंगदैर्ध्य λ निम्नलिखित सामान्य संबंध है

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \text{.....(8)}$$

तथा यहॉ ω कोणीय आवृति है, k तरंग सदिश (या गमन सदिश) k का परिमाण है। k की दिशा तरंग के गमन की दिशा निर्दिष्ट करती है। तरंग की गमन चाल (ω/k) है। E_x एवं B_y के लिए समीकरणों [7 (a) एवं (b)] तथा मैक्सेवेल के समीकरणों का उपयोग करके आप निम्न परिणाम पर पहुॅच सकते हैं–



$\omega = cK$, यहां, $c = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ .....9(a)

समीकरण $\omega = cK$ सभी तरंगों के लिए प्रामाणिक संबंध है। प्रायः इस संबंध को आवृति, ν (=ω/ 2π) एवं तरंगदैर्ध्य λ (= 2π / k) के पदों में इस रूप में लिखा जाता है –

$$2\pi\nu = c\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \text{ अथवा}$$

$$\nu\lambda = c \qquad \text{.....9(b)}$$

मैक्सवेल के समीकरणों के आधार पर इस निष्कर्ष पर भी पहुंचा जा सकता है कि किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग में विद्युत एवं चुबंकीय क्षेत्र परस्पर निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित है $B_0 = E_0/c$

अब हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों के कुछ अभिलक्षणों पर टिप्पणियॉ करते हैं। वे मुक्त स्थान या निर्वात में, विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के स्वःसंपोषित दोलन हैं। वे इस अर्थ में अभी तक हमारे द्वारा अध्ययन की गई अन्य तरंगों से भिन्न हैं कि इनमें विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के दोलनों के लिए किसी भौतिक माध्यम की आवश्यकता नहीं होती। वायु में ध्वनि तरंगें अनुदैर्ध्य तरंगें होती हैं जो गमन दिशा में संपीडनों एवं विरलनों के रूप में चलती हैं। जल के कण सतह पर अनुप्रस्थ तरंगों में, जैस–जैसे तरंगें क्षैतिज तल में बाहर की और फैलती हैं जल के कण ऊपर-नीचे होते हैं। दृढ़ एवं विरूपण का विरोध करने वाले ठोस में भी अनुप्रस्थ प्रत्यास्थ तरंगे गमन कर सकती हैं। उन्नीसवी शताब्दी के वैज्ञानिक इस यांत्रिक चित्र के ऐसे अभ्यस्त हो गए थे कि उन्होने एक ऐसे सर्वव्यापी माध्यम की कल्पना की जो सब जगह और सब पदार्थो में विद्यमान था और जो विद्युत एवं चुबंकीय क्षेत्रों के प्रति वैसे ही क्रिया. प्रतिक्रिया करता था जैसे कोई भी प्रत्यास्थ माध्यम करता है। उन्होने इस माध्यम को ईथर नाम दिया। अब हम जानते हैं कि इस प्रकार के किसी भौतिक माध्यम की आवश्यकता नहीं है। माइकल्सन एवं मोरले के 1887 में किए प्रसिद्ध प्रयोग ने ईथर की प्राक्कल्पना को पूरी तरह धराशायी कर दिया। दिक्काल में दोलन करते विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र, निर्वात में भी एक दूसरे को संपोषित करके बनाए रख सकते है।

लेकिन, अगर एक भौतिक माध्यम वास्तव में विद्यमान हो तो उदाहरण के लिए हम जानते हैं कि प्रकाश जो वैद्युतचुबंकीय तरंगें ही है; कांच में से गमन करता है। यह हम पहले ही देख चुके हैं कि किसी माध्यम में कुल विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों को उस माध्यम की आपेक्षिक विद्युतशीलता ε एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता μ के पदों में वर्णित किया जाता है (यह राशियॉ बताती हैं कि बाह्य क्षेत्र की तुलना में कुल क्षेत्र कितने गुना है।) मैक्सेवेल समीकरणों में विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के विवरण में ε_0 एवं μ_0 का स्थान यह राशियॉ ले लेती हैं। आपेक्षिक विद्युतशीलता ε एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता μ वाले किसी माध्यम में, प्रकाश का वेग हो जाता है।

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \qquad \text{..... (10)}$$

अतः किसी माध्यम में प्रकाश का वेग उस माध्यम के वैद्युत एवं चुंबकीय गुणों पर निर्भर करता है। अगले अध्याय में हम देखेगें कि एक माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक इन दो माध्यमों में, प्रकाश के वेग के अनुपात में होता है।

मुक्त आकाश अथवा निर्वात में वैद्युतचुंबकीय तरंगों का वेग एक महत्वपूर्ण, मौलिक नियतांक है। विभिन्न तरंगदैर्ध्य की वैद्युतचुंबकीय तरंगों पर किए गए प्रयोगों ने यह दर्शाया है कि यह वेग (जो तरंगदैर्ध्य पर निर्भर नहीं है) सभी के लिए समान होता है और इसका मान 3×10^8 m/s से कुछ मीटर प्रति सेंकड कम या अधिक होता है। निर्वात में वैद्युतचुंबकीय

तरंगों के वेग का नियत होना, प्रयोगों द्वारा इतनी दृढ़ता से पुष्ट हो चुका है और इसका मान इतनी अधिक यथार्थता से ज्ञात किया जा चुका है कि इसको लंबाई के मानक के रूप में स्वीकार कर लिया गया है।

हर्ट्ज ने न केवल वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अस्तित्व प्रदर्शित किया बल्कि उन्होने यह भी दर्शाया कि प्रकाश तरंगों की तुलना में एक करोड गुना तरंगदैर्ध्य की तरंगें विवर्तित, अपवर्तित एवं ध्रुवित हो सकती है। इस प्रकार उन्होने विकिरणों की प्रकृति को निर्णायक रूप से स्थापित कर दिया। इसके अतिरिक्त उन्होंने अप्रगामी वैद्युतचुंबकीय तरंगें उत्पन्न की और दो क्रमागत प्रस्पंदों के बीच की दूरी माप कर उनका तरंगदैर्ध्य ज्ञात किया। क्योकि तरंग की आवृत्ति (दोलित्र की आवृत्ति के समान होने के कारण) ज्ञात थी, उन्होनें सूत्र $v = \nu\lambda$ का उपयोग कर इन तरंगों की चाल ज्ञात की और पाया कि यह तरंगें भी उतनी ही चाल से चलती हैं जिससे कि प्रकाश चलता है।

क्या अन्य तरंगों की तरह वैद्युतचुंबकीय तरंगें भी ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं ? जी हॉ, वे ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं। किसी मुक्त या निर्वातित क्षैत्र में यदि विद्युत क्षेत्र E विद्यमान होता है तो उस क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व ($\varepsilon_0 E^2/2$) होता है। इसी प्रकार चुंबकीय क्षेत्र B से संबंधित चुंबकीय ऊर्जा घनत्व ($B^2/2\mu_0$) होता है। क्योकि वैद्युतचुंबकीय तरंग में वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र दोनों ही होते हैं इसके साथ एक शून्येतर ऊर्जा घनत्व जुडा होता है। अब मान लीजिए कि वैद्युतचुंबकीय तरंग की गमन दिशा के लंबवत कोई तल है। (चित्र 4)। यदि इस तल में कोई वैद्युत आवेश होंगे तो वे वैद्युतचुंबकीय तरंगों के विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के कारण गाति में आकर उस गत्यावस्था में बने रहेंगे। इस प्रकार वह आवेश तरंगों से ऊर्जा एवं संवेग प्राप्त करते हैं। इससे यही तथ्य स्पष्ट होता है कि (अन्य तरंगों की भॉति) वैद्युतचुंबकीय तरंगें भी ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं। चूॅकि यह संवेग वहन करती हैं इसलिए एक वैद्युतचुंबकीय तरंग दाब डालती है जिसे विकिरण दाब कहते हैं।

यदि t समय में किसी सतह पर स्थानांतरित कुल ऊर्जा U हो तो यह दर्शाया जा सकता है कि इस सतह को प्रदान किया गया कुल संवेग (यह मानते हुए कि सतह द्वारा कुल ऊर्जा अवशोषित की गई है) होगा, $p = \frac{U}{c}$ .....(11)

प्रकाश के रूप में सूर्य से ऊर्जा पृथ्वी तक पहुँचती है जिसके कारण पृथ्वी पर जीवन संभव हुआ हैं।

Solved Examples

Example 2. 25 MHz आवृति की एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में x-दिशा के अनुदिश गतिमान है। दिक्काल (space) में किसी विशिष्ट बिंदु पर इसका $E = 6.3\ \hat{j}$ V/m हैं इस बिन्दु पर B का मान क्या है ?

