

8

કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમ્સ

8.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

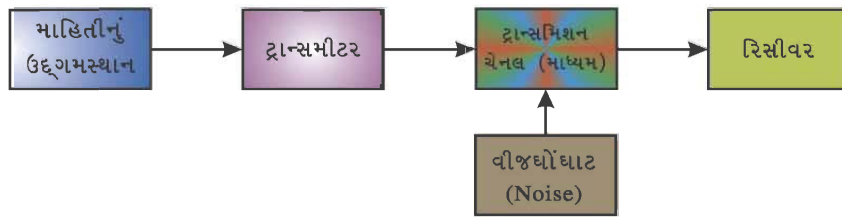
કમ્યૂનિકેશન તંત્ર એટલે માહિતી અથવા સંદેશાઓની આપ-લે કરવા માટે ગોઠવાયેલું તંત્ર. પ્રાચીન યુગમાં રાજાઓ પોતાના ખાનગી સંદેશાઓ કબૂતર અથવા અંગત માણસો મારફતે એક રાજ્યમાંથી બીજા રાજ્ય સુધી પહોંચાડતા હતા. ત્યાર બાદ તાર અને ટપાલ દ્વારા સંદેશાઓ મોકલવામાં આવતા હતા, પરંતુ આ વ્યવસ્થામાં સંદેશાઓ સમયસર મળતા ન હતા.

ઈ.સ. 1987માં હર્ટ્ઝ નામના વૈજ્ઞાનિકે પ્રયોગશાળામાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કર્યા. ત્યાર બાદ જગદીશચંદ્ર બોઝ, મોર્સ, માર્કોની અને ગ્રેહામ બેલ જેવા સંશોધનકારોએ આધુનિક સંદેશાવ્યવહારના પાયા નાખ્યા.

આધુનિક યુગમાં આપણે રોજબરોજના જીવનમાં વિવિધ રીતે કમ્યૂનિકેશન તંત્રનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. ઉદાહરણ તરીકે, ટેલિફોન, રેડિયો, ટી.વી., સેલફોન વગેરે...જેવાં ઉપકરણો વાપરી આપણે વિવિધ પ્રકારના સંદેશાઓની આપ-લે કરીએ છીએ. આ સંદેશાઓને એક જગ્યાએથી બીજી જગ્યાએ કેવી રીતે મોકલવામાં આવે છે, તે અંગે પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે તેની પ્રાથમિક માહિતી મેળવીશું.

8.2 કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમ (Communication System)

કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમ (સંદેશાવ્યવહાર વ્યવસ્થા)નો પ્રાથમિક ખ્યાલ આપતો બ્લોક-ડાયાગ્રામ આકૃતિ 8.1માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 8.1 કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમનો બ્લોક-ડાયાગ્રામ

કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમના મુખ્ય ત્રણ ઘટકો છે :

(1) ટ્રાન્સમીટર (2) ટ્રાન્સમિશન ચેનલ અને (3) રિસીવર. કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમમાં ટ્રાન્સમીટર કોઈ એક સ્થળે અને રિસીવર ટ્રાન્સમીટરથી દૂર કે નજીક એવા બીજા સ્થળે આવેલ હોય છે. ટ્રાન્સમિશન અને રિસીવર બંને એકબીજાં સાથે ટ્રાન્સમિશન ચેનલ અથવા કોઈ ભૌતિક માધ્યમ દ્વારા જોડાયેલ હોય છે.

(1) ટ્રાન્સમીટર : માહિતીકેન્દ્રમાંથી આવતી માહિતી અથવા સંદેશાઓ અલગ-અલગ સ્વરૂપે હોઈ શકે છે. દા.ત., કોઈ વ્યક્તિનું ભાષણ ધ્વનિ-તરંગો સ્વરૂપે હોય છે, પરંતુ તેના ચિત્રકરણની માહિતી પ્રકાશ-તરંગના સ્વરૂપમાં હોય છે. આવી માહિતી સીધેસીધી મોટાં અંતરોએ મોકલી શકાતી નથી.

કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમ્સ

આ માટે સંદેશાઓને વિદ્યુત-સિગ્નલમાં રૂપાંતર કરવા પડે છે. આમ કરવા માટે વ્યાપક રીતે ટ્રાન્સડ્યુસર (Transducer) તરીકે ઓળખાતાં ઉપકરણો વપરાય છે.

જે ઉપકરણ એક પ્રકારની ઊર્જાનું બીજા પ્રકારની ઊર્જામાં રૂપાંતરણ કરી શકે તેને વ્યાપક રીતે ટ્રાન્સડ્યુસર કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે માઈક્રોફોન એ ધ્વનિ-ઊર્જા (ધ્વનિ-તરંગો)નું વિદ્યુત-ઊર્જા (વિદ્યુત-સિગ્નલ)માં રૂપાંતરણ કરે છે.

ટ્રાન્સમીટર વિભાગ, સૌપ્રથમ મેળવેલ માહિતીનું વિદ્યુત-સિગ્નલમાં રૂપાંતર કરે છે. ત્યાર બાદ વિદ્યુત-સિગ્નલને વિવર્ધિત કરી તેના પર જરૂરી એવી મોડ્યુલેશન પ્રક્રિયા કરી તેને ટ્રાન્સમિશન ચેનલ સુધી પહોંચાડે છે.

(2) ટ્રાન્સમિશન ચેનલ : ટ્રાન્સમિશન ચેનલ એ ટ્રાન્સમીટર અને રિસીવરને જોડતું માધ્યમ છે. આ ચેનલ દ્વારા સંદેશાઓ પ્રસારિત થઈને રિસીવર સુધી પહોંચે છે. ટ્રાન્સમિશન ચેનલ (માધ્યમ)એ કો-એક્સિઅલ (સમાક્ષી) કેબલ, બે તારવાળી લાઈન, મુક્ત અવકાશ (Free Space) અથવા ઓપ્ટિકલ ફાઈબર હોઈ શકે છે.

રેડિયો અને ટીવી જેવા ટ્રાન્સમિશનમાં ટ્રાન્સમિશન ચેનલ તરીકે મુક્ત અવકાશનો ઉપયોગ થાય છે. અહીં ટ્રાન્સમીટર એ સંદેશાઓને વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના સ્વરૂપે પ્રસારિત કરે છે. આવાં કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમમાં ટ્રાન્સમીટર અને રિસીવર વચ્ચે કોઈ વાહક તારનું જોડાણ ન હોવાથી તેને વાયરલેસ (Wireless) કમ્યૂનિકેશન કહે છે. ટેલિફોન-વ્યવસ્થામાં બે તારવાળી લાઈનનો ઉપયોગ ટ્રાન્સમિશન ચેનલ તરીકે થાય છે.

(3) રિસીવર : રિસીવર વિભાગ, ટ્રાન્સમિશન ચેનલમાંથી પ્રસારિત થયેલા સિગ્નલોને મેળવીને તેને વિવર્ધિત કરે છે. ત્યાર બાદ સિગ્નલોને ડિમોડ્યુલેશન (Demodulation) જેવી પ્રક્રિયામાંથી પસાર કરી યોગ્ય ઇલેક્ટ્રોનિક ઘટકોને આપી માહિતી મૂળસ્વરૂપે પાછી મેળવવામાં આવે છે. દા.ત., વિદ્યુત-સિગ્નલને લાઉડસ્પીકરને આપતા તે ધ્વનિતરંગમાં રૂપાંતરિત થાય છે. પિકચરટ્યૂબ એ વિદ્યુત સિગ્નલોનું ચિત્રમાં રૂપાંતર કરે છે.

(4) વીજધોંધાટ (Noise) : Noise એ અનિચ્છનીય સિગ્નલ (Unwanted Signal) છે. ટ્રાન્સમીટર દ્વારા પ્રસારિત થયેલા સિગ્નલો ટ્રાન્સમિશન ચેનલ (માધ્યમ)માંથી પસાર થાય છે ત્યારે noise તરીકે ઓળખાતા સિગ્નલો (વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ) તેમના સાથે ભળી જાય છે. પરિણામે મૂળ માહિતીના સિગ્નલો વિકૃત (Distort) થાય છે. Noise એ કુદરતી અથવા માનવસર્જિત હોઈ શકે છે.

વીજળીના ચમકારા, સૂર્ય અથવા તારામાંથી આવતાં વિકિરણો એ કુદરતી Noise છે. વાહન, ઇલેક્ટ્રિક મોટર, ભારે મશીનો કે ટ્યૂબલાઈટના ઝબકારાથી ઉદ્ભવતો Noise એ માનવસર્જિત છે.

રિસીવર વિભાગમાં ફિલ્ટર પરિપથો દ્વારા આ Noise સિગ્નલોની માત્રા ઘટાડવામાં આવે છે :

કમ્યૂનિકેશનના મુખ્યત્વે બે પ્રકાર છે :

(1) Point to Point કમ્યૂનિકેશન મોડ (2) બ્રોડકાસ્ટ મોડ (Broadcast Mode)

Point to Point કમ્યૂનિકેશનમાં ફક્ત એક જ ટ્રાન્સમીટર અને એક જ રિસીવર વચ્ચે માહિતીની આપ-લે છે. દા.ત., ટેલિફોન દ્વારા થતું કમ્યૂનિકેશન. બ્રોડકાસ્ટ મોડમાં એક જ ટ્રાન્સમીટર અને અનેક રિસીવર હોય છે. દા.ત., રેડિયો અને ટી.વી. તંત્ર દ્વારા થતું પ્રસારણ.

