30

312hi30

संचार तंत्र

संचार प्रत्येक जीवित प्राणी का एक मूल अभिलक्षण है। संचार में किसी व्यक्ति/स्थान से सूचना का प्रेषण तथा अन्य व्यक्ति/स्थान द्वारा उसका अभिग्रहण होता है। जंतु जगत में, संचार यांत्रिक, श्रव्य तथा रासायनिक संकेतों द्वारा होता है। आपने देखा होगा कि किसी घुसपैठिए को देखकर, जो उनके जीवन को संकट में डाल सकता है, गौरेयाँ किस प्रकार जोर-जोर से शोर मचाने लगती हैं। मनुष्यों को संचार का एक अत्यंत सशक्त माध्यम वाणी के वरदान स्वरूप मिला हुआ है। अपने आस-पास जो कुछ भी घटित हो रहा है उसको हम देख सकते हैं, उसके बारे में सोच सकते हैं तथा उसका अनुभव भी कर सकते हैं इसका अर्थ यह हुआ कि यांत्रिक (ताली बजाने, थपथपाने) एवं प्रकाश-यांत्रिक संकेतों (सिर हिलाने, संकेत करने) के अतिरिक्त संचार हेतु हम 20Hz – 20 kHz के श्रव्य परिसर में ध्वनि तथा 400 Å – 7000Å के दृश्य परिसर में प्रकाश का प्रयोग भी कर सकते हैं। आपको इस बात की अनुभूति होनी चाहिए कि उच्चारित या लिखित शब्दों का कोई अर्थ निकले, इसमें भाषा बड़ी महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है, यह नैसर्गिक रूप से हम तक पहुंचता है। जब लिखित अक्षरों का जन्म नहीं हुआ था तब संचार का माध्यम मौखिक ही था। संचार के द्वितीय युग का श्रीगणेश मुद्रण मशीन के आविष्कार के साथ हुआ। उन्नीसवीं शताब्दी के आरंभिक काल में टेलीग्राफ का आविष्कार तृतीय युग अथवा तीसरे चरण के श्रीगणेश का सूचक था। क्रांतिकारी तकनीकी विकासों ने सूचना के द्रुत, दक्ष एवं यथातथ्य संचरण को संभव बनाया। टेलीग्राफ, फैक्स, टेलीफोन, रेडियो, मोबाइल फोनों, उपग्रहों तथा कंप्यूटरों जैसे साधनों एवं तकनीकों के प्रयोग द्वारा दूरस्थ स्थानों तक संचार स्थापित करना संभव है। महासागर एवं पर्वत मालाएं अब कोई अवरोध नहीं प्रस्तुत करते हैं तथा काल एवं दूरी के व्यवरोध अब अस्तित्वहीन प्रतीत होते हैं। ऑन-लाइन अभिगमन (शिक्षा), प्रकाशन (शोध), बैंकिंग (व्यवसाय), जिन्हें विज्ञान कथाओं के विषय रहे बहुत अधिक समय नहीं बीता है, अब सामान्य गतिविधियाँ हैं। वस्तुतः इलेक्ट्रॉनिक संचार तकनीकों के कंप्यूटरों के साथ संयोजन ने सूचना एवं संचार प्रौद्योगिकियों (आई सी टी) के एक अति सशक्त एवं उर्वर क्षेत्र के द्वार खोल दिए हैं।

क्या आपने कभी उस टेक्नोलॉजी के विषय में सोचा है जिसने इन सब प्रौद्योगिकियों के विकास को संभव बनाया? इस प्रश्न का उत्तर आप इस पाठ में खोज पाएंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप

- सुदूर संचार तंत्र में प्रयुक्त होने वाले अवयवों की सूची बना पाएंगे;
- अनुरूप एवं अंकीय संकेतों की व्याख्या कर पाएंगे;
- वर्णन कर पाएंगे कि विद्युत-चुंबकीय तरंगे सूचना के वाहक के रूप में कैसे कार्य करती हैं;
- (वाक्, टीवी एवं डिजीटली) सिग्नलों की बैंड-चौड़ाई बता पाएंगे;
- विभिन्न संप्रेषण माध्यमों को सूचीबद्ध कर सकेंगे और उनकी विशिष्ट बैंड-चौड़ाइयां निर्दिष्ट कर सकेंगे;
- भू-तरंग प्रगमन, व्योम तरंग प्रगमन तथा आकाश तरंग प्रगमन के महत्व की व्याख्या कर सकेंगे;
- मॉडुलन की आवश्यकता बता सकेंगे; तथा
- आयाम मॉडुलित तरंग के जनन और संसूचन की व्याख्या कर सकेंगे।

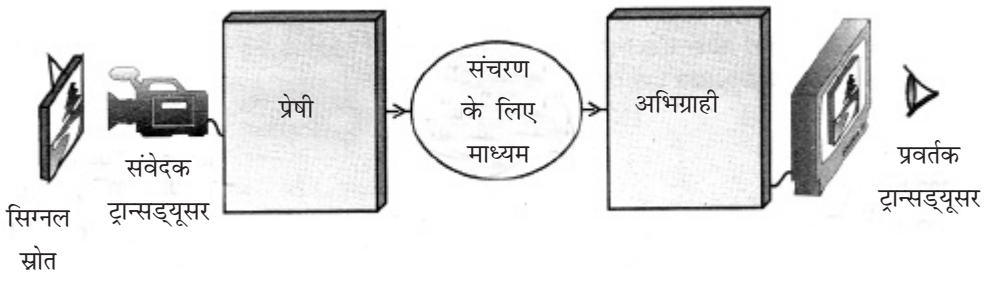
30.1 एक आदर्श संचार तंत्र

संचार तंत्र सूचना के

– एकैकी अर्थात् स्थल-स्थल संचरण का कार्य करते हैं;

– एक से अनेक अर्थात् प्रसारण संचरण का कार्य करते हैं; तथा

– अनेक से अनेक अर्थात् टेलीफोन कांफ्रेंस कॉल अथवा एक चैटरूप से होने वाले संचरण का कार्य करते हैं।



चित्र 30.1: संचार तंत्र के लिए एक व्यवस्थात्मक विन्यास

आधुनिक काल के एक प्रारूपिक संचार तंत्र में सूचना वैद्युत संकेतों (वोल्टता या धारा) के रूप में होती है जो **बैंड विस्तार** कहलाने वाली आवृत्तियों के एक परिसर में विस्तारित होती

है। (कुछ शोर संकेत के साथ जाकर मिल जाता है जो वांछित सूचना को बाधित करने का प्रयास करता है) किसी (संचार) तंत्र के वैज्ञानिक विश्लेषण के लिए हम उस तंत्र का उसके मूल घटकों के रूप में प्रतिरूपण करते हैं। अब आप इनके विषय में पढ़ेंगे:

30.1.1 संचार तंत्र के अवयव

चित्र 30.1 को देखिए। यह किसी प्रारूपिक संचार तंत्र के रचना खंडों को दर्शाता है। ध्यान दें कि ये किसी संचार तंत्र के अनिवार्य अवयव हैं:

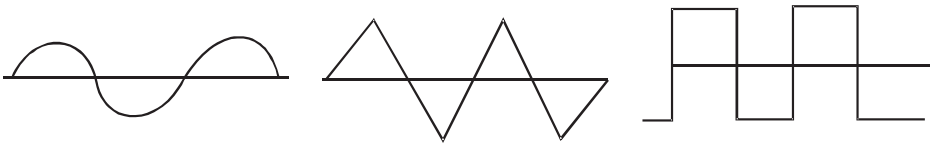
- एक संकेत का स्रोत, एक संवेदक ट्रान्सड्यूसर तथा एक **प्रेषी**, जो संकेत को वहन करने वाली सूचना का प्रमोचन करता है।
- दूरस्थ स्थानों तक संकेत के पथप्रदर्शन एवं उसे अपने साथ वहन करने के लिए एक मध्यवर्ती **माध्यम/चैनल;** तथा
- एक संकेत अभिग्राही एवं एक प्रवर्तक ट्रांस्ड्यूसर जो सिग्नल को अवरूद्ध करने एवं सूचना की पुन: प्राप्ति के लिए प्रयुक्त होता है।

30.2 संकेतों के प्रकार–एनालौग और डिजिटल

अब आपको ज्ञात हो चुका है कि सूचना का संचार संकेतों के माध्यम से होता है। इन्हें इनकी उत्पत्ति और प्रवृत्ति के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। इस आधार पर हमारे पास निम्न संकेत उपलब्ध होते हैं:

- संतत काल (एनालौग) तथा विविक्त काल (डिजिटल) संकेत;
- कोडित एवं अकोडित संकेत;
- आवर्ती एवं अनावर्ती संकेत;
- ऊर्जा एवं शक्ति संकेत; तथा
- निर्धारणात्मक एवं यादृच्छिक संकेत।

हम इनमें से केवल एनालौग (अनुरूप) तथा डिजिटल (अंकीय) प्रणालियों पर ही विचार करेंगे। मनुष्य द्वारा परस्पर वार्तालाप करते समय या फोनोग्राफ से उत्पन्न ध्वनि संतत रूप से परिवर्तित वैद्युत अनुरूप संकेतों में रूपांतरित हो जाती है। [चित्र 30.2 (b), (c)]। चित्र 30.2 पर ध्यान देने पर आप पाएंगे कि संकेतों को निरूपित करने वाले तरंगरूप एक विशिष्ट आवृत्ति से संबंध रखते हैं और ये आवर्ती होते हैं; जबकि इनमें से एक ज्यावक्रीय है तो अन्य स्पंदित है। वस्तुत:, इन्हें ज्या तथा वर्ग तरंगरूपों के उप-वर्ग के रूप में माना जाता है। संकेत को एनालौग (अनुरूप) (अथवा संतत) और डिजिटल (अंकीय) (अथवा विविक्त) दोनों रूपों में ही संकुलित किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, वाक् एक एनालौग अनुरूप संकेत है जो समय के साथ संतत रूप से परिवर्तित होती है। इसके विपरीत, कंप्यूटर की फाइलें प्रतीकात्मक ''विविक्त-काल'' अंकीय संकेतों के रूप में होती हैं।



चित्र 30.2: (a) संतत (ज्या वक्रीय) तथा (b) विविक्त संकेत

डिजिटल (अंकीय) फार्मेट में, संकेत **बिट्स** (बाइनरी डिजिट्स का संक्षिप्त रूप) की शृंखलाओं के रूप में होते हैं। प्रत्येक बिट या तो 'चालू' अथवा 'बंद' (1 अथवा 0) इन दोनों में से किसी एक को निरूपित करता है। **द्वि-आधारी** पद्धति उस संख्या पद्धति को निरूपित करती हे जो 1 और 0 केवल दो अंकों का ही प्रयोग करती है (दशमलव पद्धति से इसकी तुलना कीजिए जो 0 से 9 तक दस इंकों का प्रयोग करती है)। सूचना वहन करने वाले प्रत्येक संकेत को हम विविक्त-काल, आयाम-अवांछित अंकीय संकेत के रूप में रूपांतरित कर सकते हैं। एक कांपैक्ट डिस्क (सीडी) में ऑडियो को डिजिटल (अंकीय) संकेतों के रूप में भंडारित किया जाता है ठीक उसी प्रकार जैसे कि वीडियो डिस्क (डीवीसी) में वीडियों को डिजिटल (अंकीय) रूप में भंडारित किया जाता है।

संचार प्रणालियाँ या तो आधारभूत रूप से एनालौग (अनुरूप) हो सकती हैं जैसे आयाम माडुलन (AM) रेडियो अथवा कंप्यूटर नेटवर्कों जैसी अंकीय हो सकती है। सामान्तया, (एनालौग) अनुरूप प्रणालियां एक ही प्रकार के अनुप्रयोग के लिए डिजिटल (अंकीय) प्रणालियों की तुलना में अधिक महंगी होती हैं। परंतु डिजिटल (अंकीय) प्रणालियाँ अधिक दक्ष होती हैं, बेहतर ढंग से कार्य करती हैं (कम त्रुटि एवं शोर उत्पन्न करती हैं) तथा अधिक लोच का गुण लिए होती हैं यह जानना रोचक होगा कि दोनों में ही एनालौग (अनुरूप) संकेतों का प्रयोग किया जाता है, जैसे कि इन्टरनेट (बेतार संचार का एक उदाहरण) में वोल्टता एवं सैलुतर फोन (बेतार संचार) में विद्युत-चुंबकीय विकिरण।

30.3 सिग्नलों की बैंड चौड़ाई

संचार तंत्रों में सबसे महत्वपूर्ण प्राचल, संकेत का बैंड विस्तार होता है, जो उस आवृत्ति परिसर को निरूपित करता है जिसमें संकेत परिवर्तित होता है। परन्तु, एनालौग (अनुरूप) एवं डिजिटल (अंकीय) संकेतों में इसके भिन्न अर्थ हैं जहां एनालौग (अनुरूप) बैंड विस्तार कार्यक्रम के जिस परिसर में कोई संकेत स्थित होता है, उसका सूचक होता है। वहीं डिजिटल (अंकीय) बैंड विस्तार किसी अंकीय संकेत में निहित सूचना के परिणाम का निर्धारण करता है। यही कारण है कि एनालौग (अनुरूप) बैंड विस्तार को आवृत्ति अर्थात् Hz में जबकि डिजिटल (अंकीय) बैंड विस्तार को बिट्स प्रति सेकेंड (bps) में व्यक्त किया जाता है। कुछ ऑडियो संकेतों के आवृत्ति परिसर एवं उनके बैंड विस्तार सारणी 30.1 में दिए गए हैं। ध्यान दें कि मानक वाणी का बैंड विस्तार लगभग 4 kHz होता है। आयाम माडुलिक (एफ एम) रेडियो प्रेषण में बैंड विस्तार लगभग 10 kHz होता है। जबकि आवृत्ति माडुलिक (एफ एम) प्रेषण में 15 kHz होता है। परंतु एफ एम प्रसारण द्वारा प्राप्त संकेत की गुणवत्ता ए एम द्वारा प्राप्त संकेत की गुणवत्ता से निर्णायक रूप से बेहतर होती है। एक वीडियो संकेत का बैंड