Solution : B एवं E के परिमाण एक दूसरे से निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित हैं।

$$B = \frac{E}{c} = \frac{6.3 V/m}{3\times10^8 m/s} = 2.1 \times 10^{-8}\ T$$

इसकी दिशा के संबंध में हम जानते हैं कि **E**, y-दिशा के अनुदिश है और तरंग x-दिशा के अनुदिश गमन कर रही है। अतः B x- व y-अक्षों दोनों के लंबवत दिशा में होना चाहिए। सदिश बीजगणित का उपयोग करने पर, $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ को x-दिशा में होना चाहिए। चूंकि $(+\hat{j}) \times (+\hat{K}) = \hat{i}$, B z-दिशा के अनुदिश है।

अतः $B = 2.1 \times 10^{-8}\ \hat{k}\ T$

Example 3 किसी समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग में चुंबकीय क्षेत्र $B_y = 2 \times 10^{-7} \sin (0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t)$ T है

(a) तंरग की आवृत्ति तथा तरंगदैर्ध्य क्या है ?

(b) विलद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक लिखिए।

Solution (a) दिय गए समीकरण की निम्न समीकरण $B_y = B_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda}+\frac{t}{T}\right)\right]$ से तुलना करने पर

$$\lambda = \frac{2\pi}{0.5\times10^3}\ m = 1.26\ cm,$$

तथा $\frac{1}{T} = \nu = (1.5 \times 10^{11}) / 2\pi = 23.9$ GHz

(b) $E_0 = B_0 c = 2 \times 10^{-7}\ T \times 3 \times 10^8\ m/s = 6 \times 10^1\ V/m$

विद्युत क्षेत्र घटक तरंग की गमन दिशा एवं चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के लंबवत होता है। अतः विद्युत क्षेत्र घटक z-अक्ष के अनुदिश निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त होगा

$E_z = 60 \sin (0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t)$ V/m

Example 4. 18 W/cm^2 के ऊर्जा फ्लक्स का प्रकाश किसी अपरावर्तक सतह पर अभिलंबवत आपतित होता हैं। यदि सतह का क्षेत्रफल 20cm^2 हो तो 30 मिनट की समयावधि में सतह पर लगने वाले औसत बल का परिकलन कीजिए।

Solution सतह पर पडने वाली कुल ऊर्जा $U = (18\ W/cm^2) \times (20cm^2) \times (30 \times 60) = 6.48 \times 10^5\ J$

इसलिए, इस सतह का प्रदत्त कुल संवेग (संपूर्ण अवशोषण के लिए) :

$$p = \frac{U}{c} = \frac{6.48 \times 10^5 J}{3 \times 10^8 m/s} = 2.16 \times 10^{-3}\ kg\ m/s$$

अतः सतह पर लगा औसत बल है, $F = \frac{p}{t} = \frac{2.16 \times 10^{-3}}{0.18 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-6}\ N$

Example 5. 3m 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 2.5% है और यह एक बिन्दु स्त्रोत है।

Solution : बिन्दु स्त्रोत के रूप में बल्ब सभी दिशाओं में समान रूप से प्रकाश विकिरित करता है। 3 m की दूरी पर इसको घेरने वाली गोलाकार सतह का क्षेत्रफल $A = 4\pi r^2 = 4\pi(3)^2 = 113\ m^2$

अतः इस दूरी पर प्रकाश की तीव्रता $I = \frac{\text{शक्ति}}{\text{क्षे>फल}} = \frac{100W \times 2.5\%}{113\ m^2} = 0.022\ W/m^2$

इस तीव्रता में आधा योगदान विद्युत क्षेत्र का है और आधा चुबंकीय क्षेत्र का

$$\frac{1}{2}I = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_0 E_{rms}^2 c\right) = \frac{1}{2}\ (0.022\ W/m^2)$$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{0.022}{(8.85 \times 10^{-12})(3 \times 10^8)}}\ V/m = 2.9\ V/m$$

विद्युत क्षेत्र E का यह मान वर्ग माध्यम मूल मान है। क्योंकि किसी प्रकाश पुंज में विद्युत क्षेत्र ज्यावक्रीय होता है। E_0 का मान है,

$E_0 = \sqrt{2}\,E_{rms} = \sqrt{2} \times 2.9\ V/m = 4.07\ V/m$

इस प्रकार, आप देखते हैं कि प्रकाश का विद्युत क्षेत्र काफी शक्तिशाली है।

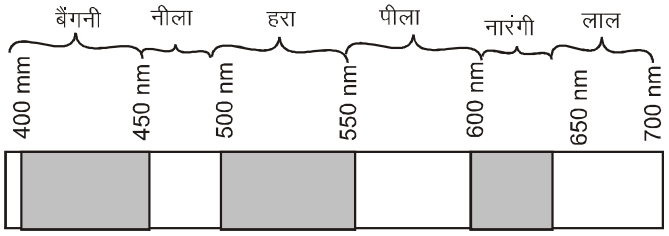
अब, हम चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का परिकलन करें,

$$B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c} = \frac{2.9 Vm^{-1}}{3 \times 10^8 ms^{-1}} = 9.6 \times 10^{-9}\ T$$

प्रकाश पुंज में क्षेत्र ज्यावक्रीय हैं, शिखर चुंबकीय क्षेत्र, $B_0 = \sqrt{2}\,B_{rms} = 1.4 \times 10^{-8}\ T$। ध्यान देने योग्य बात यह है कि यद्यपि चुंबकीय क्षेत्र में ऊर्जा, विद्युत क्षेत्र में ऊर्जा के बराबर है, स्पष्टतः चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता बहुत कम है।

वैद्युतचुम्बकीय स्पेक्ट्रम (ELECTROMAGNETIC SPECTRUM)

जिस समय मैक्सवेल ने वैद्युतचुंबकीय तरंगों संबंधी अपना सिद्धांत प्रस्तुत किया था तो दृश्य प्रकाश तरंगें ही एक मात्र सुपरिचित वैद्युतचुंबकीय (em) तरंगें थी। पराबैगनी एवं अवरक्त तरंगों का अस्तित्व अभी मुश्किल से साबित हो पाया था। उन्नीसवीं शताब्दी के अंत तक X-किरणें एवं गामा किरणें भी खोज ली गई थीं। अब हम जानते हैं कि दृश्य प्रकाश तरंगे, X किरणें, गामा किरणें, रेडियो तरंगे सूक्ष्म (माइक्रो) तरंगें, पराबैंगनी एवं अवरक्त तरंगें ये सभी em तरंगें हैं। तरंगों का आवृत्ति के क्रम में वर्गीकरण वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम कहलाता है। एक प्रकार की तंरग और उसके निकटवर्ती दूसरे प्रकार की तंरग के बीच कोई स्पष्ट विभाजन रेखा नहीं हैं। वर्गीकरण मोटे तौर पर इस बात पर आधारित है कि तरंगें किस प्रकार उत्पन्न एवं/अथवा संसूचित की जाती हैं। हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों के इन विभिन्न प्रकारों का उनकी घटती हुई तरंगदैर्ध्य के क्रम में वर्णन करेंगे।

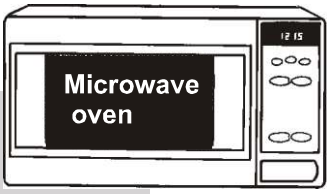


हम इन विभिन्न प्रकार की वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अवरोही तरंगदैर्ध्य के क्रम में, संक्षेप में वर्णन कर रहे हैं।