8.3 સિગ્નલ અને બેન્ડવીડ્થ (Signals and Bandwidth)

ટ્રાન્સમિશન માટે માહિતી/સંદેશાના તરંગોને વિદ્યુત-તરંગમાં રૂપાંતર કરવામાં આવે છે, જેને સિગ્નલ (Signal) કહે છે. સિગ્નલ બે પ્રકારના હોય છે : (1) એનેલોગ સિગ્નલ (Analog Signal) અને (2) ડિજિટલ સિગ્નલ (Digital Signal).

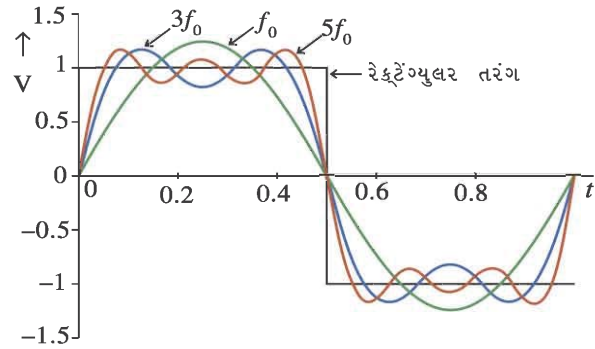
એનેલોગ સિગ્નલ એટલે કે જેમાં સિગ્નલનું મૂલ્ય સમયની સાથે સતત બદલાતું હોય તેવાં સિગ્નલ. કોઈ પણ ક્ષણે આ સિગ્નલને સિગ્નલના મહત્તમ મૂલ્ય અને લઘુત્તમ મૂલ્યની વચ્ચેનું કોઈ પણ મૂલ્ય હોઈ શકે છે. દા.ત. માઈક્રોફોન અને વીડિયો કેમેરાના આઉટપુટનું સિગ્નલ. એનેલોગ કમ્યૂનિકેશનમાં એનેલોગ સિગ્નલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

ડિજિટલ સિગ્નલને ફક્ત બે મૂલ્યો હોય છે. સિગ્નલનું લઘુત્તમ મૂલ્ય અથવા મહત્તમ મૂલ્ય. જેને અનુક્રમે 0 અને 1 વડે દર્શાવામાં આવે છે. અહીં એનેલોગ પ્રકારના માહિતીના સિગ્નલનું નિશ્ચિત સમયના અંતરે sample લેવામાં આવે છે. આ Sample વોલ્ટેજને અનુરૂપ 0 અને 1ના સ્વરૂપમાં ડિજિટલ ટ્રાન્સમિશન કરવામાં આવે છે. ડિજિટલ કમ્યૂનિકેશનમાં ડિજિટલ સિગ્નલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

કમ્યૂનિકેશન તંત્રમાં માહિતીના સિગ્નલો એ ભાષણ (Speech), મ્યુઝિક, ચિત્ર અથવા કમ્પ્યુટર ડેટા હોઈ શકે છે. આ દરેક સિગ્નલને આવૃત્તિનો જુદો-જુદો ગાળો હોય છે. કમ્યૂનિકેશન તંત્ર આ આવૃત્તિના ગાળા (Band of Frequencies)ને ટ્રાન્સમીટ કરવા માટે સક્ષમ હોવું જોઈએ. કમ્યૂનિકેશન તંત્ર જે મહત્તમ આવૃત્તિ અને નિમ્ન આવૃત્તિ વચ્ચેની આવૃત્તિને ટ્રાન્સમીટ કરવાને સક્ષમ હોય તેને તંત્રની બેન્ડવીડ્થ કહે છે.

દા.ત., સામાન્ય વાતચીતમાં આપણે 300 Hz થી 3100 Hz સુધીની આવૃત્તિનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. આ સિગ્નલની બેન્ડવીડ્થ $3100 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} = 2800 \text{ Hz}$ થાય. આટલી બેન્ડવીડ્થ એ ટેલિફોન કમ્યૂનિકેશન તંત્રની હોય છે. ઓડિયો ફ્રીક્વન્સીની આવૃત્તિનો ગાળો 20 Hz થી 20 kHz સુધીનો છે. આથી મ્યુઝિકના સિગ્નલને ટ્રાન્સમીટ કરવા માટે તંત્રની બેન્ડવીડ્થ આશરે 20 kHz જેટલી હોય છે. આ જ રીતે વીડિયો સિગ્નલને ટ્રાન્સમીટ કરવા માટે તંત્રની બેન્ડવીડ્થ આશરે 4.2 MHz જેટલી હોય છે. ટેલિવિઝન તંત્ર એ ઓડિયો અને વીડિયો બંને પ્રકારના સિગ્નલોને ટ્રાન્સમીટ કરતા હોવાથી ટેલિવિઝનની દરેક ચેનલને 6 MHz જેટલી બેન્ડવીડ્થ ફાળવવામાં આવી છે.

ડિજિટલ કમ્યૂનિકેશનમાં ડિજિટલ સિગ્નલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. ડિજિટલ સિગ્નલ એ Rectangular આકારના તરંગો છે. આ તરંગનું ગાણિતીય વિશ્લેષણ દર્શાવે છે કે તે $f_0, 3f_0, 5f_0, \dots$ જેવી ઘણી બધી આવૃત્તિઓનું બનેલું છે. આ બધી આવૃત્તિઓ એકબીજા પર યોગ્ય પ્રમાણમાં સંપાત થઈ Rectangular આકારનું ડિજિટલ સિગ્નલ તૈયાર કરે છે. (જુઓ આકૃતિ 8.2).



આકૃતિ 8.2 રેક્ટેંગ્યુલર આકારનું તરંગ

આ દર્શાવે છે કે આવા સિગ્નલની બેન્ડવીડ્થ અનંત હોય છે. વાસ્તવમાં ઉચ્ચ હાર્મોનિકવાળા તરંગના એમ્પ્લિટ્યૂડ ખૂબ જ નાના હોય છે. આથી તેમને અવગણી શકાય. જો કમ્યૂનિકેશન તંત્રની બેન્ડવીડ્થ ઓછી હોય તો આવા તરંગમાં ઉચ્ચ હાર્મોનિકવાળાં તરંગોની ગેરહાજરીને લીધે તે વિકૃત (Distort) થાય છે. એટલે કે તેમાં અમુક માહિતીનો loss થાય છે.

જુદા-જુદા પ્રકારની કમ્યૂનિકેશન ચેનલ (માધ્યમ)ની બેન્ડવીડ્થ અલગ-અલગ હોય છે. સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતાં આ માધ્યમો તાર, કો-એક્સિઅલ કેબલ, મુક્ત અવકાશ અને ઓપ્ટિકલ ફાઇબર છે. કો-એક્સિઅલ કેબલની બેન્ડવીડ્થ આશરે 750 MHz છે. મુક્ત અવકાશ દ્વારા કેટલાક kHz થી કેટલાક GHz સુધી આવૃત્તિ ધરાવતા તરંગો પ્રસરણ પામે છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં 1 THz થી 1000 THz સુધી આવૃત્તિ ધરાવતા તરંગો પ્રસરણ પામે છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની બેન્ડવીડ્થ આશરે 100 GHz હોય છે.

8.4 મોડ્યુલેશન અને તેની જરૂરિયાત (Modulation and Its Necessity)

કેટલીક કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમમાં માહિતી ધરાવતાં વિદ્યુત-સિગ્નલને સીધેસીધું ટ્રાન્સમિશન ચેનલમાં પ્રસારિત કરવામાં આવે છે. દા.ત., ટેલિફોન જેવી કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમમાં ધ્વનિના વિદ્યુત-સિગ્નલોને વાહક તાર દ્વારા એક છેડેથી બીજા છેડે મોકલવામાં આવે છે.

પરંતુ, મોટા ભાગે સંદેશા/માહિતીના સિગ્નલો નિમ્ન આવૃત્તિના હોવાથી તેમને અવકાશ જેવા માધ્યમમાં દૂરના અંતર સુધી પ્રસારિત કરી શકાતા નથી. આમ કરવા માટે ક્યાં પરિબળો ભાગ ભજવે છે, તે હવે આપણે જોઈશું.

(1) એન્ટેનાની લંબાઈ : ધ્વનિનાં તરંગોને (સંદેશાઓને) દૂરના અંતરે મોકલવા માટે સૌપ્રથમ તેનું માર્ફકોફોન દ્વારા વિદ્યુત-સિગ્નલમાં રૂપાંતર કરવામાં આવે છે, જેને ઓડિયો સિગ્નલ (Audio Signal) અથવા બેઝબેન્ડ (Base Band) સિગ્નલ કહે છે. ટ્રાન્સમીટર આ ઓડિયો સિગ્નલને એન્ટેના (અથવા એરિયલ) દ્વારા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના સ્વરૂપે અવકાશમાં પ્રસારિત કરે છે.

એન્ટેનામાંથી આ સિગ્નલોનું ઉત્સર્જન ક્ષમતાપૂર્વક કરવા માટે એન્ટેનાની લંબાઈ ઓછામાં ઓછી $\frac{\lambda}{4}$ જેટલી હોવી જોઈએ. અહીં, λ એ ઓડિયો સિગ્નલની તરંગલંબાઈ છે.