विस्तार लगभग 4.2 MHz तथा एक टेलीविजन प्रसारण चैनल का बैंड विस्तार 6 MHz होता है। एक प्रारूपिक मॉडम, जो एनालौग (अनुरूप) टेलीफोन लाइनों से अंकीय संकेतों के संचरण हेतु प्रयुक्त होने वाली एक युक्ति है, का बैंड विस्तार 32 kbps, 64 kbps अथवा 512 kbps होता है।

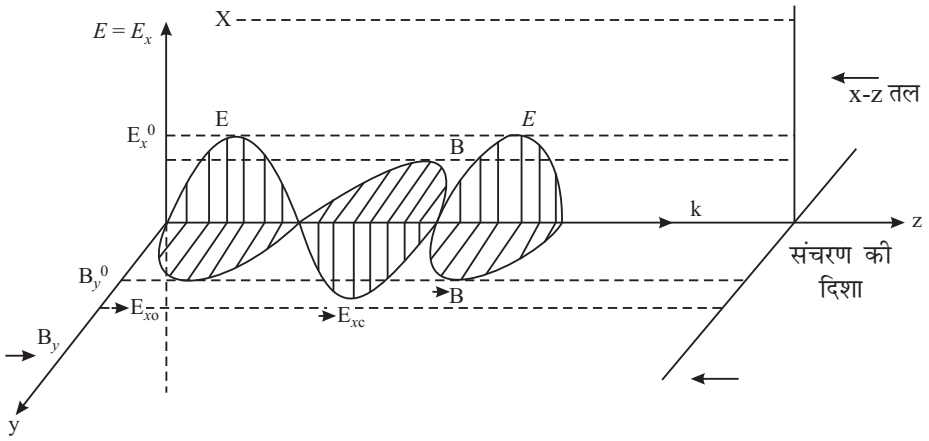
सारणी 30.1: प्रारूपिक ऑडियो बैंड विस्तार

स्रोत	आवृत्ति परिसर (H_E)	बैंड विस्तार (kHz)
गिटार	82–880	... 0.8
वॉयलिन	196–2794	... 2.6
स्वर (a,e,i,o,u)	250–5000	... 4
व्यंजन		
टेलिफोन संकेत	200–3200	... 3

30.3.1 संचार में विद्युत-चुंबकीय तरंगें

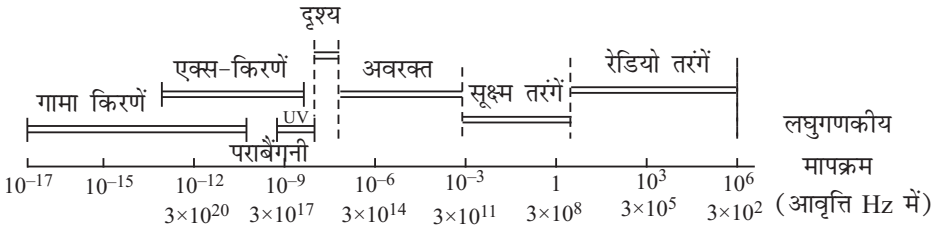
संचार में, वैद्युत संकेत को प्रेषी से अभिग्राही तक पहुंचाने के लिए हम भिन्न-भिन्न विधियों का उपयोग करते हैं। विद्युत एवं चुंबकत्व के मॉड्यूलों से आप स्मरण करेंगे कि धारा को किसी धातु के चालक से धारा संकेत या वोल्टता पात के रूप में, वायु से विद्युत-चुंबकीय विकिरण के रूप में अथवा प्रकाश संकेत में परिवर्तित करके प्रकाशिक तंतु के माध्यम से भेजा जा सकता है। प्रणाली चाहे कोई भी हो, संकेत का प्रेषण मैक्सवेल द्वारा दिए गए विद्युत चुंबकीय तरंग संचरण के चिरसम्मत सिद्धांत द्वारा ही निगमित होता है।

जैसा कि नाम से विदित है, विद्युत-चुंबकीय तरंगों में विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक दिक्काल परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र को उत्पन्न करता है जो प्रत्युत्तर में एक विद्युत क्षेत्र को उत्पन्न करता है। यह परस्पर सहायक भूमिका विद्युत-चुंबकीय नियमों के अनुसार विद्युत-चुंबकीय तरंगों के संचरण का कारण बनती है। एक समतल विद्युत चुंबकीय तरंग का चित्रमय निरूपण चित्र 30.3 में दर्शाया गया है।



चित्र 30.3: विद्युत चुम्बकीय तरंगों का संचरण

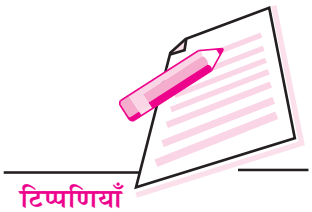
गणितीय रूप से, इन्हें हम इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं: $E = E_0 \sin(kz - \omega t)$ और $H = H_o \sin(kz - \omega t)$। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के अस्तित्व का प्रत्यक्ष प्रायोगिक साक्ष्य 1888 में हर्ट्ज द्वारा किए गए प्रभावशाली प्रयोगों की एक शृंखला द्वारा ही सामने आया। उन्होंने पाया कि उनके उपकरण से यथेष्ट दूरी पर विद्युत चुंबकीय प्रेरण के प्रभाव का वह संसूचन कर सकते थे। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के तरंगदैर्ध्य और आवृत्ति के मापन द्वारा उन्होंने उनकी चाल का परिकलन किया जिसे उन्होंने प्रकाश की चाल के तुल्य ही पाया। उन्होंने यह भी दर्शाया कि विद्युत चुंबकीय तरंगे प्रकाश सदृश परिघटनाओं का प्रदर्शन करती हैं। जैसा कि अब हमें ज्ञात है, तरंगदैर्ध्यों का परिसर अति व्यापक है। यह (1m से 10m) तरंगदैर्ध्यों वाले) रेडियो तरंगों से लेकर (400 mm तरंगदैर्घ्य वाले) दृव्य प्रकाश तक विस्तारित होता है जैसा कि चित्र 30.4 में दर्शाया गया है। इसने इस ेत्र में अच्छी-खासी रुचि एवं सक्रियता को जन्म लिया। सन् 1895 में भारतीय भौतिकीविद जगदीश चन्द्र बोस ने 25 mm से लेकर 5m के तरंगदैर्घ्य परिसर में तरंगों को उत्पन्न किया और रेडियो प्रसारण की संभावना को प्रदर्शित किया। इस कार्य का व्यावहारिक प्रयोग गुग्लीएल्मो मारकोनी द्वारा किया गया जो एटलांटिक महासागर के पार विद्युत-चुंबकीय तरंगों को प्रेषित करने में सफल रहे। इस घटना से विद्युत-चुंबकीय तरंगों के प्रयोग द्वारा संचार युग का श्रीगणेश किया। मारकोनी को कार्ल फर्डीनेंड ब्रान के साथ वर्ष 1909 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार संयुक्त रूप से प्रदान किया गया।



चित्र 30.4: विद्युत चुम्बकीय स्प्रेक्ट्रम : तरंगदैर्घ्यों का मान निर्वात (वायु) में है। स्पेक्ट्रम के उत्तरोत्तर क्षेत्रों की सीमायें स्पष्ट रूप से निर्धारित नहीं हैं।

किसी संचार तंत्र में प्रेषी, ऐंटिना की सहायता से विद्युत-चुंबकीय तरंगों को विकिरित करता है। ये तरंगे आकाशक से होकर संचरित होती हैं और एक अभिग्राही द्वारा ग्रहण की जाती हैं। अभिग्राही पर एक अन्य ऐंटेना करता है। अब हम रेडियो तरंगों का प्रयोग विभिन्न उद्देश्यों के लिए करते हैं, जैसे कि टेलीविजन प्रसारण, ए. एम. (आयाम माडुलिक) और एफ. एम. (आवृत्ति माडुलिक) रेडिया, उपग्रह टी वी प्रसारण, सैलफोन द्वारा वार्तालाप इत्यादि। इसप्रकार का प्रत्येक संकेत एक भिन्न आवृत्ति का प्रयोग करता है और इस प्रकार से ही ये सभी संकेत एक-दूसरे से पृथक्कृत होते हैं।

अगले दो पाठों में आप इन प्रेषणों की क्रियाविधि तथा कुछ सामान्य संचार युक्तियों की कार्य-पद्धति के संबंध में विस्तृत ज्ञान प्राप्त करेंगे। सारणी 31.2 में रेडियो एवं टी वी प्रसारण के लिए अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर स्वीकृत विद्युत-चुंबकीय वर्णक्रम, (स्पेक्ट्रम) प्रचलित बैंडों के नाम तथा उनके अनुप्रयोगों को हमने सूचीबद्ध किया है।



(Hz में व्यक्त आवृत्ति ν, मीटर में व्यक्त तरंगदैर्ध्य λ, निर्वात में विद्युत चुम्बकीय तरंगों की चाल c से $c = \nu\lambda$ सह-संबंध द्वारा संबंधित होती है जहाँ $c = 3 \times 10^8$ m/s है।)

सारणी 30.2: रेडियो आवृत्ति बैंड

बैंड	आवृत्ति परिसर	तरंगदैर्ध्य परिसर	अनुप्रयोग
अत्यंत निम्न आवृत्ति (ईएलएफ)	<3 kHz	>100 km	मेन्स की विद्युत
अति निम्न आवृत्ति (वीएलएफ)	3 - 30 kHz	100 – 10 km	सोनार
निम्न आवृत्ति (एल एफ)	30 - 300 kHz	10 – 1 km	समुद्री नौवाहन
मध्य आवृत्ति (एम एफ)	300 kHz - 3 MHz	1 km – 100 m	मध्य तरंग रेडियो
उच्च आवृत्ति (एच एफ)	3 - 30 MHz	100 – 1 m	लघु तरंग रेडियो
अत्युच्च आवृत्ति (वीएचएफ)	30 – 300 MHz	10 – 1 m	एफ एम रेडियो
परा उच्च आवृत्ति (यूएचएफ)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	वाणिज्यिक टीवीए रेडियो, राडार
अति उच्च आवृत्ति (एसएसएफ)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	उपग्रह संचार, सैलुलर मोबाइल वाणिज्यिक टी वी

ए एम रेडियो को उन बैंडों, जिन्हें प्रचलित रूप से दीर्घ तरंग: 144–3513 kHz (एल एफ), मध्य तरंग: 530 – 1,700 kHz (एम एफ) तथा लघु तरंग 3 – 30 MHz एच एम) कहते हैं, में प्रसारित किया जाता है। **मध्य तरंग** सामान्य रूप से वाणिज्यिक ए एम रेडियो के लिए प्रयोग में लाया जाता है। **दीर्घ तरंग** को प्रत्येक स्थान (देश) में प्रयोग में लाया जाता है सिवाय उत्तरी और दक्षिणी अमेरिका के जहाँ इस बैंड को वैमानिक संचालन के लिए आरक्षित रखा जाता है। दीर्घ एवं मध्य-तरंग बैंडों के लिए तरंगदैर्ध्य पर्याप्त रूप से दीर्घ होता है ताकि भू-तरंग संचरण द्वारा पृथ्वी की वक्रता के आस-पास विवर्तित हो सके। विशेष रूप से रात्रि के समय ए एम रेडियो को यह एक दीर्घ परिसर प्रदान करता है। **लघु तरंग** का प्रयोग उन रेडियो (प्रसारण) सेवाओं द्वारा किया जाता है जिनका उद्देश्य प्रसारण को ग्राही स्टेशन से विशाल दूरियों तक पहुंचाना होता है; लघु तरंग प्रसारणों का सुदूर परिसर निम्न ऑडियो तद्रूपता के मूल्य पर ही संभव हो पाता है। लघु तरंग के संचल का मोड आयनमंडली होता है।

सारणी 30.3: वाणिज्यिक एफ एम रेडियो एवं टी वी प्रसारण हेतु

आवृत्ति बैंड	प्रसारण की प्रवृत्ति
41 – 68 MHz	वीएचएफ टीवी
88- 104 MHz	एफ एम रेडियो
104 – 174 MHz	केवल टीवी नेटवर्कों के लिए एस (सॉन्डरकेनाल) जिसका अर्थ है विशेष चैनल
174 – 230 MHz	वीएचएफ टीवी
230 – 470 MHz	केबल टीवी नेटवर्क के लिए एच (हाइपर) बैंड
470 – 960 MHz	यूएचएफ टीवी

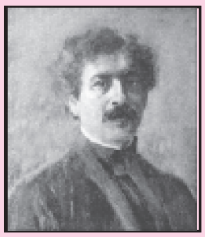
प्रसारण बैंडों के मध्य की आवृत्तियों का प्रयोग रेडियों संचार के अन्य रूपों, जैसे वॉकी टॉकी, कार्डलैस टेलीफोन, रेडियो नियंत्रण, शौकिया रेडियो, इत्यादि में होता है।

आपने इंटरनेट द्वारा संभव बनाए गए मोबाइल फोनों तथा इंटरनेट प्रोटोकॉल टेलीविजन के संबंध में पढ़ा होगा। क्या अपने कभी विचार किया है कि कौन-सी टेक्नालॉजी इस सशक्तीकरण को संभव बना रही है? क्या यह तंतु प्रकाशित संचार है? क्या इसमें लेसर की कोई भूमिका है, ऐसे सभी प्रश्नों के उत्तरों को आप अगले यूनिट में पढेंगे।

पाठगत प्रश्न 30.1

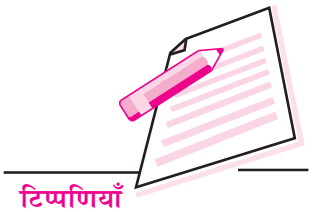
1. विद्युत-चुंबकीय तरंग क्या है?
2. आकाश से संचारित होनेवाली 30 MHz आवृत्ति के रेडियो तरंग के तरंगदैर्ध्य का परिकलन कीजिए।
3. (i) दृश्य प्रकाश (ii) रेडियो तरंगों का आवृत्ति परिसर क्या है?