रेडियो तरंगें (Radio waves)

रेडियो तरंगें चालक तारों में आवेशों की त्वरित गति से उत्पन्न होती हैं। इनका उपयोग रेडियो एवं दूरदर्शन की संचार प्रणालियों में किया जाता है। इनका आवृत्ति परास सामान्यतः 500 kHz से लगभग 1000 MHz के बीच होता है। AM (आयाम मॉड्यूलित) बैंड 530 kHz से 1710 kHz के बीच होता है। इससे उच्चतर 54 MHz तक की आवृत्तिया लघुतंरग बैंडों के रूप में उपयोग की जाती हैं। TV तरंगों का परास 54 MHz से 890 MHz के बीच होता हैं। FM (आवृत्ति मॉड्यूलित) रेडियो बैंड 88 MHz से 108 MHz के बीच फैला होता है। सेल्यूलर फोनों में अत्युच्च आवृत्ति (UHF) बैंड की रेडियो तरंगों का उपयोग करके ध्वनि संदेशों के आदान प्रदान की व्यवस्था की जाती है।

सूक्ष्म तरंगें (Microwaves)



सूक्ष्म तरंगों (लघु तरंगदैर्ध्य की रेडियो तरंगें) की आवृत्तियॉ गिगा हर्ट्ज (GHz) के परास में होती हैं से विशेष प्रकार की निर्वात नलिकाओं (vacuum tubes) जिन्हें क्लाइस्ट्रॉन, मेगनेट्रॉन अथवा गन डायोड कहते हैं, द्वारा उत्पन्न होती हैं। अपने लघु तरंगदैर्ध्य के कारण विमान संचालन में रडार प्रणाली के लिए उपयुक्त है। माइक्रोवेव ऑवन इन तरंगों का एक रोचक घरेलू अनुप्रयोग है।

इन ऑवनों में सूक्ष्म तरंगों की आवृत्ति इस प्रकार चुनी जाती है कि वे जल के अणुओं के अनुनाद आवृत्ति से मेल खा सकें, ताकि तरंगों की ऊर्जा प्रभावी रूप से अणुओं की गतिज ऊर्जा बढ़ाने के लिए स्थानांतरित की जा सके। इससे किसी भी जलयुक्त खाद्य पदार्थ का ताप बढ़ जाता है।

अवरक्त (Infrared waves)

अवरक्त तरंगें (Infrared waves) गर्म पिंडों एवं अणुओं से उत्पन्न होती हैं। यह बैंड दृश्य स्पेक्ट्रम के निम्न आवृत्ति या दीर्ध तरंगदैर्ध्य सिरे से संलग्नित होता है। अवरक्त तरंगों को कभी कभी ऊष्मा तरंगें भी कहा जाता हैं। ऐसा इसलिए हैं क्योकि अधिकाशं पदार्थो में विद्यमान जल के अणु अवरक्त तरंगों को तुरन्त अवशोषित कर लेते हैं (कई अन्य अणु जैसे CO_2, NH_3) आदि भी अवरक्त तरंगों को अवशोषित कर लेते है।) अवशोषण के पश्चात उनकी तापीय गति बढ़ जाती है अर्थात वे गर्म हो जाते हैं और अपने परिवेश को गर्म करने लगते हैं। अवरक्त लैम्पों का उपयोग कायचिकित्सा में किया जाता है। अवरक्त विकिरण की पृथ्वी की गर्मी अर्थात् माध्य ताप बनाए रखने में भी हरित गृह प्रभाव के द्वारा एक अहम भूमिका है। पृथ्वी पर आने वाला दृश्य प्रकाश (जो अपेक्षाकृत सरलतापूर्वक वायुमंडल से गुजर जाता है, पृथ्वी के पृष्ठ द्वारा अवशोषित हो जाता है और दीर्घ तरंगदैर्ध्य की अवरक्त तरंगों के रूप में पुनर्विकिरित हो जाता है। यह विकिरण, कार्बन डाइऑक्साइड एवं जल वाष्प जैसे हरित गृह प्रभावकारी गैसों के द्वारा वायुमंडल में रोक लिया जाता है। उपग्रहों में लगे अवरक्त संसूचकों का उपयोग सैनिक उद्धेश्यों एवं फसलों की वृद्धि का प्रेक्षण करने के लिए किया जाता है। इलैक्ट्रॉनिक युक्तियॉ (उदाहरण के लिए प्रकाश उत्सर्जक डायोड) भी अवरक्त तरंगें उत्सर्जित करती हैं, और घेरलू इलैक्ट्रॉनिक प्रणालियों जैसे टी.वी. सैट, वीडियो रिकॉर्डर एवं हाई-फाई प्रणालियों के रिमोट नियंत्रकों में ये बहुलता से प्रयोग की जाती हैं।

दृश्य प्रकाश तरंगें (Visible rays)

यह वैद्युतचुंबकीय तरंगों का सर्वाधिक सुपरिचित रूप है। यह उस स्पेक्ट्रम का भाग है जिसके लिए मानवीय नेत्र संवेदनशील होते हैं। इसका आवृत्ति परास लगभग 4×10^{14} Hz से लगभग 7×10^{14} Hz या तरंगदैर्ध्य परास लगभग 700- 400 nm होता है। हमारे चारों ओर की वस्तुओं से उत्सर्जित या परावर्तित होने वाला दृश्य प्रकाश जगत के विषय में सभी सूचनाएं हमें उपलब्ध कराता है। हमारे नेत्र तरंगदैर्ध्य के इस परास के लिए संवेदनशील हैं। विभिन्न जंतु तरंगदैर्ध्य के विभिन्न परासों के संवेदनशील हैं। उदाहरणार्थ, सर्प अवरक्त तरंगों को संसूचित कर सकते हैं। कई कीटों का दृश्य परास पराबैंगनी तक पहुंचता है।

पराबैंगनी तरंगें (Ultraviolet rays)

इसमें लगभग 4×10^{-7} m (400 nm) से 6×10^{-10} m (0.6 nm) तरंगदैर्ध्य परास की तरंगें सम्मिलित हैं। पराबैंगनी (UV) विकिरण विशिष्ट लैंपों एवं बहुत गर्म पिडों से उत्पन्न होते हैं। सूर्य पराबैंगनी प्रकाश का एक महत्वपूर्ण स्त्रोत है। परंतु, सौभाग्य से इसका अधिकांश भाग वायुमंडल की लगभग 40-50 km की ऊँचाई पर स्थित ओजोन परत में अवशोषित हो जाता है। अधिक परिमाण में UV प्रकाश के संपर्क में आने का मानवों पर हारिकारक प्रभाव होता हैं। UV विकिरणों के पड़ने से त्वचा में अधिक मेलानिन का उत्पाद्न होता है जिससे त्वचा ताम्र रंग की हो जाती है। UV विकिरण सामान्य कांच द्वारा अवशोषित हो जाते हैं। अतः कांच लगी खिड़कियों से छन कर आने वाले प्रकाश के कारण धूप-ताम्रता (sunburn) नहीं होती है।

वेल्डिग करने वाले लोग, वेल्डिग चिनगारियों से निकलने वाली UV किरणों से अपनी आँखो की सुरक्षा के लिए विशिष्ट काँच युक्त धूप के चश्में पहनते हैं या काँच की खिडकियों से युक्त मुखोटे अपने चेहरे पर लगाते हैं। अपनी छोटी तरंगदैर्ध्यो के कारण, पराबैंगनी किरणों को अति परिशुद्ध अनुप्रयोगों जैसे लासिक LASIK (Laser assisted in situ keratomileusis) नेत्र शल्यता में उपयोग हेतु अत्यंत संकीर्ण किरण-पुंजों में फोकसित किया जा सकता है। जल शोधक में पराबैगनी (UV) लैंपों का उपयेाग जीवाणुओं को मारने में होता है।

चूँकि ओजोन परत एक संरक्षक की भूमिका अदा करती है इसलिए क्लोरोफ्लोरो-कार्बन (CFCs) गैसों (जैसे फ्रीऑन) द्वारा इसका ह्रास अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर चिंता का विषय है।

X-किरणें (X-rays)

वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के UV भाग के पश्चात X-किरणों का क्षेत्र है। चिकित्सीय उपयोगिता के कारण हम x-किरणों से परिचित हैं। इसका परास तरंगदैर्ध्य 10^{-8} m (10 nm) से लेकर नीचे 10^{-13} m (10^{-4} nm) तक फैला है। X-किरणों के उत्पादन की एक सामान्य विधि किसी धात्वीय लक्ष्य पर उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रॉनों की बौछार करना है। चिकित्सा में X-किरणों को नैदानिक साधन के रूप में तथा कुछ प्रकार के कैंसर के उपचार के लिए उपयोग में लाते हैं। चूँकि X-किरणें सजीव ऊतकों तथा जीवों को हानि पहुँचाती हैं या नष्ट कर देती हैं इसलिए इनसे अनावश्यक अथवा अधिक उद्भासन (exposure) से बचने की सावधानी बरतनी चाहिए।

गामा किरणें Gamma rays

ये वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के ऊपरी आवृत्ति के क्षेत्र में होती हैं तथा इनकी तंरगदैर्ध्य लगभग 10^{-10} m से लेकर 10^{-14} m से भी कम होती है। उच्च आवृत्ति का यह विकिरण नाभिकीय अभिक्रियाओं में उत्पन्न होता है। यह रेडियोधर्मी नाभिकों द्वारा भी उत्सर्जित होता है। ये चिकित्सा में कैंसर कोशिकाओं को नष्ट करने के लिए भी उपयोगी हैं।

सारणी 1 में विभिन्न प्रकार की वैद्युतचुंबकीय तरंगों, उनके उत्पादन एवं संसूचन को सार रूप में प्रस्तुत किया गया है। जैसा कि पहले बताया गया है, विभिन्न किरणों के क्षेत्रों के मध्य कोई तीक्ष्ण सीमाएँ नहीं हैं तथा ये दूसरे क्षेत्रों में भी व्यापित होते हैं।

सारणी-1: में विभिन्न वैद्युतचुंबकीय तरंगाों के अभिलक्षण

प्रकार	तरंगदैर्ध्य का परास	उत्पादन	संसूचन
रेडियो तरंगें	> 0. 1 m	एरियल (aerial) में इलेक्ट्रॉनो का द्रुत त्वरण या मंदन	अभिग्राहक के एरियल
सूक्ष्म तरंगें	0.1 m to 1 mm	क्लेस्ट्रॉन या मेग्नाट्रॉन वाल्व	बिन्दु संपर्क डायोड
अवरक्त तरंगें	1 mm to 700 nm	परमाणुओं एवं अणुओं के कंपन	थर्मोपाइल बोलोमीटर अवरक्त फोटोग्राफिक फिल्म
प्रकाश तरंगें	700 nm to 400 nm	परमाणु में इलेक्ट्रॉनए जब उच्चतर ऊर्जा स्तर से निम्नतर ऊर्जा स्तर पर संक्रमण करते हैं।	मानवीय नेत्र फोटो सेल फोटोग्राफिक फिल्म
पराबैंगनी प्रकाश तरंगें	400 nm to 1 nm	परमाणु के आतंरिक शैलों में इलेक्ट्रॉनों का एक ऊर्जा स्तर से दूसरे ऊर्जा स्तर पर संक्रमण।	फोटो सेल फोटोग्राफिक फिल्म
X-किरणें	1 nm to 10^{-3} nm	X-किरणें के इलेक्ट्रॉन	फोटोग्राफिक फिल्म गीगर ट्यूब आयनीकरण प्रकोष्ठ
गामा किरणें	< 10^{-3} nm	नाभिकों का रेडियोऐक्टिव क्षय	फोटोग्राफिक फिल्म गीगर ट्यूब आयनीकरण प्रकोष्ठ

JEE–MAIN ONLINE QUESTIONS

1. इस प्रश्न में वक्तव्य–1 और वक्तव्य–2 है। वक्तव्यों के पश्चात् चार विकल्प दिये गये है, इनमें से एक विकल्प को चुने जो दोनों वक्तव्यों को सही से वर्णित करता है। **[JEE(MAIN) 2013_ONLINE TEST]**

वक्तव्य–1 : रेडियो तरंगो तथा सूक्षम तरंगो में से रेडियो तरंगे अधिक विवर्तन दर्शाती है।

वक्तव्य–2 : सूक्ष्म तरंगो की तुलना में, रेडियो तरंगो की आवृति अधिक होती है।

(1*) वक्तव्य–1 सत्य है, वक्तव्य–2 असत्य है।

(2) वक्तव्य–1 असत्य है, वक्तव्य–2 सत्य है।

(3) दोनों वक्तव्य सत्य है तथा वक्तव्य–2 वक्तव्य–1 की सही व्याख्या करता है।

(4) दोनों वक्तव्य सत्य है तथा वक्तव्य–2 वक्तव्य–1 की सही व्याख्या नहीं करता है।

2. सूची**–I** (वैद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के तरंगदैर्ध्य परास) को सूची**–II** (इन तरंगो के उत्पादन की विधी) से सुमेलित कीजिये और सूचियो के नीचे दिए गए विकल्पों में से सही विकल्प को चुनिए। **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

	सूची**–I**		सूची**–II**
(a)	700 nm से 1mm	(i)	परमाणुओ तथा अणुओं के कम्पन्न द्वारा
(b)	1nm से 400 nm	(ii)	परमाणुओ की आन्तरिक कक्षाओं के इलेक्ट्रानों के एक ऊर्जा स्तर से दूसरे ऊर्जा स्तर में गमन द्वारा
(c)	$< 10^{-3}$ nm	(iii)	अणुओ के रेडियो धर्मी क्षय द्वारा
(d)	1mm से 0.1 m	(iv)	मेग्नेट्रॉन वाल्व द्वारा

(1) (a)–(i), (b)–(ii), (c)–(iii), (d)–(iv) (2*) (a)–(iii), (b)–(iv), (c) – (i), (d)–(ii)

(3) (a)–(iv), (b)–(iii), (c)–(ii), (d)–(i) (4) (a)–(ii), (b)–(iii), (c)–(iv), (d)–(i)

3. सूची**–I** (वैद्युत चुम्बकीय विकिरण से सम्बन्धित तथ्य) को सूची**–II** (वैद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम का भाग) से सुमेलित कीजिये और सूचियो के नीचे दिए गए विकल्पों में से सही विकल्प को चुनिए। **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

	सूची–I		**सूची–II**
I	सोडियम का द्विक (Doublet)	A	दृश्य तरंगे
II	सम्पूर्ण क्षैत्र को भरने वाली समदेशीय विकिरण से संबंधित ताप के संगत तरंगदैर्ध्य	B	सूक्ष्म तरंगे
III	अंतर्तारकीय अतंरिक्ष में हाइड्रोजन परमाणु द्वारा उत्सर्जित तरंगदैर्ध्य	C	लघु रेडियो तरंगे
IV	हाइड्रोजन में दो निकट ऊर्जा स्तर से निकलने वाली विकीरण की तरंगदैर्ध्य	D.	X–किरणें

(1) (I) – (B), (II) – (A), (III), (D), (IV)– (A) (2*) (I) – (A), (II) – (B), (III), (B), (IV)– (C)

(3) (I) – (A), (II) – (B), (III), (C), (IV)– (C) (4) (I) – (D), (II) – (C), (III), (A), (IV)– (B)

4. 1×10^{14} हर्टज आवृति की एक वैद्युतचुम्बकीय तरंग z–अक्ष के अनुदिश संचरित है। वैद्युत क्षेत्र का आयाम 4V/m है। यदि $\in_0 = 8.8 \times 10^{-12}$ $C^2/N–m^2$ तो वैद्युत क्षेत्र का औसत ऊर्जा घनत्व होगा— **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

(1) 35.2×10^{-11} J/m^3 (2*) 35.2×10^{-12} J/m^3 (3) 35.2×10^{-13} J/m^3 (4) 35.2×10^{-10} J/m^3

Ans. (2)

Sol. $u = \frac{1}{2} \in_0 E^2_{rms} = \frac{1}{2} \times 8.8 \times 10^{-12} \times \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 = 35.2 \times 10^{-12}$