ઓડિયો સિગ્નલની આવૃત્તિનો વિસ્તાર 20 Hz થી 20 kHz વચ્ચેનો છે. દા.ત., 1 kHz આવૃત્તિવાળા સિગ્નલને ટ્રાન્સમીટ કરવું છે. આ માટે તેની તરંગલંબાઈ,

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^3} = 300 \text{ km}$$

$$\text{અને, એન્ટેનાની ઓછામાં ઓછી લંબાઈ} = \frac{\lambda}{4} = \frac{300}{4} = 75 \text{ km થાય.}$$

જે વાસ્તવમાં અવ્યાવહારિક અને ખર્ચાળ છે, પરંતુ જો 1 MHz આવૃત્તિવાળા તરંગ માટે એન્ટેનાની લંબાઈ ગણવામાં આવે, તો તે ફક્ત 75 m થાય છે.

આ દર્શાવે છે કે, ઉચ્ચ આવૃત્તિવાળા તરંગનું ક્ષમતાપૂર્વક ઉત્સર્જન કરવા માટે નાની લંબાઈની એન્ટેના જોઈએ, જે સહેલાઈથી બનાવી શકાય છે.

(2) એન્ટેના દ્વારા ઉત્સર્જિત થતો પાવર : વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના અભ્યાસો દર્શાવે છે કે, આપેલી લંબાઈનાં એન્ટેનામાંથી વિકેરિત થતો પાવર, તરંગલંબાઈના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. એટલે કે $P \propto \frac{1}{\lambda^2}$. આ દર્શાવે છે કે ઓછી તરંગલંબાઈ એટલે કે વધુ આવૃત્તિવાળા તરંગનું એન્ટેનામાંથી વધારે ક્ષમતાથી પ્રસારણ થાય છે. આ હેતુ માટે વધારે આવૃત્તિવાળા તરંગનો ઉપયોગ અનિવાર્ય છે.

(3) જુદાં-જુદાં ટ્રાન્સમીટરના સિગ્નલોનું મિશ્રણ : કોઈ એક વિસ્તારમાં એક કરતાં વધુ ટ્રાન્સમીટરો આવેલાં હોય અને તેઓ તેમની માહિતીનું પ્રસારણ સીધેસીધું ઓડિયો સિગ્નલની આવૃત્તિ પર કરે, તો આ બધા સિગ્નલો mixed થઈ જાય છે. કોઈ એક ટ્રાન્સમીટરની માહિતીને બીજા ટ્રાન્સમીટરની માહિતીથી અલગ પાડી શકાતી નથી.

આથી, દરેક ટ્રાન્સમીટરને તેની માહિતીમાં ટ્રાન્સમિશન માટે જો અલગ-અલગ ઉચ્ચ આવૃત્તિઓ ફાળવવામાં આવે, તો આવી પરિસ્થિતિને ટાળી શકાય છે.

અહીં, કરેલી બધી જ ચર્ચાનો નિયોડ એક જ છે કે જો ટ્રાન્સમિશન નિમ્ન આવૃત્તિને બદલે ઉચ્ચ આવૃત્તિ પર કરવામાં આવે, તો કોઈ પણ પ્રકારની મુશ્કેલી ઊભી ન થાય. આ માટે મોડ્યુલેશન પ્રક્રિયાની જરૂર પડે છે.

8.5 મોડ્યુલેશન (Modulation)

નિમ્ન આવૃત્તિવાળા ઓડિયો સિગ્નલોને ઉચ્ચ આવૃત્તિ ધરાવતા તરંગ પર સંપાત કરવાની પ્રક્રિયાને મોડ્યુલેશન કહે છે.

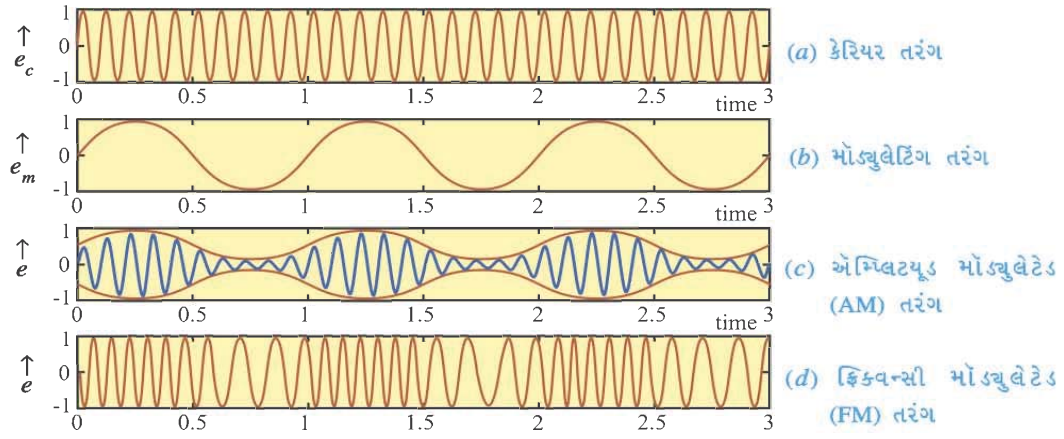
નિમ્ન આવૃત્તિવાળા સિગ્નલને મોડ્યુલેટિંગ સિગ્નલ (Modulating Signal) કે મોડ્યુલેટિંગ તરંગ કહે છે. ઉચ્ચ આવૃત્તિવાળું તરંગ માહિતીને Carry કરતું હોવાથી તેને કેરિયર તરંગ (Carrier Wave) કહે છે અને મિશ્ર થયેલા પરિણામી તરંગને મોડ્યુલેટેડ તરંગ (Modulated Wave) કહે છે.

સામાન્ય રીતે કેરિયર તરંગ sine આકારનું હોય છે, જેને ગાણિતિક સ્વરૂપે નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$e_c = E_c \sin(\omega_c t + \phi) \quad (8.6.1)$$

જ્યાં E_c એ કેરિયર તરંગનું મહત્તમ મૂલ્ય (એમ્પ્લિટ્યૂડ), ω_c એ કોણીય આવૃત્તિ અને ϕ એ તરંગનાં પ્રારંભિક કળા છે. તરંગનાં આ ત્રણ પ્રાયલો અનુસાર આપણને ત્રણ પ્રકારનાં મોડ્યુલેશન મળે છે. (1) એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન (Amplitude Modulation : AM) (2) ફ્રિક્વન્સી મોડ્યુલેશન (Frequency Modulation : FM) (3) ફેઝ મોડ્યુલેશન (Phase Modulation : PM)

કેરિયર તરંગના ત્રણ પ્રાયલોમાંથી કોઈ પણ બે પ્રાયલો અચળ રાખી ત્રીજા પ્રાયલને મોડ્યુલેટિંગ તરંગના વોલ્ટેજ અનુસાર બદલીને ઉપર મુજબનાં ત્રણ મોડ્યુલેશન મેળવી શકાય છે. AM અને FM મોડ્યુલેશનનાં તરંગો આકૃતિ 8.3માં દર્શાવ્યાં છે.



આકૃતિ 8.3 મોડ્યુલેશનના પ્રકાર

ડિજિટલ કમ્યુનિકેશનમાં કેરિયર તરંગ તરીકે પલ્સ (Pulse – સ્પંદ) તરંગનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. પલ્સને તેની ત્રણ લાક્ષણિકતાઓ અનુસાર વર્ણવી શકાય છે : (1) એમ્પ્લિટ્યૂડ (2) પલ્સની પહોળાઈ (Width) અને (3) પલ્સનું સ્થાન (Position)

આમ, આપણને ત્રણ પ્રકારનાં પલ્સ મોડ્યુલેશન મળે છે. (1) Pulse Amplitude Modulation (PAM) (2) Pulse Width Modulation (PWM) અને (3) Pulse Position Modulation (PPM).

પ્રસ્તુત પ્રકરણ પૂરતું આપણી ચર્ચા એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન (AM) પૂરતું સીમિત રાખીશું.

8.6 એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન

મોડ્યુલેશન પ્રક્રિયામાં કેરિયર તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ (E_c) એ મોડ્યુલેટિંગ તરંગના તાત્કાલિક મૂલ્યના સમપ્રમાણમાં બદલાતું હોય, તેને એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન (AM) કહે છે. કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ (f_c) અને પ્રારંભિક કળા (ϕ) અચળ રહે છે.

આકૃતિ 8.3માં કેરિયર તરંગ, મોડ્યુલેટિંગ સિગ્નલ અને એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટેડ તરંગની તરંગાકૃતિઓ દર્શાવી છે. આકૃતિ પરથી સ્પષ્ટ છે કે જેમ મોડ્યુલેટિંગ તરંગનું તાત્કાલિક મૂલ્ય સમયની સાથે બદલાય છે તે જ પ્રમાણે એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટેડ તરંગના ધન અર્ધચક્ર અને ઋણ અર્ધચક્ર બંનેનાં એમ્પ્લિટ્યૂડ બદલાય છે. એટલે કે મોડ્યુલેટેડ તરંગનું Envelope (આવરણ) એ મોડ્યુલેટિંગ તરંગ (માહિતીના સિગ્નલ)ના આકાર જેવું હોય છે.