जगदीश चन्द्र बोस
(1858 – 1937)



भारत में अपनी स्कूली शिक्षा पूरी करने के बाद चिकित्सा विज्ञान का अध्ययन करने के लिए जगदीश चन्द्र बोस 1980 में लंदन विश्वविद्यालय चले गए। एक वर्ष के अंदर उन्होंने क्राईस्ट कॉलेज से प्राकृतिक विज्ञान का अध्ययन करनेके लिए कैंब्रिज विश्वविद्यालय से छात्रवृत्ति प्राप्त की। कैंब्रिज में प्रोफेसर हैसे नामक प्राध्यापक का उन पर गहन प्रभाव पड़ा। सन् 1884 में बोस को कैंब्रिज विश्वविद्यालय से बी. ए. की उपाधि तथा लंदन विश्वविद्यालय से बी. एस. सी. की उपाधि प्राप्त हुई। तदुपरांत बोस भारत लौट आए और कलकत्ता (अब कोलकाता) के प्रेसीडेंसी कॉलेज में कार्यकारी प्रोफेसर के रूप में शिक्षण कार्य का उत्तरादायित्व उन्होंने संभाला। प्रेसीडेंसी कॉलेज में पढ़ने वाले उनके अनेक छात्रों के भाग्य में अपने-अपने तरह से प्रसिद्धि प्राप्त करना था। इनमें से कुछ छात्र थे सत्येन्द्र नाथ बोस, जिन्हें बोस-आइंस्टाइन सांख्यिकी पर किए गए अपने अग्रणी कार्य के लिए प्रसिद्धि मिली, तथा एम. एन. साह जिन्होंन तापीय आयनन का क्रांतिकारी सिद्धांत दिया। इस सिद्धांत ने भौतिकविदों को तारों को कुछ समूहों के रूप में वर्गीकृत करने में सक्षम बनाया।

सन् 1894 में जे. सी. बोस ने प्रेसीडेंसी कॉलेज में एक स्नानघर से जुड़े एक छोटे से कमरे को प्रयोगशाला में बदल दिया। उन्होंने अपवर्तन, विवर्तन तथा ध्रुवण संबंधित प्रयोग किए। विकिरण के अभिग्रहण के लिए एक अति सुग्राही गैल्वीनोमीटर से संबद्ध भांति-भांति की संधियों का उन्होंने प्रयोग किया। लघु तरंगदैर्ध्य वाले रेडियो तरंगों तथा श्वेत एवं पराबैंगनी



प्रकाश दोनों के लिए ही अभिग्राहियों के निर्माण के लिए गैलेना के क्रिस्टलों की प्रयोग विधि का उन्होंने विकास किया। सन् 1895 में बोस ने रेडियो प्रेषण का प्रथम सार्वजनिक प्रदर्शन किया। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के प्रयोग द्वारा उन्होंने दूर से ही एक घंटी को बजाकर तथा बारुद का विस्फोट कर दिखाया। सन् 1897 में लॉर्ड रैले ने एक व्याख्यान देने के लिए उन्हें आमंत्रित किया। बोस ने माइक्रोवेव (2.5 cm से 5 cm) से संबंधित अपने प्रयोगों का प्रदर्शन इंग्लैंड के रॉयल संस्थान तथा अन्य सोसाइटियों के समक्ष किया। परंतु उन्हें नोबेल पुरस्कार से वंचित होना पड़ा जो संभवत: उनके इस कार्य के व्यापक व्यावहारिक अनुप्रयोग न होने के कारण ही था। उन्नीसवीं शताब्दी के अंत तक बोस की रुचि पादपों में अनुक्रिया-परिघटना की ओर हो चली थी। सन् 1915 में बोस प्रेसीडेंसी कॉलेज से सेवा निवृत्त हुए तथा उन्हें यहीं पर प्रोफेसर एमेरिटस नियुक्त किया गया। दो वर्ष उपरांत कोलकाता में बोस संस्थान की स्थापना हुई। सन् 1920 में बोस को रॉयल सोसाइटी का फैलो नियुक्त किया गया।

30.4 संचार माध्यम

संचार माध्यम दो प्रकार के होते हैं: तार चैनल (जो पथनिर्देशित माध्यम होता है) एवं बेतार चैनल जो एक अनिर्देर्शित माध्यम होता है। तार चैनल प्रेषी को भौतिक रूप से अभिग्राही के साथ एक 'तार' द्वारा जोड़ते हैं। यह तार संचरण लाइनों का व्यावर्तित युग्म, एक समाक्ष केबल अथवा प्रकाशिक तंतु हो सकता है। परिणामस्वरुप, तार चैनल बेतार चैनलों की अपेक्षा अधिक निजी तथा तुलनात्मक रूप से व्यतिकरण के लिए भी कम प्रवृत्ति रखने वाला होता है। सरल तार चैनत एकल प्रेषी को एकल अभिग्राही के साथ जोड़ते नेटवर्क में सामान्य रूप से प्रेक्षित किया जाता है जहां एक केवल हमारे घरों में लगे टेलीफोन सेटों तक पहुंचाता है। कुछ बेतार चैनल प्रसारण विधा (मोड) में कार्य करते हैं अर्थात एक या अधिक प्रेषी अनेक अभिग्रहियों के साथ जुड़े होते हैं जैसा कि केवल टेलीविजन नेटवर्क के साथ होता है।

बेतार चैनल कहीं अधिक सार्वजनिक होते हैं जिनके प्रेषी ऐंटीना एक संकेत को विकरित करता है जो निकट ही में रखे गए एक समस्वरित ऐंटीना द्वारा ग्रहण किया जा सकता है। रेडियो प्रेषण में, बेतार या प्रेषी से अभिग्राही तक रेडियो तरंगों का अनिर्देशित संचरण विद्युत चुम्बकीय तरंगों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। जैसा कि आप इस पाठ में पढ़ेंगे, ऊँचे टावरों का प्रयोग करके सीधी दृष्टि रेखा द्वारा तरंगों को भू (चर पृष्ठीय) तरंगों, व्योम तरंगों तथा आकाश तरंगों के रूप में प्रेषित किया जाता है या फिर उन्हें कृत्रिम उपग्रहों तक पहुँचाकर वहां से फिर प्रसारित किया जाता है। बेतार प्रेषण लचीला होता है। इसके साथ संबद्ध लाभ यह है कि एक अभिग्राही किसी भी स्रोत से होने वाले प्रेषण को ग्रहण कर सकता है। परिणामस्वरुप, अभिग्राही इलेक्ट्रॉनिकी का समस्वरित्र वांछित संकेतों का वरण कर आवांछित संकेतों का परिवर्जन कर सकता है। एकमात्र अवगुण यह है कि इस स्थिति में अधिक व्यतिकरण और शोर का बोलबाला होता है।

विद्युत-चुंबकीय संकेतों के संचरण के लिए हम माइक्रोवेव (सूक्ष्म तरंग) आवृत्तियों का प्रयोग करते हैं। आप पढ़ चुके हैं कि ये आवृत्तियां GHz के परिसर में होती है। इस आवृत्ति परिसर

को आगे विभिन्न बैंडों में विभाजित किया जाता है। भारतीय उपग्रह INSAT- 4 C का प्रचालन C- बैंड (4–8GHz) में होता है जबकि एडुसैट का प्रचालन Ku (कू) बैंड (12–18 GHz) में होता है।

30.4.1 संचरण लाइनें

संचरण लाइन, जो एक द्रव्य माध्यम होता है, पथनिर्देशित संचार के लिए मार्ग का काम करता है। संचरण लाइन की रचना इससे संचरित होने वाले संकेत के आवृत्ति परिसर का निर्धारण करती है। चित्र 30.5 में कुछ प्रारुपिक संचरण लाइनों को दर्शाया गया है। संचरण लाइन का सरलतम रूप समांतर चालकों का एक युग्म होता है। ये चालक वायु या किसी परावैद्युत माध्यम द्वारा पृथक्कृत होते हैं। इनका प्रयोग टेलीफोन व्यवस्था में किया जाता है। परंतु यदि चालकों के बीच की दूरी प्रचालन आवृत्ति के लगभग आधे के बराबर हो तो ऐसी लाइनों में विकरित करने की प्रवृत्ति पाई जाती है। विशेष रूप से, उच्च आवृत्तियों पर इनमें शोर उत्पन्न होने की प्रवृत्ति पाई जा सकती है जो इनकी उपयोगिता को सीमित करता है। इस समस्या पर विजय प्राप्त करने के लिए हम व्यावर्तित युगल तारों का उपयोग करते हैं। इनका उपयोग कंम्पयूटर नेटवर्किंग में किया जाता है।

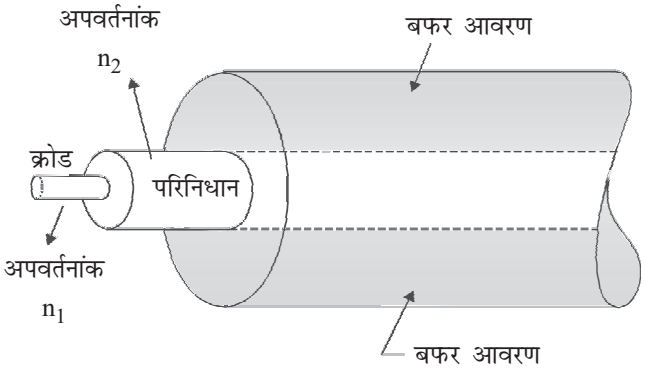
उच्च आवृत्तियों के संकेतों (≤ 3GHz) पर, विकिरण क्षति को न्यूनतम करने के लिए हम समाक्ष केबलों का उपयोग करते हैं। किसी समाक्ष केबल में एक चालक खोखला होता है जबकि दूसरे चालक को केबल की पूरी लंबाई में पहले चालक के अंदर उसके केंद्र पर रखा जाता है। इन चालकों को एक पालिथीन (परावैद्युत) की अंतरालक परतों द्वारा पृथक्कृत किया जाता है तथा वैद्युत क्षेत्र चालकों के मध्य वलयाकार सीमित होता है। इन केबलों का उपयोग केबल टीवी के संकेतों को वहन करने के लिए किया जाता है। इसे ध्यान में रखना महत्वपूर्ण होगा कि आदर्श रूप से परावैद्युत पदार्थों का प्रतिरोध अनंत होना चाहिए। परंतु, व्यवहार में, उनका प्रतिरोध परिमित होता है तथा वह भी आवृत्ति में वृद्धि के साथ घटता है। परिणामस्वरुप, समक्ष केबल भी एक सीमित परिसर (अधिकतम 40 GHz तक जब विशिष्ट परावैद्युत पदार्थों का प्रयोग किया जाता है) में ही उपयोगी होते हैं। 40GHz से अधिक की आवृत्तियों पर हम तरंग पथकों का उपयोग करते हैं। परंतु 300GHz से अधिक की आवृत्तियों पर उनका आकार अति लघु (लगभग 4mm) हो जाता है और यह व्यावहारिक समस्याएं उत्पन्न करता है। इस आवृत्ति के ऊपर हम पथनिर्देशित तरंग संचरण के लिए प्रकाशिक तंतुओं का उपयोग करते हैं।