5. व्योम तरंग संचरण हेतु, रेडियो तरंगो की आवृति सीमा होगी— **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

(1) 1 MHz से 2 MHz (2) 45 MHz से 50 MHz (3) 35 MHz से 40 MHz (4) 5 MHz से 25 MHz

6. लम्बी दूरी प्रसारण संभव होगा जबकि रेडियो तरंगे आयन मण्डल से लौट कर आती है। इस उद्देश्य हेतु रेडियोतरंगो की आवृति निम्न परास में होनी चाहिए— **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

(1*) 8–25 MHz (2) 80–150 MHz (3)150–500 kHz (4) 1–3 MHz

Ans. (1)

7. यदि वैद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम में M, X, I, G, U, R तथा V द्वारा, सूक्ष्म तरंगो, x-किरणों, अवरक्त, गामा किरणें, पराबैंगनी, रेडियो तरंगे तथा दृश्य किरण भाग को दर्शाता है, तो निम्न में से कौनसा विकल्प तरंगदैर्ध्य के बढ़ते क्रम को दर्शाता है— **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

(1) I, M, R, U, V, X तथा G
(2) R, M, I, V, U, X तथा G
(3) M, R, V, X, U, G तथा I
(4*) G, X, U, V, I, M तथा R

Ans. (4)

8. 2×10^{14} हर्टज् आवृति तथा 27 Vm^{-1} के वैद्युत क्षेत्र के आयाम वाली एक वैद्युत चुम्बकीय तरंग x-दिशा में संचरित है। नीचे दिए गए विकल्पों में से कौनसा एक विकल्प इस तरंग हेतु चुम्बकीय क्षेत्र को दर्शाता है। **[JEE (MAIN) 2015_ONLINE TEST]**

(1) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{j}$ $\sin\left[1.5\times10^{-6}x - 2\times10^{14}t\right]$
(2) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{i}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-8}x - 2\times10^{14}t)\right]$
(3) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{k}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-6}x - 2\times10^{14}t)\right]$
(4) $\vec{B}(x,\ t) = (3\times10^{-8}T)\hat{j}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-8}x - 2\times10^{14}t)\right]$

Ans. **(3)**

Sol. $\omega = 2\pi \times 2 \times 10^{14}$ Hz

$B_0 = \dfrac{E_0}{C} = \dfrac{27}{3\times10^8} = 9 \times 10^{-8}$ Tesla

B के दोलन $\hat{j}$ या $\hat{k}$ दिशा में संभव है।

$\therefore$ विकल्प (3)

9. z-दिशा में संचरित समतल वैद्युतचुम्बकीय तरंगो हेतु निम्न में से कौनसा समुच्चय क्रमशः $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ हेतु सही संभव दिशा को दर्शाता है। **[JEE (MAIN) 2015_ONLINE TEST]**

(1) $\left(2\hat{i}+3\hat{j}\right)$ तथा $\left(\hat{i}+2\hat{j}\right)$
(2) $\left(-2\hat{i}-3\hat{j}\right)$ तथा $\left(3\hat{i}-2\hat{j}\right)$
(3) $\left(3\hat{i}+4\hat{j}\right)$ तथा $\left(4\hat{i}-3\hat{j}\right)$
(4) $\left(\hat{i}+2\hat{j}\right)$ तथा $\left(2\hat{i}-\hat{j}\right)$

Ans. **(2)**

Sol. $\vec{E}\cdot\vec{B} = 0$

$\because [\vec{E} \perp \vec{B}]$

विकल्प 2, 3, 4 संभव है।

$\vec{E} \times \vec{B}$, Z अक्ष के अनुदिश होना चाहिए

$\left(-2\hat{j}-3\hat{j}\right) \times \left(3\hat{i}-2\hat{j}\right) = 5\hat{k}$

$\therefore$ विकल्प (2)

Exercise-1

✍ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

OBJECTIVE QUESTIONS

1. वैद्युत चुम्बकीय तरंगों का मूल स्रोत है
(1) परिवर्तनीय चुम्बकीय क्षेत्र (2) नियत चुम्बकीय एवम् वैद्युत क्षेत्र
(3) वैद्युत आवेशों के निरन्तर कम्पन (4) ग्रह (planet)

2.✍ वैद्युत चुम्बकीय तरंगों की चाल प्राप्त करने के लिये सम्बन्ध हैं
(1) $\mu_0 \varepsilon_0$ (2) $\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ (3) $1/\mu_0 \varepsilon_0$ (4) $1/\sqrt{(\mu_0 \varepsilon_0)}$

3. वैद्युत चुम्बकी तरंग में, वैद्युत क्षेत्र **E** तथा चुम्बकीय क्षेत्र **B** होते हैं
(1) परस्पर लम्बवत् (2) समान्तर (3) परस्पर 30^0 पर (4)परस्पर 60^0 पर

4. वैद्युत चुंम्बकीय तरंगो में यदि वैद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{E}$ व $\vec{B}$ हैं, तब वैद्युत चुम्बकीय तरंग के संचरण की दिशा होगी
(1) $\vec{E}$ (2) $\vec{B}$ (3) $\vec{E} \times \vec{B}$ (4) उपरोक्त में कोई नहीं

5. लाल प्रकाश, नीले प्रकाश से किस गुण में भिन्न है।
(1) चाल (2) आवृत्ति (3) तीव्रता (4) आयाम

6. दूरसंचार में प्रयुक्त वैद्युतचुंबकीय तरंगें होती है।
(1) पराबैगनी (2) अवरक्त (3) दृश्य (4) सूक्ष्म तरंगें

7.✍ यदि निर्वात से संचरित वैघुतचुंबकीय तरंग
$E = E_0 \sin(kx - \omega t)$; $B = B_0 \sin(kx - \omega t)$,है। तब
(1) $E_0 k = B_0 \omega$ (2) $E_0 B_0 = \omega k$ (3) $E_0 \omega = B_0 k$ (4) $E_0 B_0 = \omega / k$

8. निम्न में से कौन–सी किरण विद्युत चुम्बकीय तरंग नहीं है ?
(1) β – किरण (2) ऊष्मीय किरण (3) X- किरण (4) γ–किरण

9.✍ एक माध्यम में किसी प्रकाश तरंग की आवृत्ति 2×10^{14} Hz है और इसकी तरंगदैर्ध्य 5000 Å है। माध्यम का अपवर्तनांक होगा:
(1) 1.40 (2) 1.50 (3) 3.00 (4) 1.33

10. एक विद्युत–चुम्बकीय तरंग के विद्युत और चुम्बकीय क्षेत्र :
(1) एक ही कला में और परस्पर समान्तर है
(2) विपरीत कला में और परस्पर लम्ब दिशा में होते है।
(3) विपरीत कला में और परस्पर समान्तर होते हैं
(4) एक ही कला में और परस्पर लम्ब दिशाओं में होते हैं

11. एक माध्यम में एक विद्युत चुम्बकीय तरंग का वैद्युत क्षेत्र प्रदर्शित है

$E_x = 0$;

$$E_y = 2.5\frac{N}{C}\cos\left[\left(2\pi\times10^6\,\frac{rad}{s}\right)t-\left(\pi\times10^{-2}\,\frac{rad}{m}\right)x\right]$$

$E_z = 0$. तब :

(1) तरंग 200 मी तरंगदैर्ध्य तथा $2\pi \times 10^6$ हर्ट्ज आवृत्ति के साथ y दिशा के अनुदिश गतिमान है

(2) तरंग 100 मी तरंगदैर्ध्य तथा 10^6 हर्ट्ज आवृत्ति के साथ x दिशा के अनुदिश गतिमान है

(3) तरंग 200मी तरंगदैर्ध्य तथा 10^6 हर्ट्ज आवृत्ति के साथ x दिशा के अनुदिश गतिमान है

(4) तरंग 200मी तरंगदैर्ध्य तथा 10^6 हर्ट्ज आवृत्ति के साथ –x दिशा के अनुदिश गतिमान है

12. वैद्युत चुम्बकीय तरंग का वैद्युत क्षेत्र $\vec{E} = 10\cos(10^7 t + kx)\hat{j}$ वोल्ट/मी, द्वारा दिया गया है, जहाँ t और x क्रमशः सेकण्ड तथा मीटर में हैं, परिणाम हो सकते हैं

(i) तरंगदैर्ध्य λ = 188.4 m.