રેડિયો તેમજ ટીવી ટ્રાન્સમિશનના વીડિયો સિગ્નલનું ટ્રાન્સમિશન AM પ્રકારનું હોય છે.

ધારો કે કેરિયર તરંગ અને મોડ્યુલેટિંગ તરંગ નીચે મુજબ છે.

$$\text{કેરિયર તરંગ : } e_c = E_c \sin(\omega_c t + \phi) \quad (8.6.1)$$

$$\text{મોડ્યુલેટિંગ તરંગ : } e_m = E_m \sin \omega_m t \quad (8.6.2)$$

જ્યાં, ω_c અને ω_m અનુક્રમે કેરિયર તરંગ અને મોડ્યુલેટિંગ તરંગની કોણીય આવૃત્તિઓ છે.

કેરિયર તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ એ મોડ્યુલેટિંગ તરંગના તાત્કાલિક મૂલ્ય અનુસાર બદલાતો હોવાથી એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટેડ તરંગ (AM Wave) નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$e = (E_c + e_m) \sin \omega_c t \quad (\text{કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ અને કળા અચળ રહે છે.})$$

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

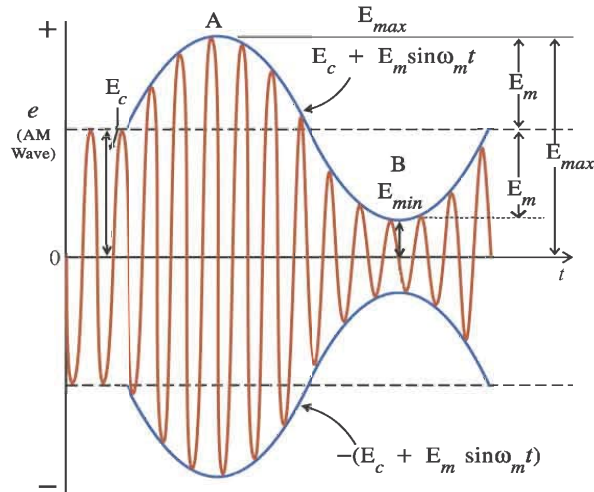
$$= E_c \left(1 + \frac{E_m}{E_c} \sin \omega_m t\right) \sin \omega_c t$$

$$e = E_c (1 + m_a \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (8.6.3)$$

સમીકરણ (8.6.3) એ એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટેડ તરંગ (AM તરંગ)નું ગાણિતિક સ્વરૂપ દર્શાવે છે.

સમીકરણ (8.6.3)માં $m_a = \frac{E_m}{E_c}$ ને **મોડ્યુલેશન-અંક** કહે છે. સામાન્ય રીતે m_a નું મૂલ્ય 1 કરતાં ઓછું હોય

છે. જો m_a નું મૂલ્ય 1 કરતાં વધે તો AM તરંગ વિકૃત થઈ જાય છે.



આકૃતિ 8.4 AM તરંગ

આકૃતિમાં AM તરંગ દર્શાવેલ છે. AM તરંગની ઉપરની તરફનું આવરણ (Envelope) $E_c + E_m \sin \omega_m t$ અનુસાર બદલાય છે.

બિંદુ A આગળ $\sin \omega_m t = 1$ થવાથી AM તરંગનો મહત્તમ એમ્પ્લિટ્યૂડ મળશે.

$$E_{max} = E_c + E_m \quad (8.6.4)$$

બિંદુ B આગળ $\sin \omega_m t = -1$ થવાથી AM તરંગનો લઘુત્તમ એમ્પ્લિટ્યૂડ મળશે.

$$E_{min} = E_c - E_m \quad (8.6.5)$$

સમીકરણ (8.6.4) અને (8.6.5)નો સરવાળો કરતાં,

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

સમીકરણ (8.6.4) અને (8.6.5)ની બાદબાકી કરતાં

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

મોડ્યુલેશન-અંકની વ્યાખ્યા અનુસાર,

$$m_a = \frac{E_m}{E_c} = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \quad (8.6.6)$$

$$m_a(\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100$$

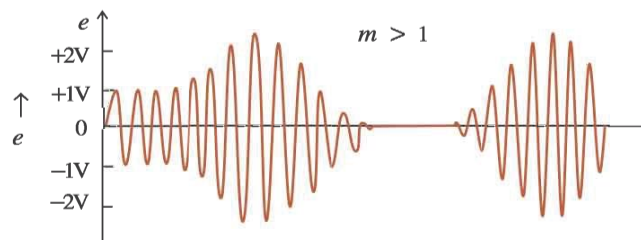
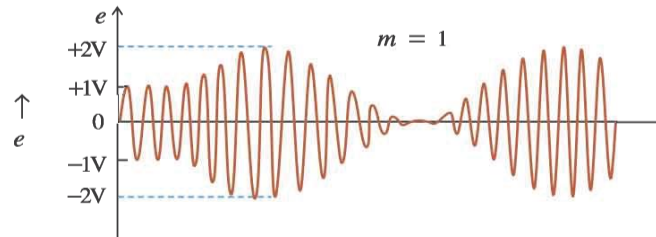
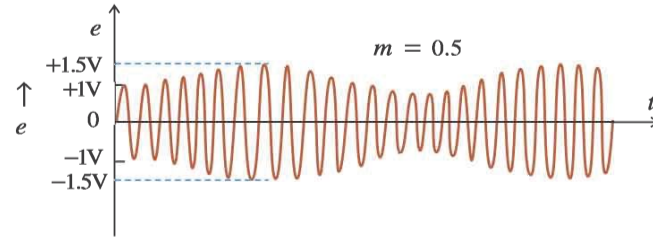
આકૃતિ 8.5માં જુદા-જુદા મોડ્યુલેશન-અંક દર્શાવતા AM તરંગો દર્શાવેલા છે.

8.7 AM તરંગ માટે આવૃત્તિનો પટ્ટો (Frequency Spectrum of the AM Wave)

સમીકરણ (8.6.3) અનુસાર AM તરંગ, $e = E_c \sin \omega_c t + m_a E_c \sin \omega_c t \sin \omega_m t$

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)] \text{ ત્રિકોણમિતિ સંબંધનો ઉપયોગ કરતાં,}$$

$$\begin{aligned} e &= E_c \sin \omega_c t + \frac{m_a}{2} E_c [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \\ &= E_c \sin \omega_c t + \frac{m_a}{2} E_c \cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{m_a}{2} E_c \cos(\omega_c + \omega_m)t. \end{aligned} \quad (8.7.1)$$



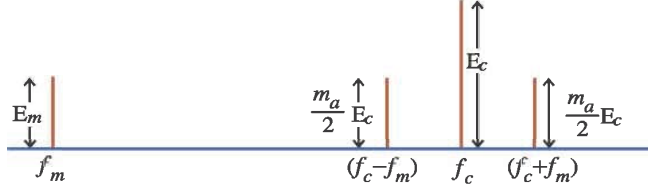
આકૃતિ 8.5 જુદા-જુદા મોડ્યુલેશન-અંક દર્શાવતા AM તરંગ

સમીકરણ (8.7.1) દર્શાવે છે કે, AM તરંગ એ ત્રણ પ્રકારની આવૃત્તિઓનું બનેલું છે.

(1) ω_c જે મૂળ કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ છે અને તેનો એમ્પ્લિટ્યૂડ E_c જેટલો છે.

(2) $\omega_c + \omega_m$ જે કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ કરતાં વધુ છે. તેને AM તરંગની ઉચ્ચ બાજુની આવૃત્તિ એટલે કે **Upper Side Band (USB)** આવૃત્તિ કહે છે.

(3) $\omega_c - \omega_m$ જે કેરિયર તરંગ કરતાં ઓછી આવૃત્તિ ધરાવે છે. તેને AM તરંગની નિમ્ન બાજુની આવૃત્તિ - **Lower Side Band (LSB)** આવૃત્તિ કહે છે.



આકૃતિ 8.6 AM તરંગનો ફ્રિક્વન્સી સ્પેક્ટ્રમ

USB અને LSB બંને પ્રકારની આવૃત્તિનો

એમ્પ્લિટ્યૂડ $\frac{m_a}{2} E_c$ જેટલો છે. આ Side Band આવૃત્તિઓ સંદેશાને Carry કરવામાં મહત્વનો ભાગ ભજવે છે. જે તમે ભવિષ્યમાં ભણશો.

મોડ્યુલેટિંગ તરંગ, કેરિયર તરંગ, LSB અને USB દર્શાવતો ફ્રિક્વન્સી સ્પેક્ટ્રમ આકૃતિ 8.6માં દર્શાવેલ છે.

ઉદાહરણ 1 : કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ 10 MHz અને તેનો એમ્પ્લિટ્યૂડ 10 V છે. તેનું 5kHz આવૃત્તિ અને 6V એમ્પ્લિટ્યૂડ ધરાવતા તરંગ દ્વારા એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન થાય છે.

(1) મોડ્યુલેશન-અંક ગણો. (2) LSB અને USBની આવૃત્તિ શોધો. (3) LSB અને USB નો એમ્પ્લિટ્યૂડ શોધો.