चित्र 30.5: (a) व्यावर्तित युग्म (b) एक समाक्ष केबल

30.4.2 प्रकाशिक तंतु

सन् 1960 में लेसर की खोज संचार प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में संपूर्ण क्रांति ले आई। लेसर को जो प्रकाश तरंगों का एक अत्यंत कलासंबद्ध स्रोत होता है, प्रकाशिक तरंग पथक, जैसे कि एक प्रकाशिक तंतु से संचरित होने वाले सूचनावाहक संकेतों (वाक्, डाटा या वीडियो) के लिए एक अत्यंत उच्च क्षमता के वाहक तरंग के रूप में प्रयुक्त किया जासकता है। सभी सुदूर संचार व्यवस्थाओं में प्रयुक्त होने वाला मूल सिद्धांत बहुसंकेतन अर्थात समान मार्गों पर भिन्न संदेशों का समकालिक संचरण होता है। इसे समझने के लिए, आइए किसी मानव वाणी से प्रेषण का उदाहरण लें। मानव वाणी को प्रेषित करने के लिए आवश्यक आवृत्ति बैंड $\nu_1 =$ 200 Hz to $\nu_2 = 4000$ Hz, तक विस्तृत होता है अर्थात इस आवृत्ति बैंड में उपस्थित सूचना उस बैंड के अंतर्गत संचरित हो सकती है जिसकी चौड़ाई $\nu_1 - \nu_2 = 3800$ Hz, है। यह बैंड वर्णक्रम के किसी भी क्षेत्र में स्थित हो सकता है। उच्च आवृत्ति के क्षेत्रों में संचार चैनलों के लिए कहीं अधिक स्थान उपलब्ध होता है। अत: निम्न आवृत्तियों की तुलना में इनमें कहीं अधिक संभावित क्षमता होती है। दृश्य प्रकाशिक क्षेत्र के 600 nm के तरंगदैर्ध्य के लिए संगत आवृत्ति का मान $5 \text{ X } 10^{14}$ Hz, जबकि 6cm के तरंगदैर्ध्य पर आवृत्ति का मान $5 \text{ x } 10^9$ Hz है। इस तरह प्रकाशिक तंतु में दृश्य प्रकाश की संचार क्षमता एक धात्विक चालक से संचरित होने वाले प्रारूपिक माइक्रोवेव की तुलना में लगभग 100,000 गुना अधिक होती है।

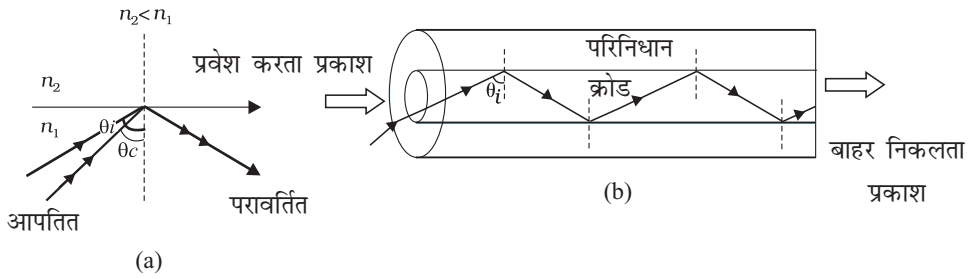
सर्वाधिक व्यापक रूप से प्रयुक्त होने वाला प्रकाशिक तरंग पथक सोपान-सूचक प्रकाशिक तंतु है। इसमें एक बेलनाकार केंद्रीय कांच या प्लास्टिक निर्मित क्रोड (जिसका अपवर्तनांक n_1) होता है तथा उसी पदार्थ का बना परंतु (क्रोड से) तनिक निम्न (लगभग 1 प्रतिशत) अपवर्तनांक (n_2) का परिनिधान होता है। प्रकाशिक तंतु को उसके आस-पास के भौतिक परिवेश से सुरक्षा प्रदान करने के लिए साधारणतया उस पर एक बाह्य आवरण चढ़ा होता है (चित्र 30.6)।



चित्र 30.6: एक लेपित सिलिका निर्मित्त क्रोड और एक विद्युत सिलिका निर्मित्त परिनिधान युक्त एक प्रारूपिक प्रकाशिक तन्तु

जब क्रोड (n_1) से प्रकाश परिनिधान ($n_2 < n_1$), के अंतरापृष्ठ पर आपतित होता है तो पूर्ण आंतरित परावर्तन के लिए आयतन का क्रांतिक कोण सूत्र $\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ द्वारा प्राप्त होता

है। इस प्रकार किसी प्रकाशिक तंतु में प्रकाश की किरण को क्रोड में इस रूप में प्रवेश करने दिया जाता है ताकि यह क्रोड़-परिनिधान अंतरापृष्ठ पर क्रांतिक कोण से अधिक कोण $\theta_1 > \theta_c$ पर आपतित हो। यह किरण फिर क्रोड-परिनिधान के ऊपरी और निचले अंतरापृष्ठों से बारंबार पूर्ण आतंरिक परावर्तनों द्वारा क्रोड से होकर पथ प्रदर्शित होती है। स्मरण कीजिए कि तरंग प्रकाशिकी के अंतर्गत आपने पढ़ा था कि जब किसी समतल तरंग का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है तो अंतरापृष्ठ के अनुदिश परिनिधान (विरल माध्यम) से होकर एक तरंग संचरित होती है जिसका अंतरापृष्ठ से दूर जाने पर आयाम चरघातांकी रूप से घटता है। क्रोड में स्थित तरंग की संपूर्ण ऊर्जा परावर्तित हो जाती है, परंतु परिनिधान में अंतरापृष्ठ के अनुदिश एक वैद्युत शक्ति का संचरण होता है। ऐसी तरंग को आयाम-ह्रासी तरंग कहते हैं तथा व्यापक रूप से इसका उपयोग एकीकृत प्रकाशिकी में किसी लेसर पुंज की ऊर्जा को एक तनु फिल्म तरंग पथक के साथ युग्मित करने हेतु किया जाता है (चित्र 30.7)



चित्र 30.7: (a) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (b) वास्तविक प्रकाश तन्तु में प्रकाश का परिरोधन

पाठगत प्रश्न 30.2

1. समाक्ष केबल क्या होते हैं? इनका प्रचालन आवृत्ति परिसर लिखिए।
2. किसी प्रकाशिक तंतु से होकर प्रकाश का पथ-प्रदर्शित करने में प्रयुक्त होने वाले मूल सिद्धांत का कथन लिखिए।

30.5 अनिर्देशित माध्यम

पृथ्वी के चारों ओर के आकाश अर्थात वायुमण्डल के प्रयोग द्वारा एक प्रेषी एवं एक अभिग्राही स्टेशन के मध्य के बेतार संचार को आकाशीय संचार कहते हैं। एक स्थान से अन्य स्थान तक विद्युत चुंबकीय तरंगों के संचरण में पृथ्वी के वायुमण्डल की अति रोचक भूमिका होती है। इसका कारण ऊँचाई के साथ वायु के तापमान, उसके घनत्व, विद्युत चालकता तथा अवशोषण अभिलक्षणों में परिवर्तनों का होना है। उदाहरण के लिए, अवरक्त क्षेत्र के अधिकांश विकिरणों को वायुमण्डल द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है। परावैंगनी विकिरणों को ओजोन परत अवशोषित कर लेती है।

संचार में निम्न पांच परतें मुख्य भूमिका निभाती हैं:

- लगभग 60 *km* की ऊँचाई पर स्थित *C* परत विद्युत चुंबकीय तरंगों के 3kHz – 300kHz की आवृत्ति परिसर में परावर्तित करती है। इसलिए इसका उपयोग सीधे सुदूर संचार के लिए किया जाता है।
- लगभग 80 *km* की ऊँचाई पर स्थित *D* परत निम्न आवृत्ति परिसर (3kHz – 300kHz) की विद्युत चुंबकीय तरंगों को परावर्तित करती है परंतु मध्यम आवृत्ति परिसर (300 kHz – 3MHz) और उच्च आवृत्ति परिसर (3 – 30MHz) की तरंगों को अवशोषित करती है।
- लगभग 110 *km* की ऊँचाई पर स्थित *E* परत मध्यम आवृत्ति परिसर की तरंगों के संचार में सहायक होती है परंतु दिन के समय उच्च आवृत्ति परिसर के तरंगों को परावर्तित करती है।
- लगभग 180 km की ऊँचाई पर स्थित F_1 परत अधिकांश उच्च आवृत्ति तरंगों को परावर्तित होने देती है।
- F_2 परत (जिसकी दिन के साथ ऊँचाई 300 *km* तथा रात के समय 350 *km* होती है) 30 *MHz* तक की आवृत्ति वाले विद्युत-चुंबकीय तरंगों को परावर्तित करती है और इससे अधिक आवृत्ति वाले तरंगों को पारगमित होने की अनुमति देती है।

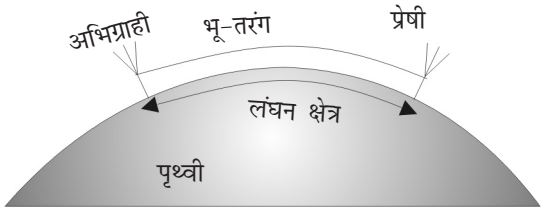
अपनी पिछली कक्षाओं में पढ़ी बातों से आप स्मरण कीजिए कि ऊँचाई के साथ तापमान, वायु घनत्व तथा विद्युत चालकता के परिवर्तन के आधार पर वायुमण्डल को अनेक परतों में विभाजित हुआ माना जाता है। पृथ्वी के निकट स्थित वायुमण्उलीय परत को **क्षोभमण्डल** कहते है।। यह समुद्र तल से लगभग 12 km की ऊँचाई पर स्थित होता है। **क्षोभमण्डल** का तापमान 290 K (विषुवतवृत्त पर) से 220 K (क्षोभसीमा पर) के मध्य परिवर्तित होता है। इस परत से लगभग 50 km तक विस्तृत अगली परत को समतापमंडल कहते हैं। ओजोन परत निचले समतापमण्डल में पाई जाती है जो लगभग 15 km से 30 km तक विस्तृत परत को मध्यमण्डल कहते हैं। इस परत का निम्नतम तापमान 180 K होता है। मध्यमण्डल से ऊपर लगभग 350 km तक आयनीकृत अणुओं और इलेक्ट्रॉनों का एक क्षेत्र होता है जिसे आयन मण्डल कहते हैं। आयनमण्डल में तापमान में ऊँचाई के साथ वृद्धि होती है जो लगभग 1000 K तक जा सकता है। रेडियो तरंगों के संचरण को आयनमण्डल प्रभावित करता है। यह D, E, F और F_2 परतों में विभाजित होता है। यह विभाजन इलेक्ट्रानों के संख्या घनत्व, जो ऊँचाई के साथ D- परत में लगभग $10^9\,m^{-3}$ घनत्व मान से $10^{11}\,m^{-3}$ घनत्व मान तथा F_2 परत[1] में विभाजित होता है। यह विभाजन इलेक्ट्रॉनों के संख्या घनत्व, जो ऊँचाई के साथ D –परत में लगभग $10^{12}m^{-3}$ घनत्व मान तक वृद्धि को प्राप्त होता है, पर आधारित होता है। तापमान, घनत्व तथा चालकता में होने वाले ये परिवर्तन भिन्न ऊँचाईयों पर सौर विकिरणों के भिन्न अवशोषण तथा संघटन इत्यादि में परिवर्तनों के कारण होते हैं।

आकाशीय संचार का प्रमुख लक्षण यह है कि किसी भी प्रेषी के ऐंटीना द्वारा विकिरित संकेत को अभिग्राही के ऐंटीना तक अवश्य पहुंचना चाहिए। भू-तरंग संचार, आकाश तरंग संचार,

व्योम तरंग संचार और उपग्रह के माध्यम से संचार इनमें से किसी के द्वारा भी संभव हो सकता हैं आइए, अब इनके संबंध में जानकारी प्राप्त करें।

30.5.1 भू-तरंग संचरण

भू-तरंग संचरण में, विद्युत चुंबकीय तरंगे भू-पृष्ठ के अनुदिश गमन करती हैं। ये पिंडों के कोनों के चारों ओर मुड़ सकती हैं। परंतु भूभाग द्वारा प्रभावित होती हैं विद्युत चुंबकीय तरंगों के प्रेषित करने के लिए एक ऊर्ध्वाधर ऐंटीना का प्रयोग किया जाता है। यदि वैद्युत क्षेत्र E ऊर्ध्वाधर और चुंबकीय क्षेत्र B क्षैतिज परंतु E एवं B दोनों सदिशों के लंबवत् होगी। भू-पृष्ठ के द्रव्यात्मक गुण, जैसे कि इनकी चालकता, अपवर्तनांक एवं परावैद्युतांक ऐसे तरंगों को नियंत्रित करते हुए पाए जाते हैं। यही कारण है कि भू-तरंग संचरण रेगिस्तान की अपेक्षा समुद्र के ऊपर कहीं बेहतर होता है। व्यवहारिक रूप से, भू-तरंगें पृथ्वी के वक्र पृष्ठ द्वारा प्रकीर्णन के कारण द्रुतता से **क्षीणन को प्राप्त होती** हैं। एक अधिक तरंगदैर्ध्य से लघु क्षीणन उत्पन्न होता है। अर्थात भू-तरंगें लघु आवृत्तियों के रूप में ही अधिक उपयोगी होती हैं तथा महासागर में स्थित पनडुब्बियों के साथ संपर्क स्थापित करने का एकमात्र उपाय प्रदान करती हैं। इसके अतिरिक्त, यह संचरण विधा लघु परिसर संचार के लिए उपयुक्त होती है। इन्हीं कारणों से भू-तरंग संचरण का उपयोग रेडियो तरंगो (300 kHz – 3 MHz) के प्रेषण के लिए किया जाता है।