(ii) तरंग संख्या k = 0.33 रेडियन/मी

(iii) तरंग आयाम = 10 वोल्ट/मी

(iv) तरंग +x अक्ष के अनुदिश प्रसारित होती है

उपरोक्त कथनों में कौन–से कथन सत्य हैं ?

(1) (iii) और (iv)

(2) (i) और (ii)

(3) (ii) और (iii)

(4) (i) और (iii)

13. मैक्सवेल के समीकरण मूलभूत नियम दर्शाते है।

(1) केवल विद्युतिकी में (2) केवल चुम्बकत्व में (3) केवल यांन्त्रिकी में (4) (1) व (2) दोनो ही

14. निर्वात में गमन कर ही एक विद्युत–चुम्बकीय तरंग निम्नानुसार व्यक्त की जाती है :

$E = E_0 \sin(kx - \omega t)$. निम्न में से कौनसा/कौनसे तरंगदैर्ध्य पर निर्भर नहीं करेगें -

(1) k (2) ω (3) k/ω (4) $k\omega$

15. एक अत्यल्प आयतन में निहित ऊर्जा जिससे कोई विद्युत–चुम्बकीय तरंग गुजर रही हो, दोलन करती है -

(1) शून्य आवृत्ति से

(2) तरंग की आवृत्ति से

(3) तरंग की आधी आवृत्ति से

(4) तरंग की दुगनी आवृत्ति से

16. एक समान्तर प्लेट सधारित जिसकी प्लेट का क्षेत्रफल A तथा प्लेटो के मध्य दूरी d है, को नियत धारा i से आवेशित किया जाता है । प्लेटो के मध्य A/2 क्षेत्रफल की समतल सतह पर विचार करते है जो प्लेटो के मध्य सममित रूप से स्थित है इस क्षेत्रफल से गुजरने वाली विस्थापन धारा ज्ञात करो

(1) i (2) $\frac{i}{2}$ (3) 2i (4) शून्य

17. धनात्मक x-दिशा में संचरित्र एक प्रकाश पुंज विद्युत क्षेत्र E_y = (300 V/m) $\sin\omega(t - x/c)$ द्वारा दर्शाया जाता है। एक इलेक्ट्रॉन y-दिशा के अनुदिश 2.0×10^7 m/s की चाल से गति करने के लिए बाधित है। इलेक्ट्रॉन पर कार्यरत अधिकतम विद्युत बल तथा अधिकतम चुम्बकीय बल होगा

(1) 4.8×10^{-17} N, शून्य

(2) 4.2×10^{-18} N, 1.8×10^{-8}

(3) 4.8×10^{-17} N, 3.2×10^{-18} N

(4) शून्य, शून्य

18. 4 mW पर संचालित एक प्रकाश पुंज की 60 cm लम्बाई में संग्राहित ऊर्जा ज्ञात करो। .

(1) 8×10^{-12}J (2) 6×10^{-12}J (3) 4×10^{-12}J (4) 7×10^{-12}J

19. एक समानांतर पट्ट संधारित्र की प्लेट का क्षेत्रफल A तथा प्लेट–अंतराल d है, इसको t = 0 पर वि.वा.बल E तथा आंतरिक प्रतिरोध R वाली बैटरी से जोड़ा गया है। समतल सतह जिसका क्षेत्रफल A/2 है, पर विचार कीजिये जो प्लेटों के बीच सममित रूप से स्थित है तथा प्लेटों के समानांतर है। इस सतह से गुजरने वाली विस्थापन धारा समय के फलन रूप में ज्ञात कीजिये।

(1) $\frac{\varepsilon}{2R}e^{\frac{-td}{\varepsilon AR}}$ (2) $\frac{\varepsilon}{R}e^{\frac{-td}{\varepsilon AR}}$ (3) $\frac{2\varepsilon}{R}e^{\frac{-td}{\varepsilon AR}}$ (4) $\frac{\varepsilon}{2R}e^{\frac{-2td}{\varepsilon AR}}$

20. यदि E विद्युत क्षेत्र की तीव्रता को प्रदर्शित करता है, जो राशि $\in_0 \frac{dE}{dt}$ की विमा किसके तुल्य है।

(1) विद्युत धारा (2) धारा घनत्व (3) विद्युत विभव (4) वैद्युत फ्लक्स

21. एक समतल विद्युत चुम्बकीय तरंग में, विद्युत क्षेत्र एक 2.5×10^{10} Hz की आवृति तथा 480 V/m के आयाम पर ज्यावक्रीय रूप से दोलन करता है, तब दोलित चुम्बकीय क्षेत्र का आयाम होगा—

(1) 1.52×10^{-8} Wb/m^2 (2) 1.52×10^{-7} Wb/m^2 (3) 1.6×10^{-6} Wb/m^2 (4) 1.6×10^{-7} Wb/m^2

22. यदि ε_0 तथा μ_0 निर्वात् की परिमितता तथा पारगम्यता को दर्शाते हैं। तथा ε व μ माध्यम की परिमितता एवं पारगम्यता को दर्शाते हैं, तो माध्यम का अपवर्तनांक है—

(1) $\sqrt{\frac{\varepsilon_0\mu_0}{\varepsilon\mu}}$ (2) $\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{\varepsilon_0\mu_0}}$ (3) $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu_0\varepsilon_0}}$ (4) $\sqrt{\frac{\mu_0\varepsilon_0}{\varepsilon}}$

23. एक लाल प्रकाश प्रेषित करती फ्लड लाईट को एक फिटर द्वारा ढ़का गया है। उत्सर्जित बीम का विद्युत क्षेत्र $E_x = 36 \sin(1.20 \times 10^7 z - 3.6 \times 10^{15} t)$ V/m एक ज्यावक्रीय समतल तरंग द्वारा प्रदर्शित है, तो बीम की औसत तीव्रता W/m^2 में होगी—

(1) 6.88 (2) 3.44 (3) 1.72 (4) 0.86

24. एक लेम्प एक वर्णीय हरा प्रकाश एक समान रूप से सभी दिशाओं में उत्सर्जित करता है। लेम्प विद्युतीय शक्ति को विद्युत चुम्बकीय तरंगो में बदलने में 3% विद्युतीय है तथा 100W की शक्ति उपभोग करता है। लेम्प से 5m की दूरी पर विद्युत चुम्बकीय विकिरणों से सम्बद्ध विद्युत क्षेत्र का आयाम होगा—

(1) 1.34 V/m (2) 2.68 V/m (3) 4.02 V/m (4) 5.36 V/m

25. एक विद्युत चुम्बकीय विकिरण का बिन्दु स्त्रोत 800W की औसत निर्गत शक्ति रखता है। स्त्रोत से 4.0 m की दूरी पर विद्युत क्षेत्र का अधिकतम मान है—

(1) 64.7 V/m (2) 57.8 V/m (3) 56.72 V/m (4) 54.77 V/m

26. समीकरण $E = (50 \text{ N/C}) \sin(\omega t - kx)$ द्वारा दी गई विद्युत चुम्बकीय तरंग का औसत ऊर्जा–घनत्व होगा —

(1) 10^{-8} J/m^3 (2) 10^{-7} J/m^3 (3) 10^{-6} J/m^3 (4) 10^{-5} J/m^3

27. एक X-दिशा के अनुदिश संचरित समतल विद्युत चुम्बकीय तरंग की तरंगदैर्घ्य 3mm है। आयाम के साथ Y-दिशा में विद्युत क्षेत्र में परिवर्तन 66 Vm^{-1} का होता है। x तथा t के फलन के रूप में विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों के लिए समीकरण क्रमशः हैं—

(1) $E_y = 33 \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$, $B_z = 1.1 \times 10^{-7} \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

(2) $E_y = 11 \cos 2\pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$, $B_y = 11 \times 10^{-7} \cos 2\pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