ઉકેલ : $f_c = 10 \text{ MHz}$, $f_m = 5 \text{ kHz} = 0.005 \text{ MHz}$

$E_c = 10 \text{ V}$, $E_m = 6 \text{ V}$

(1) મોડ્યુલેશન-અંક $m_a = \frac{E_m}{E_c} = \frac{6}{10} = 0.6$

(2) LSBની આવૃત્તિ $= f_c - f_m = 10 - 0.005 = 9.995 \text{ MHz}$

USBની આવૃત્તિ $= f_c + f_m = 10 + 0.005 = 10.005 \text{ MHz}$

(3) LSBનો એમ્પ્લિટ્યૂડ $= \frac{m_a}{2} E_c = \frac{0.6}{2} \times 10 = 3 \text{ V}$

આ જ રીતે USBનો એમ્પ્લિટ્યૂડ 3V થશે.

ઉદાહરણ 2 : 1 MHz આવૃત્તિવાળા કેરિયર તરંગનું એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન કરતા AM તરંગનું મહત્તમ મૂલ્ય 10 V અને લઘુત્તમ મૂલ્ય 6 V મળે છે. આ તરંગના મોડ્યુલેશન-અંકના ટકા શોધો. તેમજ મૂળ કેરિયર તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ શોધો.

ઉકેલ : $E_{max} = 10 \text{ V}$, $E_{min} = 6 \text{ V}$

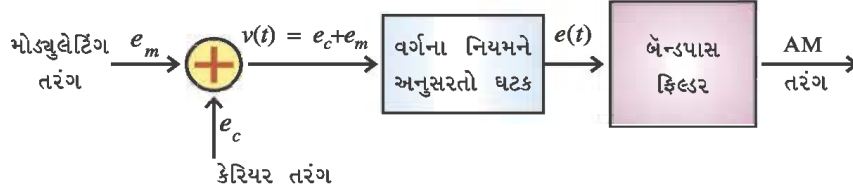
મોડ્યુલેશન-અંક $\% = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100 = \frac{10 - 6}{10 + 6} \times 100 = 25\%$

કેરિયર તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ $E_c = \frac{E_{max} + E_{min}}{2} = \frac{10 + 6}{2} = 8 \text{ V}$

8.8 AM તરંગનું ઉત્પાદન (Production of AM Wave)

જે વિદ્યુત-પરિપથ AM તરંગ ઉત્પન્ન કરે તેને એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટર કહે છે.

AM તરંગ મેળવવાની ઘણી રીતો છે. આકૃતિ 8.7માં AM તરંગ મેળવવાની એક સાદી રીતનો બ્લોક ડાયાગ્રામ દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 8.7 AM તરંગનું ઉત્પાદન

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ સૌપ્રથમ મોડ્યુલેટિંગ તરંગ e_m ને કેરિયર તરંગ e_c માં વિદ્યુત-પરિપથ દ્વારા ઉમેરવામાં આવે છે. આ પરિપથના આઉટપુટમાં $v(t)$ તરંગ મળે છે.

$$v(t) = e_c + e_m \quad (8.8.1)$$

આ $v(t)$ તરંગને વર્ગના નિયમને અનુસરતા એવા અરેખીય લાક્ષણિકતા ધરાવતા ઇલેક્ટ્રોનિક ઘટકને આપવામાં આવે છે. જે ઘટક ઓહ્મના નિયમને અનુસરતો ના હોય એટલે કે ઘટકમાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ અને વોલ્ટેજ વચ્ચેનો સંબંધ રેખીય ના હોય તેને અરેખીય ઘટક કહે છે. આવા અરેખીય ઘટકના આઉટપુટમાં મળતો વોલ્ટેજ

$$e(t) = av(t) + bv^2(t) + cv^3(t) + \dots$$

જ્યાં a , b અને c એ અચળાંક છે. ઉચ્ચ ઘાતવાળાં પદોને અવગણતાં,

$$e(t) = av(t) + bv^2(t)$$

સમીકરણ (8.8.1) પરથી,

$$\begin{aligned} e(t) &= a(e_c + e_m) + b(e_c + e_m)^2 \\ &= a(e_c + e_m) + b(e_c^2 + e_m^2 + 2e_c e_m) \\ &= a(E_c \sin \omega_c t + E_m \sin \omega_m t) + b(E_c^2 \sin^2 \omega_c t + E_m^2 \sin^2 \omega_m t + 2E_c E_m \sin \omega_c t \sin \omega_m t) \\ &= a(E_c \sin \omega_c t + E_m \sin \omega_m t) + bE_c^2 \left(\frac{1 - \cos 2\omega_c t}{2} \right) \\ &\quad + bE_m^2 \left(\frac{1 - \cos 2\omega_m t}{2} \right) + bE_c E_m [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \\ &= aE_c \sin \omega_c t + aE_m \sin \omega_m t + \frac{bE_c^2}{2} - \frac{bE_c^2}{2} \cos 2\omega_c t \\ &\quad + \frac{bE_m^2}{2} - \frac{bE_m^2}{2} \cos 2\omega_m t + bE_c E_m \cos(\omega_c - \omega_m)t - bE_c E_m \cos(\omega_c + \omega_m)t \end{aligned}$$

ઉપર્યુક્ત સમીકરણમાં $\frac{bE_c^2}{2}$, $\frac{bE_m^2}{2}$ જેવા DC ઘટકો અને ω_m , ω_c , $2\omega_m$, $\omega_c + \omega_m$ અને $\omega_c - \omega_m$ જેવી આવૃત્તિઓ આવેલી છે.

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ આ સિગ્નલને બેન્ડપાસ ફિલ્ટર (Band Pass Filter) માંથી પસાર કરવામાં આવે છે. બેન્ડ પાસ ફિલ્ટર એ DC ઘટકો, ω_m , $2\omega_m$ અને $2\omega_c$ આવૃત્તિઓને દૂર કરે છે અને તેના આઉટપુટમાં ફક્ત ω_c , $\omega_c + \omega_m$ અને $\omega_c - \omega_m$ આવૃત્તિ મળે છે.

$$\therefore e(t) = aE_c \sin \omega_c t + bE_c E_m \cos(\omega_c - \omega_m)t - bE_c E_m \cos(\omega_c + \omega_m)t \quad (8.8.1)$$

આ સમીકરણ એ AM તરંગના સમીકરણ જેવું જ છે. આ તરંગ-પ્રસરણ માટે સીધેસીધું એન્ટેનાને આપવામાં આવતું નથી, પરંતુ પાવર એમ્પ્લિફાયર દ્વારા જરૂરી ઊર્જા પૂરી પાડીને યોગ્ય લંબાઈની એન્ટેનાને આપવામાં આવે છે. જેથી એન્ટેનામાંથી શક્તિશાળી વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્સર્જિત થાય અને દૂરના અંતર સુધી જઈ શકે.

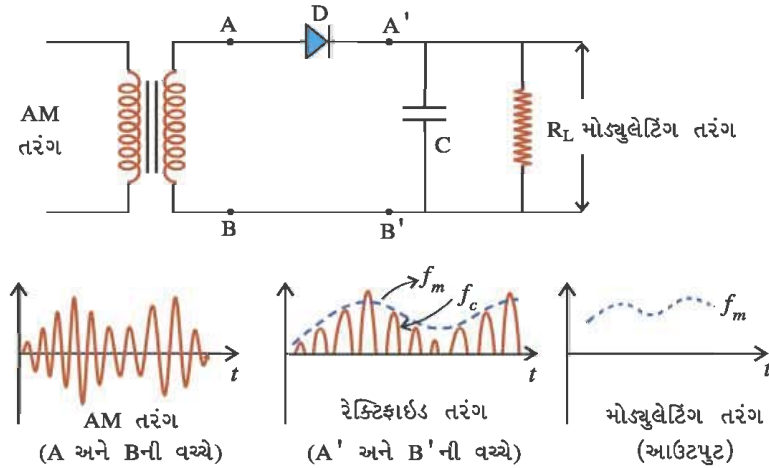
8.9 ડિમોડ્યુલેશન (Demodulation)

રેડિયો ટ્રાન્સમીટરમાંથી ઉત્સર્જિત થયેલ AM તરંગ જ્યારે રિસીવર એન્ટેનાના સંપર્કમાં આવે છે, ત્યારે તેનું વિદ્યુત-સિગ્નલમાં રૂપાંતર થાય છે. આ વિદ્યુત-સિગ્નલ AM તરંગ જ હોય છે.

સામાન્ય રીતે રિસીવરમાં સૌપ્રથમ આ સિગ્નલને એમ્પ્લિફાયર દ્વારા વિવર્ધિત કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ આ AM તરંગ સાથે ઉચ્ચ આવૃત્તિવાળા બીજા તરંગને મિશ્ર (Mixed) કરી AM તરંગના કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ નીચી કરવામાં આવે છે. આ આવૃત્તિને વચગાળાની આવૃત્તિ (Intermediate Frequency – IF) કહે છે. IF પણ AM તરંગ જ છે. તેમાં મૂળ AM તરંગના જ સંદેશાઓ સમાયેલા હોય છે.

રિસીવરનું મુખ્ય કાર્ય આ તરંગમાં રહેલા માહિતીના સિગ્નલોને કેરિયર તરંગથી જુદા પાડવાનું છે, જેને **ડિમોડ્યુલેશન પ્રક્રિયા** કહે છે. આ પ્રક્રિયા મોડ્યુલેશન પ્રક્રિયાથી ઊલટી (Reverse) છે.