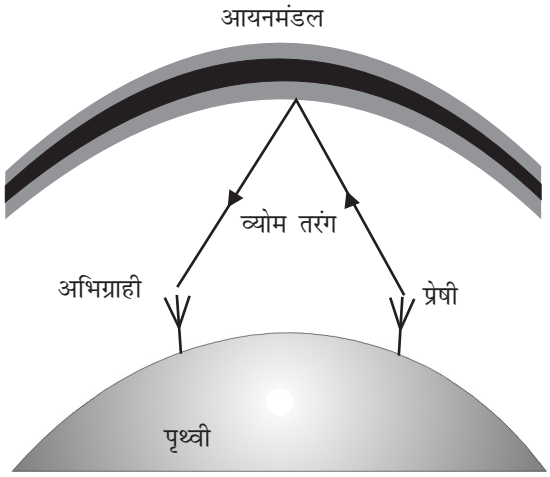


चित्र 30.8: भू-तरंग संचरण

30.5.2 व्योम तरंग या आयनमंडलीय संचरण

व्योम तरंग या आयनमंडलीय संचरण में, एक प्रेषी ऐंटीना द्वारा प्रमोचित 3 MHz – 30 MHz के मध्य की आवृत्ति परिसर की विद्युत चुंबकीय तरंगें ऊपर की दिशा में संचरित होती हैं। आयनमण्डल से परावर्तित होकर ये तरंगे फिर दूरस्थ स्थानों पर वापस लौटती हैं। इस विद्या में आयनमण्डल की परावर्तक क्षमता व्योम तरंग के अभिलक्षणों को नियंत्रित करती है। आयनमण्डल पृथ्वी के चारों ओर एक अदृश्य ''दर्पण'' का कार्य करता है। प्रकाशिक आवृत्तियों पर यह पारदर्शी होता है परंतु रेडियो आवृत्तियों पर यह विद्युत चुंबकीय विकिरण को पृथ्वी पर वापस परावर्तित कर देता है।

एकल आयनमण्डलीय परावर्तन द्वारा भू-पृष्ठ पर जिस अधिकतम दूरी तक पहुंचा जा सकता है। वह 2010 से 3000 km के मध्य में स्थित होती है। यह दूरी परावर्तक परत की ऊंचाई पर निर्भर करती है। एकल परावर्तन में होने वाला संचार विलंब 6.8 से 10 ms के परिसर



चित्र 30.9: व्योम तरंग संचरण

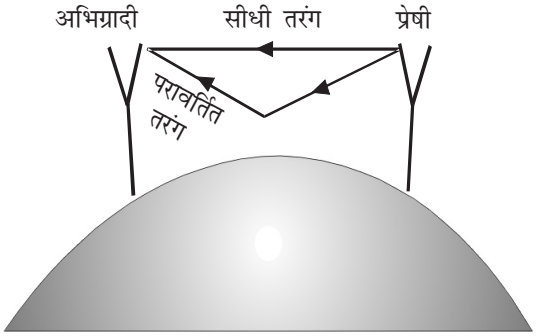
में रहता है, जो एक लघु समय अंतराल है। इस संचरण विधा का उपयोग सुदूर (लघु तरंग) संचार में लगभग 5 से 10 MHz की आवृत्ति परिसर में किया जाता है। 10 MHz, से अधिक आवृत्ति पर, तरंगें आयनमंडल से पारगमित हो जाती हैं और पृथ्वी की ओर परावर्तित नहीं होती। परंतु आयनमंडल की आयनीकृत परतों के संख्या घनत्व तथा उनकी ऊंचाई में विचरणों के कारण इसमें अनियमित दैनिक एवं ऋतुनिष्ठ परिवर्तन होते हैं। सूर्य की उपस्थिति या अनुपस्थिति के अनुसार, दिन के समय आयनमंडल का संघटन रात की तुलना में भिन्न होता है। यही कारण है कि अंतर्राष्ट्रीय प्रसारण रात में ही किए जाते हैं क्योंकि आयनमंडल के परावर्तन अभिलक्षण रात के समय अधिक अच्छे होते हैं।

30.5.3 आकाश तरंग संचरण

रेडियो स्टेशन पर आपने अति उच्च ऐंटीना देखे होंगे। इन्हें प्रसारण के लिए काम में लाया जाता है। व्योम तरंग संचरण में ऐंटीना द्वारा विकिरित कुछ VHF रेडियो तरंगें (30 MHz – 300 MHz) सीधे आकाश से संचारित होकर या पृथ्वी की वक्रता द्वारा परावर्तित होकर अभिग्राही तक पहुंचती हैं। (ध्यान दें कि भू-परावर्तित तरंगे भू-तरंगों से भिन्न होती हैं)

व्यवहार में, सीधी तरंग विधा अधिक प्रभावी होती है। परंतु तथाकथित दृष्टि रेखा संचरण दूरियों तक ही यह सीमित होती हैं तथा पृथ्वी की वक्रता एवं ऐंटीना की ऊँचाई व्याप्ति क्षेत्र के विस्तार को प्रतिबंधित करती है।

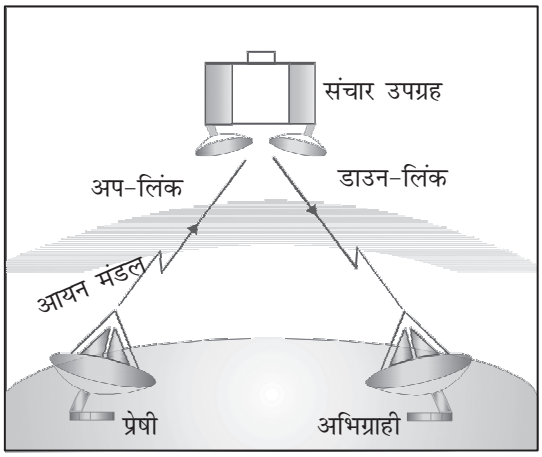
अब तक आपने पढ़ा कि भू-तरंगों में चालक क्षतियां होती हैं, दृष्टि-रेखा के कारण आकाश तरंगों की सीमाएं होती हैं तथा व्योम तरंगें एक निश्चित आवृत्ति के ऊपर ही आयनमंडल से पारगमित होती हैं। सन् 1950 के दशक में संचार उपग्रहों के प्रमोचन से इनमें से कुछ कठिनाइयों पर विजय प्राप्त करना संभव हुआ है। उपग्रह संचार प्रेषण और संचार के रूप एवं फार्मेट में क्रांतिकारी परिवर्तन ले आया है। अब हम दूर से भी वास्तविक काल में बात कर सकते हैं। आइए, अब इसके बारे में जानें।



चित्र 30.10: व्योम तरंग संचरण

30.5.4 उपग्रह संचार

उपग्रह संचार के मूल सिद्धांत को चित्र 30.11 में दर्शाया गया है। माडुलित वाहक तरंगों को एक प्रेषी उपग्रह की ओर भेजा जाता है। उपग्रह का अभिग्राही ग्रहण किए गए संकेत को प्रवर्धित करता है और फिर इसे पृथ्वी तक एक भिन्न आवृत्ति पर पुनः प्रेषित कर देता है ताकि व्यतिकरण का परिवर्जन किया जा सके। इन चरणों को अप-लिकिंग तथा डाउन-लिंकिंग कहते हैं। जैसा कि प्रकाश तरंगों के संदर्भ में हम जान चुके हैं, किसी संचार चैनल की क्षमता को संचार आवृत्ति में वृद्धि करके बढ़ाया जा सकता है। हम कितनी अधिक आवृत्ति तक जा सकते हैं? अब आपको यह ज्ञात है कि आयनमण्डल 10 MHz, से अधिक की आवृत्तियों को परावर्तित नहीं करता है तथा ऐसी उच्च आवृत्तियों के लिए हम आकाश तरंग संचरण, जिसमें ऊंचे टावरों द्वारा सीधा प्रेषण देता है, को वरीयता देते हैं। परंतु इस दृष्टि रेखा प्रेषण का सीमित परास होता है अर्थात इसकी सीमित पहुंच होती है। अतः दीर्घ परास बेतार संचार, जिसमें 30 MHz, से अधिक की आवृत्तियों का प्रयोग किया जाता है जैसा कि 50-100 MHz, का उपयोग किया जाता है।



चित्र 30.11: उपग्रह संचार

पृथ्वी और उपग्रह के मध्य लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल लगभग 36,000 km की ऊंचाई पर मुक्तपात गति से पृथ्वी के परितः उपग्रह के परिक्रमण के लिए आवश्यक अभिकेन्द्री बल

को प्रदान करने का कार्य करता है। वह कक्षा जिसमें विषुवत् वृत्त के चारों ओर एक परिक्रमण में लगने वाला समय पृथ्वी के एक दिन के घूर्णन काल के बिल्कुल समतुल्य होता है भूस्थिर कक्षा कहलाती है अर्थात् पृथ्वी के सापेक्ष उपग्रह स्थिर प्रतीत होता है। पृथ्वी की कक्षा में परिक्रमण करते उपग्रहों तक भू-स्टेशन संकेत को भेजते हैं जो उसे प्रवर्धित करके पृथ्वी की ओर पुनः प्रेषित कर देता है। यदि उपग्रह भूस्थिर कक्षा में नहीं होते तो आकाश में उनकी गति के कारण अभिग्राही ऐंटीना को हमें बार-बार समायोजित करना पड़ता। वर्तमान में संचार उपग्रहों के लिए दो अन्य कक्षाएं काम में लाई जा रही हैं: (i) *ध्रुवीय वृत्तीय कक्षा जो दोनों* ध्रुवों के ऊपर से गुजरती हुई (अर्थात् 90 अंश की आनति पर) लगभग 1000 km की ऊँचाई पर स्थित होती है, और (ii) *अति दीर्घवृत्तीय आनत कक्षा* (63° की आनति पर) जिसका उपयोग अधिक ऊँचाई के क्षेत्रों से संचार हेतु किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 30.3

1. कुछ रेडियो स्टेशनों के प्रसारण को दिन की तुलना में आप रात को अधिक स्पष्ट कैसे सुन पाते हैं।

2. निम्न में से प्रत्येक का सही विकल्प चुनिए:

   (अ) साधारणतया UHF परिसर की आवृत्तियों का संचरण निम्न के माध्यम से होता है

   (i) भू-तरंगें

   (ii) व्योम तरंगों

   (iii) पृष्ठीय तरंगों

   (iv) आकाश तरंगों

   (ब) उपग्रहों को निम्न प्रकार के संचार के लिए उपयोग में लाया जाता है

   (i) निम्न (< 30 MHz) आवृत्तियों और लघु परास के लिए

   ii) निम्न (< 30 MHz) आवृत्तियों और दीर्घ परास के लिए

   (iii) उच्च (> 30 MHz) आवृत्तियों और लघु परास के लिए

   (iv) उच्च (> 30 MHz) आवृत्तियों और दीर्घ परास के लिए

एडुसैट

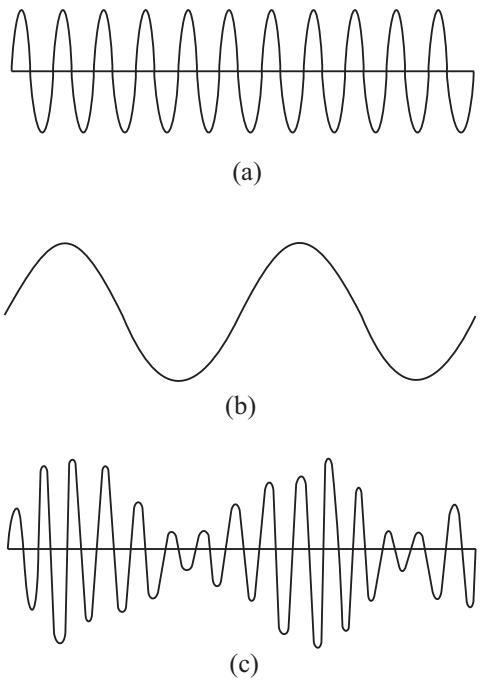
भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संस्थान, भारत सरकार के अंतरिक्ष विभाग ने सितंबर 2004 को **एडुसैट** नामक शिक्षा को पूर्णतया समर्पित एक उपग्रह का प्रमोचन किया। इस उपग्रह

का प्रभाव समग्र देश पर पड़ा है। यह कू बैंड में कार्य करता है। इसे सात वर्षो के लिए सेवाएं प्रदान करने के लिए डिजाइन किया गया है। इस उपग्रह में रेडियो और टीवी प्रसारण, इंटरनेट आधारित शिक्षा डाटा प्रसारण, टॉक-ढौक विकल्प, दृश्य-श्रव्य इंटरएक्शन, इंटरनेट पर वॉयल चैटिंग तथा वीडियो कांफ्रेसिंग की क्षमता विद्यमान है। इसने अनेक संभावनाओं के द्वार खोल दिए हैं: एक महानगर के किसी प्रतिष्ठित शिक्षण संस्थान का कोई शिक्षक सुदूर स्थित किसी स्कूल के विद्यार्थियों के साथ वीडियो कांफ्रेंसिंग कर सकता है या गांवों में स्कूल छोड़ चुके विद्यार्थी इंटरनेट आधारित शिक्षण सहयोग प्राप्त करके मुख्य शिक्षा व्यवस्था में वापस लौट सकते हैं। एडुसैट में 72 चैनलों को प्रसारित करने की क्षमता है। राज्य सरकारों तथा मुक्त विद्यालयी राष्ट्रीय संस्थान समेत अनेक राष्ट्रीय संस्थानों द्वारा बहुसंख्या में नेटवर्क स्थापित किए गए हैं। क्षेत्रीय भाषाओं में भी शिक्षा प्रदान करने के लिए ऐसे नेटवर्कों को सफलतापूर्वक काम में लाया जा रहा है।

30.6 मॉडुलन - एनालॉग (अनुरूप) ए एम एवं एफ एम, डिजिटल (पी सी एम)