(3) $E_x = 33 \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$, $B_x = 11 \times 10^{-7} \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

(4) $E_y = 66 \cos 2\pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$, $B_z = 2.2 \times 10^{-7} \cos 2\pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

(5) $E_y = 66 \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$, $B_y = 2.2 \times 10^{-7} \cos \pi \times 10^{11}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

28. यदि प्रकश की तरंगदैर्घ्य 4000 Å है, तो 1mm लम्बाई में तरंगों की संख्या होगी—

(1) 25 (2) 0.25 (3) 0.25×10^4 (4) 25×10^4

29. नर्वात् में एक विद्युत चुम्बकीय तरंग से सम्बद्ध विद्युत क्षेत्र $\vec{E} = \hat{i}40\cos(kz - 6 \times 10^8 t)$ द्वारा दिया गया है जहाँ E, z तथा t क्रमशः वोल्ट/मीटर, मीटर तथा सेकण्ड में हैं, तो तरंग सदिश k का मान है—

(1) $2m^{-1}$ (2) 0.5 m^{-1} (3) 6 m^{-1} (4) 3 m^{-1}

30. विद्युत चुम्बकीय तरंग निम्नलिखित द्वारा विचलित हो सकती है—

(1) केवल विद्युत क्षेत्र (2) केवल चुम्बकीय क्षेत्र (3) दोनों (a) तथा (b) (4) इनमे से कोई नहीं

31. एक समतल विद्युत चुम्बकीय तरंग में चुम्बकीय क्षेत्र $B_y = 2 \times 10^{-7} \sin(0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t)$ द्वारा दिया गया है। यह विद्युतचुम्बकीय तरंग है—

(1) एक दृश्य प्रकाश (2) एक अवरक्त तरंग (3) एक सूक्ष्म तरंग (4) एक रेडियो तरंग

Exercise-2

चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

अनुच्छेद

एक समतल em तरंग में विद्युत क्षेत्र, 2.0×10^{10} Hz आवृति तथा 48 V m^{-1} आयाम से ज्यावक्रीय रूप से दोलन करता है।

1. तरंग की तरंगदैर्घ्य कितनी है

(1) 1.5×10^{-2} m (2) 2.5×10^{-2} m (3) 1.5×10^{-3} m (4) 2.5×10^{-3} m

2. दोलनशील चुबकीय क्षेत्र का आयाम क्या है

(1) 2.7×10^{-7} T (2) 1.6×10^{-7} T (3) 1.6×10^{-8} T (4) 2.7×10^{-8} T

Exercise-3

✍ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

भाग - I : AIEEE के प्रश्न (पूर्ववर्तीय वर्षो)

1. अवरक्त विकिरणों का संसूचन ..... द्वारा होता है **[AIEEE 2002; 3/225, –1]**

(1) स्पेक्ट्रोमीटर (2) पायरोमीटर (3) नेनोमीटर (4) फोटोमीटर

2. $\frac{1}{\mu_0 \in_0}$ की विमा होगी, जहां संकेतो का सामान्य अर्थ है। **[AIEEE 2003; 3/225, –1]**

(1) $[L^{-1} T]$ (2) $[L^{-2} T^2]$ (3) $[L^2 T^{-2}]$ (4) $[L T^{-1}]$

3. निम्न में से किस विकिरण की तरंग दैर्ध्य न्यूनतम होगी ? **[AIEEE 2003; 3/225, –1]**

(1) γ-किरणें (2) β-किरणें (3) α-किरणें (4) X-किरणें

4. एक विद्युत चुम्बकीय तरंग की आवृति n = 3.0 MHz है, निर्वात से परावैद्युत माध्यम में गुजरती है जिसकी विद्युतशीलता $\varepsilon = 4.0$, है, तब **[AIEEE 2004; 3/225, –1]**

(1) तरंग दैर्ध्य दुगनी होगी व आवृति अपरिवर्तित रहेगी

(2) तरंग दैर्ध्य दुगनी होगी व आवृति आधी होगी

(3) तरंग आधी होगी व आवृति अपरिवर्तित रहेगी

(4) तरंग दैर्ध्य व आवृति दोनो ही अपरिवर्तित रहेगी

5.✍ निर्वात में एक विद्युतचुम्बकीय तरंग में विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{E}$ एवं $\vec{B}$ हैं, जो कि हमेशा एक दूसरे के लम्बवत् हैं। ध्रुवण की दिशा $\vec{X}$ से दी जाती है और तरंग संचरण की $\vec{k}$ से। तब **[AIEEE 2012, 4/120, – 1]**

(1) $\vec{X} \| \vec{B}$ और $\vec{k} \| \vec{B} \times \vec{E}$ (2) $\vec{X} \| \vec{E}$ और $\vec{k} \| \vec{E} \times \vec{B}$

(3) $\vec{X} \| \vec{B}$ और $\vec{k} \| \vec{E} \times \vec{B}$ (4) $\vec{X} \| \vec{E}$ और $\vec{k} \| \vec{B} \times \vec{E}$

6. एक गतिशील विद्युत चुम्बकीय तरंग में चुम्बकीय क्षेत्र का शीर्ष मान 20 nT है। विद्युत क्षेत्र सामर्थ्य का शीर्ष मान है : **[JEE (Main) 2013, 4/120, –1]**

(1) 3V/m (2) 6V/m (3) 9V/m (4) 12 V/m

7. इस प्रश्न में कथन एक तथा दो हैं। कथनों के बाद दिये गये चार विकल्पों में से एक को चूनियें जो दोनों कथनों को सबसे अच्छा प्रदर्शित करता है। **[JEE(MAIN) 2013_ONLINE TEST]**

कथन–1 : रडियो तरंगों तथा सूक्ष्म तरंगों में से रेडियो तरंगें अधिक विवर्तन से गुजरती है।

कथन –2 : रेडियो तरंगों की आवृत्ति सूक्ष्मतरंगों आवृत्ति की तुलना में ज्यादा होती है।

(1) कथन–1 सही है, कथन–2 गलत है।

(2) कथन–1 गलत है, कथन–2 सही है।

(3) दोनों कथन सही है तथा कथन–2, कथन–1 का सही स्पष्टीकरण है।

(4) दोनों कथन सही है तथा कथन–2, कथन–1 का सही स्पष्टीकरण नहीं है।

8. एक माध्यम में विद्युत चुम्बकीय तरंगों के संचरण के दौरान : **[JEE (Main) 2014, 4/120, –1]**

(1) विद्युतीय ऊर्जा घनत्व चुम्बकीय ऊर्जा घनत्व का दुगुना है।

(2) विद्युतीय ऊर्जा घनत्व चुम्बकीय ऊर्जा घनत्व का आधा है।

(3) विद्युतीय ऊर्जा घनत्व चुम्बकीय ऊर्जा घनत्व के बराबर है।

(4) दोनों विद्युतीय एवं चुम्बकीय ऊर्जा धनत्व शून्य है।

9. सूची-I (विद्युत चुम्बकीय तरंग प्रकार) को सूची-II (इनसे सम्बद्धित/अनुप्रयोगित) से सुमेलित कीजिए और सूचियों के नीचे दिये गये विकल्पों से सही विकल्प चुनिए: **[JEE (Main) 2014, 4/120, –1]**

List-I		List-II	
(a)	अवरक्त तरंगें	(i)	माँसपेशियों की विकृति के इलाज के लिए
(b)	रेडियो तरंगे	(ii)	प्रसारण के लिये
(c)	X-किरणें	(iii)	हड्डियों के अस्थिभंग की पहचान के लिए
(d)	परावैंगनी किरणें	(iv)	वातावरण की ओजोन परत द्वारा अवशोषण

	(a)	(b)	(c)	(d)
(1)	(iv)	(iii)	(ii)	(i)
(2)	(i)	(ii)	(iv)	(iii)
(3)	(iii)	(ii)	(i)	(iv)
(4)	(i)	(ii)	(iii)	(iv)

10. सूची–I (विद्युतचुम्बकीय स्पैक्ट्रम की तरंगदैर्ध्य परास) के सूची–II (इन तरंगों के उत्पन्न होने का तरीका के साथ मिलाईये) तथा नीचे दी गई सूचियों के विकल्पों में से सही विकल्प चुनिये। **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