જે વિદ્યુત-પરિપથ આ તરંગોને છૂટા પાડવાનું કાર્ય કરે છે. તેને **ડિમોડ્યુલેટર-પરિપથ** અથવા **ડિટેક્ટર (Detector) પરિપથ** કહે છે. ડાયોડનો ઉપયોગ કરી બનાવેલો સાદો ડિટેક્ટર-પરિપથ આકૃતિ 8.8માં દર્શાવ્યો છે. પરિપથમાં ડાયોડ D અર્ધતરંગ રેક્ટિફાયર અને R_L એ ફિલ્ટર-પરિપથ રહે છે. AM તરંગના ધન અર્ધચક્ર દરમિયાન ડાયોડમાંથી પ્રવાહ વહે છે અને ઋણ અર્ધચક્ર દરમિયાન પ્રવાહ વહેતો નથી. બિંદુઓ A' અને B' વચ્ચે AM તરંગના રેક્ટિફાઈ થયેલાં તરંગો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા છે.



આકૃતિ 8.8 ડાયોડ ડિટેક્ટર-પરિપથ

આ રેક્ટિફાઈડ તરંગનું આવરણ (Envelope) એ આપણી માહિતીનું સિગ્નલ (f_m) છે. RC ફિલ્ટર-પરિપથ દ્વારા f_m ને કેરિયર તરંગથી છૂટી પાડીને એમ્પ્લિફાયરને આપવામાં આવે છે. એમ્પ્લિફાયરનો આઉટપુટ લાઉડસ્પીકર સાથે જોડતાં મૂળ માહિતીના સિગ્નલો ધ્વનિ-તરંગો રૂપે સાંભળવા મળે છે.

8.10 વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું પ્રસરણ (Propagation of Electromagnetic Waves)

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનો ઉપયોગ રેડિયો, ટીવી, સેલફોન જેવા કમ્યૂનિકેશન તંત્રમાં થાય છે. ટ્રાન્સમીટરના એન્ટેનામાંથી ઉત્સર્જિત થયેલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ અવકાશમાં ચારેબાજુ પ્રકાશના વેગથી પ્રસરણ પામે છે. આ તરંગોના પ્રસરણ પર પૃથ્વીના વાતાવરણની પણ અસર થાય છે.

ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેનામાંથી વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્સર્જિત થઈ જુદી-જુદી રીતે અવકાશમાં પ્રસરણ પામી રિસીવર સુધી પહોંચે છે.

(1) પૃથ્વીની સપાટીને વળગીને પ્રસરણ પામતા તરંગો જેને **પૃષ્ઠ-તરંગ** અથવા **ગ્રાઉન્ડવેવ (Ground Wave)** કહે છે.

(2) ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેનાથી સીધા માર્ગે ગતિ કરીને અથવા જમીનથી પરાવર્તિત થઈ રિસીવર સુધી પ્રસરણ પામતાં તરંગો જેને **સ્પેઈસવેવ (Space Wave)** કહે છે.

(3) પૃથ્વીની સપાટીથી આશરે 60 km થી 300 km અંતરે આવેલા આયનોસ્ફિયર દ્વારા પરાવર્તિત થઈ ટ્રાન્સમીટરથી દૂરના અંતરે આવેલા રિસીવર સુધી પ્રસરણ પામતાં તરંગો જેને **સ્કાયવેવ (Sky Wave)** કહે છે.

આ દરેક પ્રકારના પ્રસરણમાં માધ્યમની વાહકતા, પરમિટિવિટી, પરમિએબિલિટી અને વક્રીભવનાંક અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.

8.10.1 ગ્રાઉન્ડવેવ પ્રસરણ અથવા પૃષ્ઠ તરંગ-પ્રસરણ (Ground wave Propagation or Surface wave Propagation) : આ પ્રકારના પ્રસરણમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો પૃથ્વીની સપાટીની નજીક રહી પ્રસરણ પામે છે. આથી તેને ગ્રાઉન્ડવેવ પ્રસરણ કહે છે. પૃથ્વી અને વાતાવરણની વિદ્યુતલાક્ષણિકતાઓ અલગ-અલગ હોવાથી આ તરંગો પૃથ્વીની વક્રસપાટીને અનુસરીને ટ્રાન્સમીટરથી રિસીવર સુધી પહોંચે છે. જ્યારે ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેના અને રિસીવર પૃથ્વીની સપાટીની નજીક હોય ત્યારે ગ્રાઉન્ડવેવ પ્રસરણ શક્ય છે.

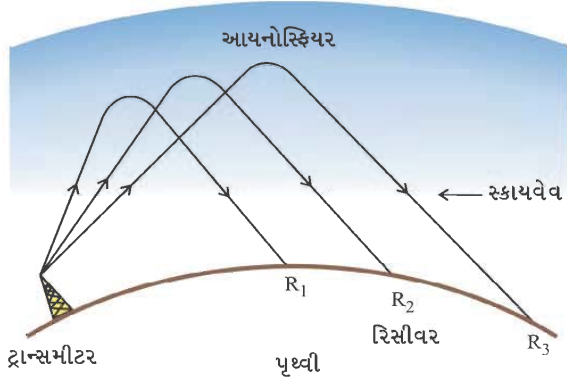
ગ્રાઉન્ડવેવના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના વિદ્યુતક્ષેત્રને લીધે પૃથ્વીની સપાટી પર વિદ્યુતભાર ઉદ્ભવે છે. તરંગ-પ્રસરણ દરમિયાન આ વિદ્યુતભાર પણ ગતિ કરે છે, જે વિદ્યુતપ્રવાહ રચે છે.

વાસ્તવમાં પૃથ્વીને અનંત વાહકતા હોતી નથી. કોઈ જગ્યાએ જમીન રેતાળ હોય છે, તો કોઈ સ્થાને તે ખડકો-પથ્થરવાળી હોય છે. આમ, વિવિધ મૂલ્યની વાહકતાવાળા માધ્યમ દ્વારા ગ્રાઉન્ડવેવનું પ્રસરણ થાય છે. તેથી તેની ઊર્જા, માધ્યમની વાહકતાને આધારે ક્ષીણ થતી જાય છે.

આ ઉપરાંત તરંગના વિદ્યુતક્ષેત્રની તીવ્રતા પણ તેણે કાપેલા અંતરના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં ઘટે છે. તરંગ ઊર્જાનું શોષણ તેની આવૃત્તિ પર પણ આધાર રાખે છે. ઊંચી આવૃત્તિના તરંગ માટે ઊર્જાનું શોષણ વધારે થાય છે. આથી, 2MHz થી ઊંચી આવૃત્તિવાળા તરંગો ગ્રાઉન્ડવેવ દ્વારા લાંબા અંતર સુધી પ્રસરણ પામી શકતા નથી.

AM રેડિયોમાં MW (Medium Wave) બેન્ડ પરથી પ્રસારિત થતી આવૃત્તિ (550 kHz – 1600 kHz)નું પ્રસરણ ગ્રાઉન્ડવેવ દ્વારા થાય છે.

8.10.2 સ્કાયવેવ પ્રસરણ (Skywave Propagation) : 2 MHz થી 30 MHz આવૃત્તિ ધરાવતા રેડિયો-તરંગોનું પ્રસરણ સ્કાયવેવ દ્વારા થાય છે. ટ્રાન્સમિશનમાંથી ઉદ્ભવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો પૃથ્વીની સપાટીથી આશરે 80 – 300 km ઊંચાઈએ આવેલા આયનોસ્ફિયર દ્વારા પરાવર્તિત થઈ પૃથ્વી પર પાછા આવે છે. આ તરંગો દૂરના અંતરે આવેલા રિસીવર દ્વારા ઝીલી શકાય છે. (જુઓ આકૃતિ 8.9). આમ, આયનોસ્ફિયર આ રેડિયો-તરંગો માટે ‘Mirror’ તરીકે વર્તે છે.



આકૃતિ 8.9 આયનોસ્ફિયર

વિકિરણથી આયનીકરણ થતું હોવાથી જુદી-જુદી ઊંચાઈએ આયનસ્તરો રચાય છે. દિવસ દરમિયાન આયનોસ્ફિયરમાં D, E, F₁ અને F₂ એમ ચાર સ્તરો હોય છે.

દિવસ દરમિયાન D સ્તર 65-75 km ઊંચાઈએ, E સ્તર આશરે 100 km ઊંચાઈએ, F₁ સ્તર 170-190 km ઊંચાઈએ અને F₂ સ્તર 250-400 km ઊંચાઈએ હોય છે.

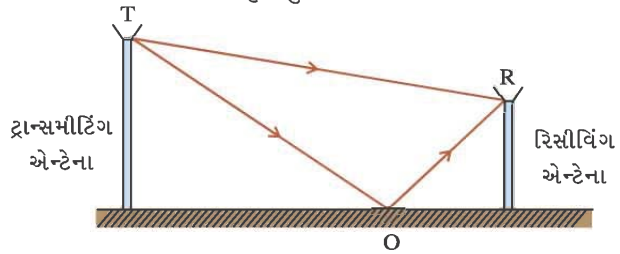
રાત્રિ દરમિયાન સૂર્યની ગેરહાજરીને લીધે D અને E સ્તરો અદૃશ્ય થઈ જાય છે. E અને F₁ સ્તર એ F₂ સ્તરમાં ભળી જાય છે.