किसी संकेत को संसाधित कर उसे संप्रेषण हेतु उपयुक्त बनाने की प्रक्रिया को मॉडुलन कहते हैं। दैनिक संचार में, अधिकांश सूचना को वहन करने वाले संकेत 20 kHz से कम आवृत्ति के ऑडियो संकेत होते हैं। लघु दूरियों के लिए हम सीधा संपर्क स्थापित कर सकते हैं। परंतु विशाल दूरियों तक ऐसे संकेतों को संप्रेषित करना व्यावहारिक नहीं होता है। यह निम्न दो कारणों से होता है :

- संप्रेषित किए जाने वाले संकेत के लिए एक ऐंटिना अथवा एरियल होना चाहिए जिसका आकार संकेत के तरंगदैर्ध्य से तुलनीय होना चाहिए ताकि संकेत के समय-विचरण का संवेदन ऐंटिना द्वारा उपयुक्त रूप से किया जा सके। इसका अर्थ यह है कि निम्न-आवृत्ति अथवा विशाल तरंगदैर्ध्य वाले संकेतों के लिए ऐंटिना का आकार अति विशाल होना चाहिए।
- निम्न आवृत्ति वाले संकेतों द्वारा वहन की जाने वाली शक्ति का मान कम होता है और (संकेत) अधिक दूरी तक नहीं जा सकते। यह अवशोषण/विकिरण हानि के कारण होने वाले



चित्र 30.12: एक मॉडुलन संकेत द्वारा किसी वाहक तरंग का मॉडुलन : (a) एक उच्च आवृत्ति की ज्यावक्रीय वाहक तरंग, (b) एक निम्न आवृत्ति का मॉडुलक संकेत (संदेश अथवा सूचना संकेत), (c) आयाम मॉडुलित वाहक तरंग।

संतत ह्रास अथवा क्षीणन के कारण होता है। इसका आशय यह है कि विशाल दूरी के संप्रेषण के लिए उच्च आवृत्तियों का उपयोग किया जाना चाहिए। परंतु ये (आवृत्तियां) लाभदायक सूचना को वहन नहीं कर सकती हैं। अत: हमारी स्थिति निम्नांकित स्थिति के अनुरूप ही है :

किसी सैनिक चौकी पर, भारतीय सेना आगे बढ़ती शत्रु सेना को देखती है। प्राण हानि कम से कम हो तथा चौकी को शत्रु के अधिकार में जाने से बचाया जा सके, इसके लिए सेना को बेस कैंप से एक सैनिक टुकड़ी को बुलाए जाने की आवश्यकता है। परंतु जब तक सेना का कोई जवान वहां जाकर संदेश को पहुंचाएगा और सैनिक टुकड़ी सहायता को पहुंचेगी, तब तक वह चौकी शत्रु के अधिकार में चली जाएगी। इसलिए, सेना को एक संदेशवाहक, मान लें कि एक घोड़े की आवश्यकता है जो तेज दौड़ सके। परंतु घोड़ा संदेश को नहीं पहुंचा सकता। ऐसे में जो उपाय हो सकता है, वह है: जवान को घोड़े की पीठ पर बिठा दें; घोड़ा दौड़े और संदेश को जवान संदेश को बेस कैंप तक पहुंचा दे।

संकेत के संप्रेषण के लिए, ऑडियो संकेत जवान एवं उच्च (रेडियो) आवृत्ति घोड़े (वाहक) का कार्य करती है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि किसी निम्न आवृत्ति संकेत को उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग पर अध्यारोपित कर हम संकेत को संसाधित करते एवं उसे संप्रेषण के लिए उपयुक्त बनाते हैं। एक संकेत जनित्र के उपयोग द्वारा हम मूल संकेत को वैद्युत संकेत में, जिसे **बेस बैंड** संकेत कहते हैं, परिवर्तित करते हैं। तदुपरांत, मॉडुलक में वाहक तरंगों पर हम बेस बैंड संकेत का अध्यारोपित करते हैं। वाहक तरंग में उत्पन्न परिवर्तन को वाहक तरंग का मॉडुलन कहते हैं तथा मॉडुलन के लिए प्रयुक्त संदेशवाहक संकेत को **मॉडुलक संकेत** कहते हैं। वाहक तरंग संतत अथवा स्पंदित हो सकता है। चूंकि एक ज्यावक्रीय तरंग आयाम, आवृत्ति तथा कला द्वारा अभिलक्षणित होती है, इनमें से किसी भी भौतिक प्राचल को मॉडुलित (अथवा परिवर्तित) करना संभव है। इसे एनालॉग (अनुरूप) मॉडुलन कहते हैं। अनुरूप मॉडुलन के विभिन्न प्रकार होते हैं : **आयाम मॉडुलन (ए एम); आवृत्ति मॉडुलन (एफ एम); मॉडुलन (पीसीएम)** को प्राथमिकता दी जाती है।

आयाम मॉडुलन में, किसी उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग (चित्र 30.12a) के आयाम को एक निम्न आवृत्ति के ऑडियो अथवा वीडियो मॉडुलक संकेत की तीव्रता के अनुसार परिवर्तित किया जाता है (चित्र 30.12.b)। जब मॉडुलक तरंग के आयाम में वृद्धि होती है तो मॉडुलित वाहक तरंग का आयाम भी बढ़ता है तथा इसका विलोम भी सत्य है। मॉडुलित तरंग का अन्वालोप मॉडुलक संकेत के आयाम और आवृत्ति के अनुसार अपना आकार ग्रहण करता है (चित्र 30.12.c)।

इसे अच्छी तरह से समझने के लिए, हम ऑडियो संकेत एवं वाहक संकेत के तत्क्षणिक आयामों के व्यंजनों को निम्न प्रकार से लिखते हैं :

$$\upsilon_a(t) = \upsilon_{ao} \sin\omega_a t \qquad (30.1a)$$

और

$$\upsilon_c(t) = \upsilon_{co} \sin\omega_c t \qquad (30.1b)$$

जहां w_a और w_c क्रमश: ऑडियो और वाहक तरंगों की कोणीय आवृत्तियां तथा υ_{ao} और υ_{co} क्रमश: ऑडियो और वाहक तरंगों के आयामों को सूचित करते हैं। आयाम मॉडुलन में,

मॉडुलक (ऑडियो) संकेत को वाहक तरंग पर अध्यारोपित किया जाता है ताकि परिणामी मॉडुलित तरंग के आयाम को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सके :

$$A(t) = \upsilon_{co} + \upsilon_a(t) = \upsilon_{co} + \upsilon_{ao}\sin\omega_a t$$

$$= \upsilon_{co}\left[1 + \frac{\upsilon_{ao}}{\upsilon_{co}}\sin\omega_a t\right] \qquad (30.2)$$

अत: मॉडुलित तरंग को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है :

$$\upsilon_c^{mod}(t) = A\sin\omega_c t = \upsilon_{co}\left[1 + \frac{\upsilon_{ao}}{\upsilon_{co}}\sin\omega_a t\right]\sin\omega_c t \qquad (30.3)$$

समीकरण (30.3) पर ध्यान देने पर हम पाते हैं कि मॉडुलित तरंग का तत्क्षणिक आयाम अनुरूप ऑडियो संकेत के आयाम और आवृत्ति द्वारा निर्धारित होता है। $\upsilon_{ao}/\upsilon_{co}$ अनुपात इसका एक माप हमें प्रदान करता है कि वाहक आयाम अनुरूप मॉडुलन संकेत द्वारा किस सीमा तक परिवर्तित होता है। इस अनुपात को आयाम मॉडुलन सूचकांक कहते हैं। इसे हम m_a द्वारा निरूपित करेंगे। मॉडुलन सूचकांक के प्रयोग द्वारा, समीकरण (30.3) को हम निम्न प्रकार से लिख सकते हैं :

$$\upsilon_c^{mod} = \upsilon_{co}(1 + m_a\sin\omega_a t)\sin\omega_c t$$

$$= \upsilon_{co}\sin\omega_c t + \upsilon_{co} ma \sin\omega_a t \sin\omega_c t$$

$$= \upsilon_{co}\sin\omega_c t + \frac{\upsilon_{co}m_a}{2}\cos(\omega_c - \omega_a)t - \frac{\upsilon_{co}m_a}{2}\cos(\omega_c + \omega_a)t \qquad (30.4)$$

समीकरण (30.4) पर ध्यान देने पर हम पाते हैं कि–

- चित्र 30.2(c) में दर्शाए मॉडुलित तरंग के तीन घटक हैं। पहला पद वाहक तरंग को निरूपित करता है; दूसरा पद, जिसकी आवृत्ति वाहक तरंग की आवृत्ति से कम है, निचला साइड बैंड प्रदान करता है; और तीसरा पद, जिसकी आवृत्ति वाहक तरंग की आवृत्ति से अधिक है, ऊपरी बैंड है; तथा
- मॉडुलक संकेत की आवृत्ति आयाम मॉडुलित तरंग में प्रत्यक्ष रूप से उपस्थित नहीं होती है।

यदि किसी ए एम प्रणाली में, मॉडुलक संकेत

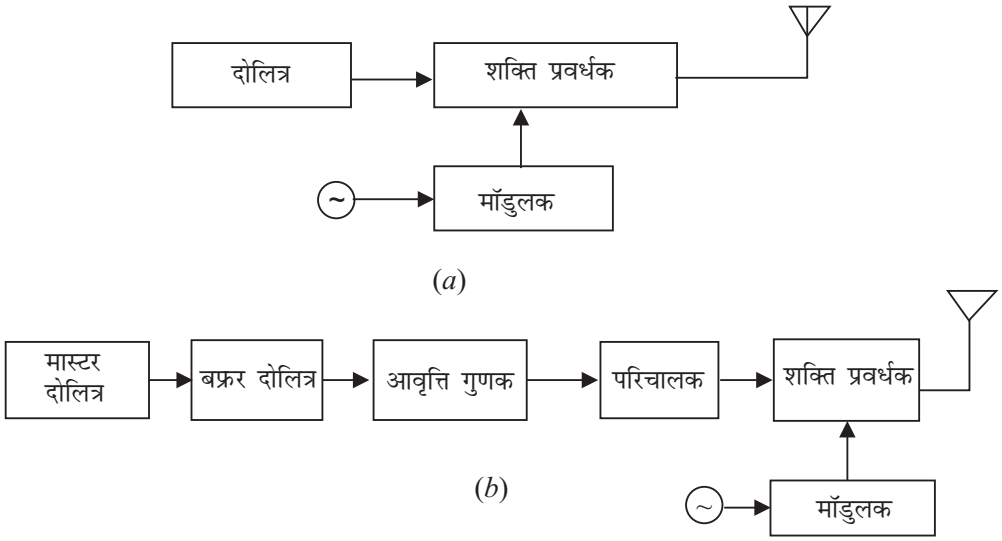
$\upsilon_a = 4\sin 6283t$ तथा निचले साइड बैंड की आवृत्ति 3.5×10^5 Hz है तो वाहक तरंग की आवृत्ति होगी :

$$\omega_C = \omega_a + 2\pi \times (3.5) \times 10^5$$
$$= 6283 + 22 \times 10^5$$
$$= (2200 + 6.283) \times 10^3 \text{ rad}$$
$$= 2.206 \times 10^6 \text{ rad}$$

यह जानना महत्वपूर्ण होगा कि सर्वाधिक दक्ष सूचना का अंतरण तब होता है जब संचार तंत्र द्वारा संचरित महत्तम शक्ति साइड बैंडों में उपस्थित होती है।

एक मूलभूत अनुरूप प्रेषी के ब्लॉक आरेख को चित्र 30.13 (a) में दर्शाया गया है। दोलित्र एक नियत आवृत्ति प्रदान करता है तथा शक्ति प्रवर्धक संकेत को मॉडुलित करता है।

इसके अतिरिक्त, प्रधान (मास्टर) दोलित्र तथा शेष परिपथ के मध्य एक बेहतर प्रवर्धक को लगाया जाता है। संकेत की आवृत्ति एवं आयाम को संवर्धित करने के लिए, संकेत के मॉडुलन के पूर्व आवृत्ति गुणक तथा परिचालक प्रवर्धकों को शक्ति प्रवर्धक में लगाया जाता है।

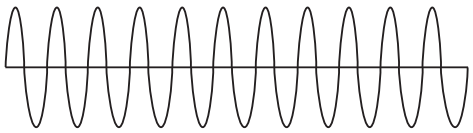


चित्र 30.13: (a) एक मूलभूत एवं (b) एक ए एम प्रेषी का ब्लॉक आरेख

किसी भी प्रसारण के लिए, विकिरित की जाने वाली महत्तम शक्ति का नियंत्रण भारत सरकार द्वारा किया जाता है। रेडियो प्रेषियों के लिए यह 500 W से 50 kW के परिसर में होता है। हर प्रसारणकर्त्ता को एक निश्चित आवृत्ति प्रदान की जाती है जिसका कड़ाई से पालन आवश्यक है ताकि अन्य संकेतों के साथ व्यतिकरण को रोका जा सके। इसे सुनिश्चित करने के लिए, अवांछित आवृत्तियों को युग्मन परिपथों के उपयोग द्वारा छांट दिया जाता है। इससे संबद्ध विवरणों की और अधिक चर्चा हम यहां नहीं करेंगे।