	सूची–I		**सूची–II**
(a)	700 nm to 1mm	(i)	परमाणुओं तथा अणुओं के कम्पन्न
(b)	1nm to 400 nm	(ii)	परमाणुओं में आन्तरिक कोश के इलेक्ट्रॉन जो एक ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर में गति करते है।
(c)	$< 10^{-3}$ nm	(iii)	अणुओं का रेडियों सक्रीय क्षय
(d)	1mm to 0.1 m	(iv)	मेग्नेट्रॉन वाल्व

(1) (a)–(i), (b)–(ii), (c)–(iii), (d)–(iv)
(2) (a)–(iii), (b)–(iv), (c) – (i), (d)–(ii)
(3) (a)–(iv), (b)–(iii), (c)–(ii), (d)–(i)
(4) (a)–(ii), (b)–(iii), (c)–(iv), (d)–(i)

11. सूची–I (विद्युतचुम्बकीय विकिरण की घटना से जुड़े) को सूची–II (विद्युत चुम्बकीय स्पैक्ट्रम के भाग) के साथ मिलाइयें तथा नीचे दी गई सूचियों के विकल्पों में से सही विकल्प चुनिये– **[JEE (MAIN) 2014_ONLINE TEST]**

	सूची–I		**सूची–II**
I	सोडियम का द्विक	A	दृश्य विकिरण
II	सम्पूर्ण जगह से मेरी समआयतनिक विकिरण के साथ जुड़े तापमान के अनुरूप तरंग दैर्ध्य	B	सूक्ष्मतरंगें
III	अन्तर्तारकीय स्थान में परमाणविक हाइड्रोजन द्वारा उत्सर्जित तरंगदैर्ध्य	C	लघु रेडियों तरंगें
IV	हाइड्रोजन पे दो बन्द ऊर्जा स्तरों से उत्पन्न होने वाली विकिरण की तरंगदैर्ध्य	D.	X–किरणें

(1) (I) – (B), (II) – (A), (III), (D), (IV)– (A)
(2) (I) – (A), (II) – (B), (III), (B), (IV)– (C)
(3) (I) – (A), (II) – (B), (III), (C), (IV)– (C)
(4) (I) – (D), (II) – (C), (III), (A), (IV)– (B)

12. एक 1×10^{14} हर्ट्ज आवृत्ति की विद्युत चुम्बकीय तरंग z–अक्ष के अनुदिश संचरित है। विद्युत क्षेत्र का आयाम 4V/m है। यदि $\in_0 = 8.8 \times 10^{-12}$ $C^2/N–m^2$ है तो विद्युत क्षेत्र की औसत ऊर्जा घनत्व होगा– **[JEE (Main) 2014_ONLINE TEST]**

(1) 35.2×10^{-11} J/m^3 (2) 35.2×10^{-12} J/m^3 (3) 35.2×10^{-13} J/m^3 (4) 35.2×10^{-10} J/m^3

13. यदि विद्युतचुम्बकीय स्पैक्ट्रम की सूक्ष्मतरंगें, X-किरणें, अवरक्त किरणे, गामा किरणें, पराबैगनी किरणें, रेडियों तरंगें तथा दृश्य क्षेत्र को M, X, I, G, U, R तथा V से प्रदर्शित किया जाए तो निम्न में से कौनसा तरंगदैर्ध्य के बढ़ते क्रम में है– **[JEE (Main) 2014_ONLINE TEST]**

(1) I, M, R, U, V, X तथा G
(2) R, M, I, V, U, X तथा G
(3) M, R, V, X, U, G तथा I
(4) G, X, U, V, I, M तथा R

14. x-दिशा में संचारित एक विद्युत चुम्बकीय तरंग की आवृत्ति 2×10^{14} Hz तथा विद्युत क्षेत्र का आयाम 27 Vm^{-1} है। नीचे दिये विकल्पों में से कौनसा एक इस तरंग के लिए चुम्बकीय क्षेत्र प्रदर्शित करता है? **[JEE (Main) 2015_ONLINE TEST]**

(1) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{j}$ $\sin\left[1.5\times10^{-6}x - 2\times10^{14}t\right]$

(2) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{i}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-8}x - 2\times10^{14}t)\right]$

(3) $\vec{B}(x,\ t) = (9\times10^{-8}T)\hat{k}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-6}x - 2\times10^{14}t)\right]$

(4) $\vec{B}(x,\ t) = (3\times10^{-8}T)\hat{j}$ $\sin\left[2\pi(1.5\times10^{-8}x - 2\times10^{14}t)\right]$

15. z-दिश में समतल विद्युत चुम्बकीय तरंग संचरण के लिए निम्न में से कौनसा संयोजन क्रमशः है तथा $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ क्षेत्र के लिए सही संभव दिशा देता है– **[JEE (Main) 2015_ONLINE TEST]**

(1) $\left(2\hat{i}+3\hat{j}\right)$ तथा $\left(\hat{i}+2\hat{j}\right)$

(2) $\left(-2\hat{i}-3\hat{j}\right)$ तथा $\left(3\hat{i}-2\hat{j}\right)$

(3) $\left(3\hat{i}+4\hat{j}\right)$ तथा $\left(4\hat{i}-3\hat{j}\right)$

(4) $\left(\hat{i}+2\hat{j}\right)$ तथा $\left(2\hat{i}-\hat{j}\right)$

16. निम्न प्रति क्वांटम वैद्युत–चुम्बकीय विकिरणों को उनकी ऊर्जा के बढ़ते हुए क्रम में लगायें : **[JEE (Main) 2016 ; 4/120, –1]**

A : नीला प्रकाश B : पीला प्रकाश

C : X-किरणें D : रेडियो तरंग

(1) A, B, D, C (2) C, A, B, D (3) B, A, D, C (4) D, B, A, C

17. एक विद्युत चुंबकीय तरंग हवा से किसी माध्यम में प्रवेश करती है। उनके वैद्युत क्षेत्र $\vec{E}_1 = E_{01}\hat{x}\cos\left[2\pi\nu\left(\frac{z}{c}-t\right)\right]$ हवा में एवं $\vec{E}_2 = E_{02}\hat{x}\cos[k(2z-ct)]$ माध्यम में हैं, जहाँ संचरण संख्या k तथा आवृत्ति υ के मान हवा में हैं। माध्यम अचुम्बकीय है। यदि ε_{r_1} तथा ε_{r_2} क्रमशः हवा एवं माध्यम की सापेक्ष विद्युतशीलता हो तो निम्न में से कौन सा विकल्प सत्य होगा?

(1) $\frac{\varepsilon_{r_1}}{\varepsilon_{r_2}} = \frac{1}{4}$ (2) $\frac{\varepsilon_{r_1}}{\varepsilon_{r_2}} = \frac{1}{2}$ (3) $\frac{\varepsilon_{r_1}}{\varepsilon_{r_2}} = 4$ (4) $\frac{\varepsilon_{r_1}}{\varepsilon_{r_2}} = 2$

Answers

EXERCISE-1

1.	(3)	**2.**	(4)	**3.**	(1)
4.	(3)	**5.**	(2)	**6.**	(4)
7.	(1)	**8.**	(1)	**9.**	(3)
10.	(4)	**11.**	(3)	**12.**	(4)
13.	(4)	**14.**	(3)	**15.**	(4)
16.	(2)	**17.**	(3)	**18.**	(1)
19.	(1)	**20.**	(2)	**21.**	(3)
22.	(2)	**23.**	(3)	**24.**	(2)
25.	(4)	**26.**	(1)	**27.**	(4)
28.	(3)	**29.**	(1)	**30.**	(4)
31.	(3)				

EXERCISE-2

1.	(1)	**2.**	(2)

EXERCISE-3

PART – I

1.	(2)	**2.**	(3)	**3.**	(1)
4.	(3)	**5.**	(2)	**6.**	(2)
7.	(1)	**8.**	(3)	**9.**	(4)
10.	(1)	**11.**	(2)	**12.**	(2)
13.	(4)	**14.**	(3)	**15.**	(2)
16.	(4)	**17.**	(1)		