આ ચારેય સ્તરોની ઇલેક્ટ્રોનઘનતા અલગ-અલગ હોય છે. આથી, આયનોસ્ફિયર જુદી-જુદી આવૃત્તિઓનું જુદી-જુદી ઊંચાઈએથી પરાવર્તન કરે છે. 2MHzથી 30 MHz વચ્ચેની આવૃત્તિઓ આયનોસ્ફિયરમાં જુદી-જુદી ઊંચાઈએથી પૂર્ણઆંતરિક પરાવર્તનની ઘટના દ્વારા પરાવર્તિત થઈ પૃથ્વી પર ટ્રાન્સમીટરથી દૂર આવેલા રિસીવરમાં મેળવી શકાય છે. 30 MHzથી ઊંચી આવૃત્તિઓ પરાવર્તન પામતી નથી અને આયનોસ્ફિયરને ભેદીને અવકાશમાં જતી રહે છે.

આયનોસ્ફિયર દ્વારા રેડિયો, બ્રોડકાસ્ટની SW બેન્ડ (Short Wave Band)ની આવૃત્તિઓનું પ્રસારણ દૂરના અંતર સુધી થઈ શકે છે.

8.10.3 સ્પેસવેવ અથવા ટ્રોપોસ્ફેરિક તરંગ-પ્રસરણ (Space Wave or Tropospheric Wave Propagation) : 30 MHzથી વધુ આવૃત્તિવાળાં તરંગો આયનોસ્ફિયરથી પરાવર્તિત થઈ શકતા નથી તેમજ આટલી ઊંચી આવૃત્તિ માટે ગ્રાઉન્ડવેવ પ્રસરણ પણ શક્ય નથી. આવી ઉચ્ચ આવૃત્તિનું પ્રસરણ સ્પેસવેવ દ્વારા થાય છે.

રિસીવર અને ટ્રાન્સમીટર વચ્ચેનું અંતર ઓછું હોય ત્યારે પૃથ્વીની વક્રતાને આપણે અવગણી શકીએ. આ સંજોગોમાં આકૃતિ 8.10માં દર્શાવ્યા મુજબ ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેનાથી રિસીવર એન્ટેના સુધી તરંગો બે અલગ અલગ માર્ગે પહોંચે છે :

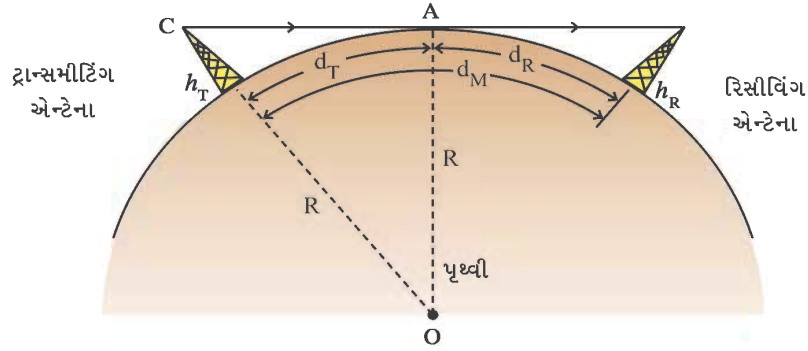


આકૃતિ 8.10

- (1) એન્ટેના Tમાંથી પ્રસારિત થતું તરંગ સીધા માર્ગે ગતિ કરીને રિસીવર સુધી જાય છે. (તરંગ TR)
- (2) એન્ટેના Tથી પ્રસારિત થઈ પૃથ્વીની સપાટી પર O આગળથી પરાવર્તિત થઈ રિસીવર સુધી જાય છે. (તરંગ TOR)

રિસીવર એન્ટેના આગળ મળતી ક્ષેત્રતીવ્રતા આ બે તરંગોના ક્ષેત્રથી મળતા સદિશ સરવાળા જેટલી હોય છે. બંને તરંગોનું સ્પેસ દ્વારા થતું તનુકરણ (Attenuation) અવગણી શકાય તેટલું ઓછું હોય છે. ફક્ત તેમના એમ્પ્લિટ્યૂડ (કંપવિસ્તાર) અંતરના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં ઘટે છે.

ટ્રાન્સમીટર એન્ટેના અને રિસીવર એન્ટેના વચ્ચેનું અંતર મોટું હોય તો પૃથ્વીની વક્રતા આ સ્પેસવેવ પ્રસરણમાં અડચણરૂપ બને છે. કારણ કે રેડિયો-તરંગો સીધી દૃષ્ટિરેખાથી (Line of Sight) નક્કી થતાં અંતર સુધી જ ઝીલી શકાય છે.



આકૃતિ 8.11 લાઈન ઓફ સાઈટ (Line of Sight) કમ્યૂનિકેશન

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ એન્ટેનાની ઊંચાઈ h_T છે. અને તેમાંથી પ્રસારિત થતા તરંગો સુરેખ માર્ગે ગતિ કરી પૃથ્વીની વક્રસપાટીના, એન્ટેનાથી d_T અંતરે આવેલા બિંદુ A સુધી મેળવી શકાય છે. તે પછીના વિસ્તારમાં આવેલા રિસીવરમાં આ તરંગો મેળવી શકાતા નથી. આ પ્રકારના પ્રસરણને Line of Sight (LOS) કમ્યૂનિકેશન કહે છે. d_T ને દૃષ્ટિરેખા અંતર અથવા કમ્યૂનિકેશન-અવધિ અથવા Radio Horizon કહે છે.

જો પૃથ્વીની ત્રિજ્યા R હોય તો, $OA = R$, $OC = h_T + R$ આકૃતિની ભૂમિતિ પરથી,

$$OC^2 = AC^2 + OA^2$$

$$(h_T + R)^2 = d_T^2 + R^2 \quad (\because h_T \ll d_T)$$

$$\therefore d_T^2 = h_T^2 + 2h_TR$$

પરંતુ, $h_T \ll R$ હોવાથી $2h_TR$ ની સાપેક્ષે h_T ને અવગણતા

$$d_T = \sqrt{2h_TR} \quad (8.10.1)$$

જો ટ્રાન્સમિટિંગ એન્ટેનાની ઊંચાઈ h_T અને રિસીવિંગ એન્ટેનાની ઊંચાઈ h_R હોય તો મળતી મહત્તમ કમ્યૂનિકેશન-અવધિ નીચેના સૂત્ર દ્વારા આપી શકાય છે.

$$d_M = \sqrt{2h_TR} + \sqrt{2h_RR} \quad (8.10.2)$$

સમીકરણ પરથી સ્પષ્ટ છે કે, એન્ટેનાની ઊંચાઈ વધારવામાં આવે તો દૃષ્ટિરેખા (line of sight) અંતર વધે છે. આથી તરંગોના પ્રસરણનો વિસ્તાર પણ વધે છે. ટેલિવિઝન બ્રોડકાસ્ટ અને માર્કોવેવ કમ્યૂનિકેશન માટે ટ્રાન્સમિટિંગ એન્ટેના કેમ શક્ય તેટલી ઊંચી જગ્યાએ રાખવામાં આવે છે તે હવે સમજી શકાશે. પ્રસારણ ક્ષેત્ર મોટું કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમ્સ

કરવું હોય, તો ક્ષિતિજે રહેલા રિસીવરના સ્થળે રિપીટર અથવા બુસ્ટર ટ્રાન્સમિટરની મદદથી સંદેશાઓને રિલે કરવા પડે. આવાં ઘણાં બધાં રીલેમથકો દ્વારા કાર્યક્રમોને દૂરદૂરના અંતરે મોકલી પ્રસારણક્ષેત્ર વિસ્તારી શકાય છે.

VHF બેન્ડ (30 MHz – 300 MHz), UHF બેન્ડ તેમજ માઈક્રોવેવ જેવા ઉચ્ચ આવૃત્તિ ધરાવતાં તરંગોનું પ્રસરણ સ્પેસ વેવ દ્વારા થાય છે. ટીવી ટ્રાન્સમીટર કે FM રેડિયો-સ્ટેશન દ્વારા પ્રસારિત થતા તરંગો સ્પેસવેવ દ્વારા પ્રસરણ પામી આપણા રિસીવર સુધી પહોંચે છે.

ઉદાહરણ 3 : એક ટીવી ટાવરની ઊંચાઈ 100 m છે. સરેરાશ વસ્તીઘનતા $1000 / \text{km}^2$ હોય, તો કેટલા લોકો આ ટીવી-સ્ટેશનના પ્રોગ્રામ નિહાળી શકશે? (પૃથ્વીની ત્રિજ્યા = $6.4 \times 10^6 \text{ m}$)

ઉકેલ : $h_T = 100 \text{ m}$, $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$

$$\text{વસ્તી ઘનતા} = 1000 \text{ km}^{-2} = 1000 \times (10^3)^{-2} = 10^{-3} \text{ m}^{-2}$$

ટીવી-તરંગોના પ્રસરણના વિસ્તારનું

$$\begin{aligned} \text{ક્ષેત્રફળ} &= \pi(d_T)^2 = \pi(\sqrt{2h_TR})^2 = 2\pi h_TR = 2 \times 3.14 \times 100 \times 6.4 \times 10^6 \\ &= 40.192 \times 10^8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ટીવી પ્રોગ્રામ નિહાળી શકતા લોકોની સંખ્યા

$$= 10^{-3} \times 40.192 \times 10^8 = 40.192 \times 10^5 (= 40.192 \text{ laks})$$

ઉદાહરણ 4 : એક ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેના 50 m ઊંચા ટાવર પર મૂકેલ છે અને રિસીવિંગ એન્ટેના 32 m ઊંચાઈએ છે. આ બંને એન્ટેના વચ્ચે સંતોષકારક રીતે Line of Sight થી કમ્યુનિકેશન થવા માટે મહત્તમ અંતર કેટલું હોવું જોઈએ ? પૃથ્વીની ત્રિજ્યા $R = 6400 \text{ km}$.