पिछले पचास वर्षों से भारत में रेडियो संचार के सर्वाधिक प्रचलित रूप मध्य तरंग (520 – 1700 kHz) तथा लघु तरंग (4.39 – 5.18 MHz; 5.72 – 6.33 MHz) अनुरूप ए एम प्रसारण रहे हैं। आज भी व्यापक रूप से इनका उपयोग होता है यद्यपि आजकल अनुरूप एफ एम प्रसारण को इसकी बेहतर गुणता के कारण प्राथमिकता दी जाती है। इसके अतिरिक्त, तुलनात्मक रूप से अब रेडियो का उपयोग स्वतंत्र हो गया है तथा निजी प्रसारणकर्त्ता विशाल रूप में इस क्षेत्र में प्रवेश कर रहे हैं। कुछ शैक्षिक संस्थानों ने भी शिक्षा तथा ग्रामीण युवकों एवं गृहणियों के सशक्तीकरण के लिए अब अपने एफ एम रेडियो स्टेशन स्थापित कर लिए हैं। टीवी प्रसारण में, ऑडियो, आवृत्ति मॉडुलित जबकि वीडियो (चित्र), आयाम मॉडुलित होता है।

आवृत्ति मॉडुलन में, वाहक तरंग का आयाम स्थिर रहता है परंतु इसकी आवृत्ति ऑडियो तथा वीडियो तरंग के तत्क्षणिक आयाम के अनुसार संतत रूप से परिवर्तित की जाती है। जब मॉडुलक संकेत वोल्टता का आयाम अधिक होता है तो वाहक आवृत्ति बढ़ जाती है और जब मॉडुलक संकेत का आयाम निम्न होता है तो वाहक आवृत्ति घट जाती है अर्थात् एफ एम तरंग की आवृत्ति एक अल्पतम से एक महत्तम मान के बीच परिवर्तित होती है जो मॉडुलक संकेत के अल्पतम तथा महत्तम मानों के साथ संगतता रखते हैं (चित्र 30.14)।



चित्र 30.14: एक आवृत्ति मॉडुलित वाहक तरंग

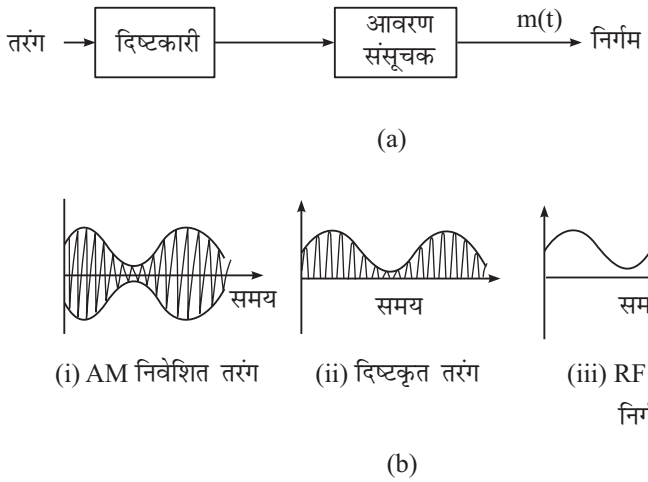
एक एफ एम प्रेषी में मुख्य रूप से एक दोलित्र होता है जिसकी वाहक तरंग की आवृत्ति को निवेशी ऑडियो संकेत के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। (सामान्यतया, किसी LC दोलित्र में धारिता अथवा संधारित्र को आवेशित करने वाली धारा को बदल कर, उदाहरण के लिए, एक पश्च बायासित डायोड के प्रयोग द्वारा चूंकि ऐसे डायोड की धारिता आरोपित वोल्टता के साथ परिवर्तित होती है, इसे संभव बनाया जाता है।) मॉडुलित संकेत की शक्ति को संवर्धित करने के उपरांत इसे प्रेषी ऐंटिना पर निवेशित किया जाता है। निम्न-आवृत्ति रेडियो प्रसारण केंद्र आयाम मॉडुलन का ही उपयोग करते हैं क्योंकि यह एक सरल एवं सशक्त तकनीक है।

कला मॉडुलन में वाहक संकेत के कला-कोण को मॉडुलन आवृत्ति के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। अनुरूप स्पंद मॉडुलन या तो आयाम मॉडुलित होता है अथवा समय मॉडुलित। इसी प्रकार, डिजिटल स्पंद मॉडुलन दो प्रकार का होता है : स्पंद कोड मॉडुलन एवं स्पंद डेल्टा मॉडुलन।

स्पंद कोड मॉडुलन में, मॉडुलक संकेत का पहले प्रतिचयन किया जाता है और (एक नियत संदर्भ के सापेक्ष) प्रत्येक प्रतिदर्श के परिमाण को क्वांटित किया जाता है। यह एक अनुरूप संकेत का अंकीय (डिजिटल) निरूपण है जहां संकेत के परिमाण का नियमित रूप से प्रतिचयन T_s अवधि वाले एकसमान अंतरालों पर किया जाता है। सामान्यतया, द्वि-आधारी कोड को किसी अनुरूप धारा को मॉडुलित करके एक संचरण माध्यम, जैसे कि लैंडलाइन से होकर संप्रेषित किया जाता है जबकि स्पंद कोड मॉडुलन का उपयोग डिजिटल टेलीफोन तंत्रों तथा काम्पैक्ट डिस्कों पर डिजिटल ऑडियो रिकार्डिंग हेतु किया जाता है।

30.7 विमॉडुलन

सूचना को वहन करने वाला मॉडुलित संकेत जब एक बार ऐंटिना द्वारा विकिरित हो जाता है तो यह आकाश से होकर संचरित होता है। चूंकि अनेक प्रेषी स्टेशन होते हैं, हजारों की संख्या में संकेत हमारे ऐंटिना तक पहुंचते हैं।



चित्र 30.15: (a) AM सिग्नलों के लिए विमोडिलित ब्लॉक आरेख (i) निवेशी मॉडुलित तरंग, (ii) दिष्टकृत मॉडुलित तरंग, (iii) निर्गमित विमॉडुलित तरंग

हमें वांछित संकेत को चयनित करना पड़ता है तथा वाहक तरंग एवं मॉडुलक संकेत को वियुग्मित करना पड़ता है। इस प्रक्रिया को **विमॉडुलन** कहते हैं।

ध्यान दें कि ऑडियो संकेत के मॉडुलन एवं विमॉडुलन के कारण इसके आयाम, आवृत्ति तथा कला में विरूपण उत्पन्न होते हैं। ये उच्च संनादी, काल विलंब तथा इसी प्रकार के अन्य विक्षोभों का कारण बनते हैं।

पाठगत प्रश्न 30.4

1. निम्नलिखित में से सही विकल्प चुनिये :
   (a) मॉडुलन का प्रयोग होता है,
      (i) बैंड विस्तार को कम करने के लिए
      (ii) भिन्न उपयोक्ताओं के संप्रेषणों के पृथक्करण के लिए,
      (iii) विशाल दूरियों तक सूचना के संप्रेषण को सुनिश्चित करने के लिए,
      (iv) व्यावहारिक ऐंटिनाओं के प्रयोग को संभव बनाने के लिए,
   (b) प्रसारण में ए एम का उपयोग निम्नलिखित कारण से किया जाता है :
      (i) अन्य मॉडुलन तंत्रों की तुलना में रव (शोर) के प्रति इसमें अधिक प्रतिरोध कता होती है।
      (ii) अन्य तंत्रों की तुलना में इसे कम संप्रेषण शक्ति की आवश्यकता होती है।
      (iii) यह अभिग्राही की जटिलता से मुक्ति प्रदान करता है।
      (iv) कोई अन्य मॉडुलन तंत्र तद्रूप संप्रेषण हेतु आवश्यक बैंड विस्तार नहीं प्रदान कर सकता है।
2. रेडियों ऐन्टेना का आदर्श साइज क्या होता हे?

30.8 संचार के अनुप्रयोग

हाल के वर्षों में, संचार के संसार ने मुद्रित टेक्स्ट में टेलीग्राफ, टेलीफोन, रेडियो, टेलीविजन, मोबाइल फोन, इंटरनेट तथा (दृश्य और श्रव्य) कम्प्यूटर कांफ्रेंसिंग तक की लंबी यात्रा द्रुत गति से तय की है। विश्व भर के देशों के बीच राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय संचारों में उच्च मानक प्राप्त करने की होड़ लगी है। संचार उपग्रहों के माध्यम से होने वाले रेडियो और टीवी प्रसारण को भूमंडल के दूरस्थ किनारों पर अवस्थित अधिकांश जनसंख्या तक भी ले जाया जा रहा है। स्वचालित टेलीफोन एक्सचेंजों की घरेलू अवस्था को साधारणतया तंतु प्रकाशिक केबल, समक्ष केबल, माइक्रोवेच रेडियो रीले तथा एक उपग्रह प्रणाली के आधुनिक नेटवर्कों द्वारा जोड़ा जाता है।

सेलुलर या मोबाइल टेलीफोन सेवाएं अब व्यापक रूप से उपलब्ध हैं और इन सेवाओं में (अपने देश के अतिरिक्त) बाहर के देशों तक भी रोमिंग सेवा सम्मिलित है। सेलुलर प्रणाली आधार स्टेशनों तथा ऐंटिनाओं के एक रेडियो नेटवर्क की तरह कार्य करता है। (किसी महानगर में एक आधार स्टेशन के व्याप्ति क्षेत्र को सेल कहते हैं जिसका विस्तार क्षेत्र 1 km से 50 km के त्रिज्या परिसर में होता है।) एक सेल फोन में एक निम्न शक्ति प्रेषी और एक निम्न शक्ति अभिग्राही होते हैं। यह दोनों का एक साथ उपयोग कर सकता है, भिन्न आवृत्तियों की पहचान कर सकता है तथा आवृत्तियों के मध्य स्वचालित रूप से स्विचन भी कर सकता है। आधार स्टेशन निम्न शक्ति पर प्रेषण भी कर सकते हैं। प्रत्येक आधार स्टेशन सावधानीपूर्वक चयनित की गई आवृत्तियों का उपयोग प्रतिवेशी सेलों के साथ व्यतिकरण को कम करने के लिए करता है।

उस स्थिति में, जहां बहु पर्सनल कंप्यूटरों का उपयोग किया जाता है जैसे कि प्राय: आपके स्थानीय अध्ययन केंद्र में, वहां सभी कम्प्यूटरों को एक ही नेटवर्क के रूप में जोड़ने में यह सहायता करता है ताकि वे परस्पर संवाद कर सके और हम–

- कम्प्यूटरों के मध्य एक एकल मुद्रक का प्रयोग कर सकते हैं;
- सभी कम्प्यूटरों के मध्य एक एकल इंटरनेट संबंधन का प्रयोग कर सकते हैं;
- किसी भी कम्प्यूटर पर साझे फाइलों एवं अभिलेखों तक अभिगम्यता प्राप्त (एक्सेस) प्राप्त कर सकते हैं;
- गेम खेल सकते हैं जो बहु उपभोक्ताओं को भिन्न कम्प्यूटरों को प्रयोग करने की अनुमति देता है;और
- किसी युक्ति जैसे कि एक डीवीडी प्लेयर के निर्गम को अन्य कम्प्यूटर (रों) तक भेज सकते हैं।

पर्सनल कम्प्यूटरों के एक ऐसे नेटवर्क को स्थापित करने के लिए तीन चरण होते हैं:

- नेटवर्क के लिए टैक्नोलॉजी का चयन कीजिए। मुख्य प्रौद्योगिकियां जिनके मध्य चयन किया जा सकता है वे हैं मानक ईथरनेट, फोन लाइन आधारित प्रौद्योगिकी, पावर लाइन आधारित प्रौद्योगिकी तथा बेतार प्रौद्योगिकी।

- हार्डवेयर को खरीदकर उसे स्थापित कीजिए।
- प्रणाली को विन्यासित करें और प्रत्येक अवयव को परस्पर सही ढंग से संवाद करने के लिए तैयार करें।

इंटरनेट विश्व भर में कम्प्यूटरों का एक विशाल नेटवर्क है। यह अनेक भिन्न प्रकार के संचारों को समाहित करता है। जैसे-जैसे टैक्नोलॉजी उन्नत होती जाएगी यह अन्य सभी प्रकार के संचारों को एक में ही मिलाकर उन्हें प्रतिस्थापित कर देगा। पत्रिकाओं और समाचार पत्रों को पुस्तकालयों, कला एवं शोध के साथ ऑनलाइन किया जा रहा है। संचार के अधिकांश प्रकारों के विपरीत यह वर्ल्ड वाइड वेव के माध्यम से सूचना के अथाह भंडार तक एक्सेस (अभिगम्यता) प्रदान करने में सहायक होता है। वर्ल्ड वाइड वेव इंटरनेट का मल्टीमीडिया वाला भाग है। यह टेक्स्ट को ध्वनि, चित्रों, रेखाचित्रों, चार्ट, ग्राफ, एनिमेशन तथा वीडियो के साथ भी समन्वित करता है। नवीन नवाचार जैसे कि जावा, जो एक वेव आधारित प्रोग्रामिंग भाषा है, किसी अभिलेख में संनिहित साधारण कार्यों के निष्पादन की अनुमति देता है। जैसे-जैसे इंटरनेट अधिक व्यापक होता जाएगा वैसे-वैसे यह अधिक महत्वपूर्ण एवं क्षमतावार प्रकार का संचार जाना जाएगा। भारत में लाखों स्कूलों को कम्पयूटरों और इंटरनेट की अभिगम्यता प्रदान की जा रही है ताकि शिक्षा की गुणवत्ता को सुधारा जा सके। मानव संसाधन विकास मंत्रालय साक्षात नामक एक एकल स्टॉप पोर्टल को विकसित कर रहा है जिससे कि आप अभिगम्यता प्राप्त कर सकते हैं। मुक्त विद्यालय राष्ट्रीय संस्थान भी इसमें अपना योगदान दे रहा है।

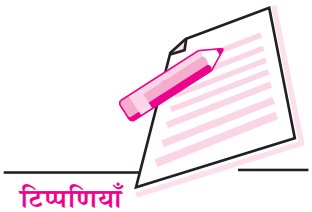
एक टेलीविजन सेट की कैथोड किरण नालिका में, ''कैथोड'' इलेक्ट्रॉनों को एक किरण के रूप में उसकी ''नलिका'' में सृजित निर्वात में उत्सर्जित करता है। इलेक्ट्रॉन धारा को एनोडों द्वारा फोकसित एवं त्वरित किया जाता है। यह इलेक्ट्रॉन धारा नलिका के दूसरे छोर पर स्थित स्क्रीन से टकराती है। स्क्रीन का भीतरी भाग स्फुरदीप्तिकारी पदार्थ से पुता होता है जो इलेक्ट्रॉन पुंज के टकराने पर दीप्त होता है। कैथोड किरण-पुन्ज वस्तु से आने वाले विडियो सिग्नलों का वाहित करता है और तदनुसार पर्दे पर प्रतिबिंब बनाता है।

एक फैक्स मशीन में संप्रेषित किए जाने वाले दस्तावेज (प्रलेख) को एक प्रकाश संसूचक की सहायता से स्कैन करके एक संकेत कोड को उत्पन्न किया जाता है और इसके उपरांत इसे टेलीफोन लाइन के माध्यम से संप्रेषित किया जाता है।

एक मोडेम (मॉडुलक/विमॉडुलक) किसी अंकीय बिट शृंखला को (मॉडुलक में) अनुरूप (एनालांग) संकेत तथा अनुरूप (एनालॉग) संकेत को (विमॉडुलक में) अंकीय बिट शृंखला में परिवर्तित करता है। किसी डिजिटल स्रोत का किसी अनुरूप (एनालॉग) संचार चैनल के साथ इंटरफेस बनाने के लिए मोडेम का उपयोग एक प्रेषी के रूप में किया जाता है; तथा एक संचार चैनल का किसी डिजिटल रिसीवर के साथ इंटरफेस बनाने के लिए भी मोडेम का उपयोग एक अभिग्राही के रूप में किया जाता है।

आपने क्या सीखा

- आधुनिक काल के एक प्रारूपिक संचार तंत्र में सूचना वैद्युत संकेतों (वोल्टता या धारा) के रूप में होती है।
- एक संचार तंत्र के आवश्यक अवयव हैं: (i) एक प्रेषी (ii) संकेत को दूरस्थ स्थानों तक ले जाने के लिए एक माध्यम अथवा क्रियाविधि, तथा (iii) संकेत के अवरोधन तथा सूचना को वापस प्राप्त करने के लिए एक अभिग्राही।
- मूल रूप से एक ऐंटेना अथवा एरियल चालकों का एक निकाय है जो वांछित रेडियो आवृत्ति परिसर में विद्युत-चुंबकीय तरंगों का एक प्रभावी विकिरण एवं अवशोषक होता है।
- एनालौग (अनुरूप) संकेत वे भौतिक संकेत होते है। जो समय के साथ संतत रूप से परिवर्तित होते हैं जबकि डिजिटल (अंकीय) संकेत विक्ति स्पंदों के रूप में होते हैं।
- डिजिटल (अंकीय) संचार तंत्र अपने एनालौग (अनुरूप) प्रतिवेशियों की तुलना में अधिक दक्ष होते हैं, बेहतर ढंग से कार्य करते हैं तथा अधिक लोच का गुण लिए होते हैं।
- आयाम माडुलित (ए एफ) रेडियो का प्रसारण तीन बैंडों में किया जाता है, 144-351 kHz की आवृत्ति पर दीर्घ तरंग (एल एफ), 530-1,7000 kHz की आवृत्ति पर मध्य तरंग (ाच एफ) तथा 3-30 MHz की आवृत्ति पर लघु तरंग (क्षय एफ)। आवृत्ति माडुलित (एफ एम) रेडियो का प्रसारण 88-104 MHz की आवृत्ति पर वाहक तरंगों के माध्यम से किया जाता है। (वी एच एफ)। व्यावसायिक टी वी प्रसारण वी एच एफ-यू एच एफ परिसर में किया जाता है।
- वैद्युत संचार चैनल (निर्देशित माध्यमों के प्रयोग से) तार चैनल या (अनिर्देशित माध्यमों के प्रयोग से) बेतार चैनल इन दो प्रकार के हो सकते हैं।
- एक ही मार्ग पर भिन्न संदेशों (जिनमें प्रत्येक की कोई आवृत्ति बैंड चौड़ाई होती है) के समकालिक प्रेषण की प्रक्रिया को बहुसंकेतन कहते हैं। वाहक की आवृत्ति जितनी अधिक होगी उतनी ही अधिक इसकी संदेशवाहक क्षमता भी होगी।
- भिन्न चैनलों की तुलना करने पर, किसी प्रकाशिक तंतु में दृश्य प्रकाश (जिसकी आवृत्ति लगभग 10^{14} Hz) की तुलना में कहीं अधिक होती है।
- (किसी लेसर द्वारा उत्सर्जित) प्रकाश पुंज को एक प्रकाशिक तंतु अपने एक छोर से दूसरे छोर तक पथनिर्देशित करता है। यह आंतर क्रोड (जिसका अपवर्तनांक n_1) है तथा परिनिधान (जिसका अपवर्तनांक $n_2 > n_1$) है के अंतरापृष्ठ पर होने वाली पूर्ण आंतरिक परावर्तन की परिघटना द्वारा संभव होता है।
- बेतार रेडियो प्रेषण में चालकों का एक निकाय, जिन्हें ऐंटीना का एरियल कहते हैं। वाहक रेडियो तरंगों को आकाश में प्रमोचित करता है और अभिग्राही स्थल पर भी उनका



संसूचन करता है। वायुमण्डल से होकर रेडियो तरंगों का संचरण तरंगों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। लगभग 1 MHz तक की निम्न एवं मध्यम आवृत्ति रेडियो तरंगों का उपयोग भू (या पृष्ठीय) तरंग संचार में किया जाता है। 300 kHz – 3 MHz तक की उच्च-आवृत्ति तरंगे आयनमंडल द्वारा परावर्तित कर लौटा दी जाती हैं। VHF और UHF तरंगों का प्रेषण या तो ऊँचे टावरों के प्रयोग द्वारा सीधी दृष्टि रेखा द्वारा किया जाता है (आकाश तरंग या क्षोभमंडलीय संचार) अथवा कृत्रिम उपग्रहों तक उन्हें भेजकर, फिर वहां से उन्हें प्रसारित कर किया जाता है।

- सेलुलर या मोबाइल टेलीफोन व्यवस्था एक रेडियो नेटवर्क की तरह कार्य करती है जिसमें किसी महानगर को 1 से 50 km के त्रिज्य क्षेत्र में सेलों के रूप में विभाजित किया जाता है और प्रत्येक सेल को एक आधार स्टेशन के व्याप्ति क्षेत्र के अंदर लिया जाता है। एक सेलुलर फोन में एक निम्न शक्ति का प्रेषी एवं एक निम्न शक्ति का अभिग्राही होता है।

- कोई अनुरूप (एनालॉग) संकेत इसके प्रतिदर्शों, जिन्हें समान अंतरालों T_s पर लिया जाता है, द्वारा पूर्ण रूप से वर्णित होता है, यदि और केवल यदि प्रतिचयन आवृत्ति ($f_s = 1/T_s$) अनुरूप (एनालॉग) संकेत के महत्तम घटक के दोगुने के बराबर हो।

- निम्न आवृत्तियों को व्यावहारिक आकार के एरियल अथवा ऐंटिना के माध्यम से विशाल दूरियों तक संप्रेषित नहीं किया जा सकता। निम्न आवृत्ति के संदेशों को एक उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग पर मॉडुलन नामक प्रक्रिया द्वारा अध्यारोपित किया जाता है। आयाम मॉडुलन (एएम) में, किसी उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग के आयाम को एक निम्न आवृत्ति के सूचना संकेत की तीव्रता के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। आवृत्ति मॉडुलन (एफ एम) में, वाहक तरंग का आयाम स्थिर रहता है, परंतु इसकी आवृत्ति सूचना संकेत के तात्क्षणिक आयाम के अनुसार परिवर्तित की जाती है अर्थात् मॉडुलित वाहक तरंग की आवृत्ति एक अल्पतम से एक महत्तम मान के मध्य परिवर्तित होती है जो मॉडुलक संकेत के अल्पतम तथा महत्तम मानों से संगतता रखते हैं।

- अंकीय स्पंद कोड मॉडुलन (पीसीएम) तकनीक में, सर्वप्रथम मॉडुलक संकेत का प्रतिचयन किया जाता है, (एक नियत संदर्भ के सापेक्ष) हर प्रतिदर्श के परिमाण को क्वांटित किया जाता है तथा इसके उपरांत एक अनुरूप धारा को मॉडुलित करके द्वि-आधारी कोड को सामान्यतया किसी लैंडलाइन से होकर संप्रेषित किया जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. किसी संचार तंत्र के आवश्यक अवयव क्या हैं?
2. ऐंटेना क्या होता है?
3. किसी संचार तंत्र में एक अभिग्राही के महत्वपूर्ण अभिलक्षण क्या होते हैं?

4. एनालौग (अनुरूप) और डिजिटल (अंकीय) संकेतों के मध्य विभेद कीजिए। 'बिट' की परिभाषा दीजिए।
5. वी एच एफ बैंड 30–300 MHz के आवृत्ति परिसर तक निस्तारित होता है। किसी विद्युत-चुंबकीय तंरग की चाल को आवृत्ति और तरंगदैर्ध्य से संबंधित करने वाले सह-संबंध का उपयोग करके निर्वात में वी एच एफ तरंगदैर्ध्य परिसर का निर्धारण कीजिए। निर्वात में प्रकाश की चाल को 3×10^8 ms^{-1} लें।
6. समझाइए कि सुदूर रेडियो प्रसारण लघुतरंग बैंडों का उपयोग क्यों करते हैं?
7. इसका औचित्य बताइए कि सुदूर टीवी प्रेषण में उपग्रहों का उपयोग क्यों करते हैं?
8. किसी प्रकाशिक तंतु का क्रोड कांच निर्मित है जिसका अपर्वनांक 1.51 तथा परिनिधान का अपर्वतनांक 1.49 है। पूर्ण आंतरिक परावर्तन के लिए क्रांतिक कोण के मान का परिकलन कीजिए।
9. पर्सनल कंप्यूटरों के तथाकथित नेटवर्क को स्थापित करने के कुछ लाभों को गिनाइए।
10. मॉडुलन से क्या अभिप्राय है? इसकी आवश्यकता समझाइए।
11. संचार तंत्र में मॉडुलन और विमॉडुलन की भूमिका समझाइए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

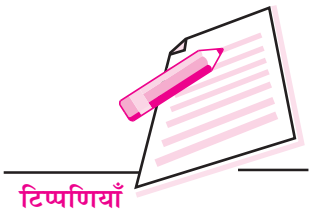
30.1

1. विद्युत चुंबकीय तरंगें आकाश में 3×10^8 ms की चाल से एक-दूसरे के अभिलंबवत् गमनशील समय के साथ परिवर्ती वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों का क्रम हैं।
2. $\lambda = \frac{C}{\nu} = \frac{3 \times 10^8 \, ms^{-1}}{30 \times 10^6 \, s^{-1}} = 10 \text{ m}$
3. (क) दृश्य प्रकाश का आवृत्ति परिसर 10^{14} Hz से 10^{15} Hz है

   (ख) रेडियो तरंगों का आवृत्ति परिसर 30 kHz से 300 kHz है।

30.2

1. समाक्ष केवल दो बिंदुओं को जोड़ने वाला एक ऐसा चालक युग्म है, जिसमें एक चालक एक खोखले बेलन के रूप में होता है और दूसरा ठोस चालक पहले चालक की अक्ष पर रखा होता है और ये दोनों चालक एक विद्युतरोधी द्वारा पृथक्कृत होते हैं। यह निदर्शक चैनल 30 GHz से 40 GHz आवृत्ति परिसर में प्रयुक्त होता है।
2. प्रकाशिक तंतु में प्रयुक्त होने वाला सिद्धांत प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परिवर्तन है, जिसके कारण प्रकाश किरण बिना किसी ऊर्जा क्षय के प्रकाश तंतु के अनुदिश गमन कर सकती है।



30.3

1. व्योम तरंग संचार प्रायः रात के समय बेहतर होता है, क्योंकि सूर्य की अनुपस्थिति में आयन मंडल की संरचना नियत बनी रहती है, जिससे यह बेहतर परावर्तक की भांति व्यवहार करता है।

2. (a) (iv) (b) (iii)

30.4

1. (a) (iii), (b) (iii)

2. संप्रेषी ऐन्टेना का न्यूनतम साइज संप्रेष्य सिग्नल के तरंगदैर्ध्य के साथ तुलनीय होना चाहिए। अधिकतम शक्ति संप्रेषण के लिए ऐन्टेना का साइज कम-से-कम होना चाहिए।

पाठांत प्रश्नों की आंकिक समस्याओं के उत्तर

5. 10 m- 1 m

8. $\sin^{-1} n_2/n_1 = 80.66°$