ઉકેલ : $h_R = 32 \text{ m}$, $h_T = 50 \text{ m}$, $R = 6400 \times 10^3 \text{ m}$

$$\begin{aligned} d_M &= \sqrt{2h_TR} + \sqrt{2h_RR} = \sqrt{2 \times 50 \times 6400 \times 10^3} + \sqrt{2 \times 32 \times 6400 \times 10^3} \\ &= 25.29 \times 10^3 + 20.23 \times 10^3 = 45.5 \text{ km} \end{aligned}$$

સારાંશ

1. કમ્યુનિકેશન સિસ્ટમના મુખ્ય ઘટકો :

(1) ટ્રાન્સમીટર (2) ટ્રાન્સમિશન ચેનલ (3) રિસીવર

2. **ટ્રાન્સડ્યૂસર :** જે ઉપકરણ એક પ્રકારની ઊર્જાનું બીજા પ્રકારની ઊર્જામાં રૂપાંતરણ કરી શકે તેને ટ્રાન્સડ્યૂસર કહે છે.

3. **ટ્રાન્સમિશન ચેનલ :** ટ્રાન્સમિશન ચેનલ એ ટ્રાન્સમીટર અને રિસીવરને જોડતું માધ્યમ છે. આ માધ્યમ દ્વારા સંદેશાઓ પ્રસારિત પામી રિસીવર સુધી પહોંચે છે.

4. **Noise :** એ એક અનિચ્છનીય સિગ્નલ છે, જે ટ્રાન્સમિશન ચેનલમાં માહિતીના સિગ્નલો સાથે ભળીને તેને વિકૃત કરે છે.

5. **સિગ્નલ :** ટ્રાન્સમિશન માટે માહિતીના સિગ્નલને વિદ્યુતતરંગમાં રૂપાંતર કરવામાં આવે છે, તેને સિગ્નલ કહે છે. સિગ્નલ બે પ્રકારના હોય છે : (1) એનેલોગ સિગ્નલ (2) ડિજિટલ સિગ્નલ.

6. **બેન્ડવીડ્થ :** કમ્યુનિકેશન તંત્ર જે મહત્તમ આવૃત્તિ અને નિમ્ન આવૃત્તિ વચ્ચેની આવૃત્તિને ટ્રાન્સમીટ કરવાને સક્ષમ હોય તેને તંત્રની બેન્ડવીડ્થ કહે છે. ઓડિયો સિગ્નલની બેન્ડવીડ્થ 20 kHz અને વીડિયો સિગ્નલની બેન્ડવીડ્થ 4.2 MHz જેટલી હોય છે.

7. **મોડ્યુલેશન :** નિમ્ન આવૃત્તિવાળા ઓડિયો સિગ્નલને ઉચ્ચ આવૃત્તિ ધરાવતા તરંગ પર સંપાત કરવાની પ્રક્રિયાને મોડ્યુલેશન કહે છે.

નિમ્ન આવૃત્તિવાળા તરંગને મોડ્યુલેટિંગ તરંગ, ઉચ્ચ આવૃત્તિવાળા તરંગને કેરિયર તરંગ કહે છે. પરિણામી તરંગને મોડ્યુલેટેડ તરંગ કહે છે.

મોડ્યુલેશનના ત્રણ પ્રકાર છે :

(1) એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન (AM) (2) ફ્રિક્વન્સી મોડ્યુલેશન (FM) (3) ફેઝ મોડ્યુલેશન (PM)

8. **એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન :** જે મોડ્યુલેશનમાં કેરિયર તરંગનું એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટિંગ તરંગના તાત્કાલિક મૂલ્યના સમપ્રમાણમાં બદલાતું હોય તેને એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન કહે છે. આ મોડ્યુલેશનમાં કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ અને ફેઝ અચળ રહે છે. મોડ્યુલેશન-અંક : મોડ્યુલેટિંગ તરંગના એમ્પ્લિટ્યૂડ અને કેરિયર તરંગના એમ્પ્લિટ્યૂડના ગુણોત્તરને મોડ્યુલેશન-અંક કહે છે.

$$m_a = \frac{E_m}{E_c}$$

m_a નું મૂલ્ય 1 કરતાં ઓછું હોય છે.

9. **ડિમોડ્યુલેશન :** મોડ્યુલેટેડ તરંગમાંથી માહિતીના સિગ્નલોને કેરિયર તરંગમાંથી છૂટા પાડવાની ક્રિયાને ડિમોડ્યુલેશન કહે છે. આ પ્રક્રિયા રિસીવરમાં થાય છે.

જે વિદ્યુત-પરિપથ ડિમોડ્યુલેશન પ્રક્રિયા કરે છે. તેને ડિટેક્ટર પરિપથ કહે છે.

10. **વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું પ્રસરણ :**

(1) પૃથ્વીની સપાટીને વળગીને પ્રસરણ પામતા તરંગોને ગ્રાઉન્ડવેવ અથવા પૃષ્ઠતરંગ કહે છે. આ વેવ દ્વારા 2 MHz આવૃત્તિ સુધીના તરંગોનું પ્રસરણ શક્ય છે. (2) પૃથ્વીની સપાટીથી આશરે 60 – 400 km ઊંચાઈએ આવેલા આયનોસ્ફિયર દ્વારા પરાવર્તિત થઈ દૂરના અંતર સુધી પ્રસારણ પામતાં તરંગોને સ્કાયવેવ કહે છે. સ્કાયવેવ દ્વારા 2 MHz થી 30 MHz આવૃત્તિવાળા તરંગોનું પ્રસરણ શક્ય છે. (3) ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેનાથી સીધા માર્ગે ગતિ કરીને અથવા જમીનથી પરાવર્તિત થઈ રિસીવર સુધી પ્રસરણ પામતા તરંગોને સ્પેસવેવ કહે છે. 30 MHz થી વધુ આવૃત્તિવાળા તરંગનું પ્રસરણ સ્પેસવેવ દ્વારા થાય છે.

સ્વાધ્યાય

નીચેનાં વિધાનો માટે આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

1. 100 MHz આવૃત્તિવાળા તરંગનું ક્ષમતાપૂર્વક વિકિરણ કરવા માટે એન્ટેનાની લંબાઈ ઓછામાં ઓછી હોવી જોઈએ.

(A) 3 m

(B) $\frac{3}{4}$ m

(C) 10 m

(D) 100 m

2. નીચેનામાંથી કયો વિકલ્પ ટ્રાન્સમિશન ચેનલ નથી ?

(A) કોએક્સિઅલ કેબલ

(B) ઓપ્ટિકલ ફાઈબર

(C) મુક્ત અવકાશ

(D) રિસીવર

3. એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન દ્વારા 3 kHz આવૃત્તિવાળા સિગ્નલને પ્રસારિત કરવું હોય, તો નીચે દર્શાવેલ આવૃત્તિઓમાંથી કઈ આવૃત્તિ કેરિયર તરંગ તરીકે લઈ શકાય ?

- (A) 30 Hz (B) 300 Hz (C) 3000 Hz (D) 3 MHz

4. કમ્યૂનિકેશન તંત્રના કયા વિભાગમાં માહિતીના સિગ્નલો સાથે Noise ના સિગ્નલો ભળે છે?

- (A) ટ્રાન્સમીટર (B) રિસીવર (C) કમ્યૂનિકેશન ચેનલ (D) માહિતીનું ઉદ્ગમસ્થાન

5. ઓપ્ટિકલ ફાઈબર કમ્યૂનિકેશન તંત્રની બેન્ડવીડ્થ આશરે હોય છે.

- (A) 10 GHz (B) 100 GHz (C) 1 GHz (D) 1 THz

6. એક ટીવી ટ્રાન્સમીટર ટાવરની ઊંચાઈ બમણી કરવામાં આવે, તો ટ્રાન્સમીટર દ્વારા આવરી લેતો વિસ્તાર

- (A) બમણો થાય. (B) ચાર ગણો થાય. (C) ત્રણ ગણો થાય. (D) કોઈ ફેરફાર થાય નહીં.

7. એક ટીવી ટ્રાન્સમીટરના પ્રોગ્રામ 16 km ત્રિજ્યાવાળા વર્તુળાકાર વિસ્તાર સુધી નિહાળી શકાય તે માટે તેના ટ્રાન્સમીટિંગ એન્ટેના કેટલી ઊંચાઈએ મૂકવા જોઈએ ? ($R = 6400$ km)

- (A) 0.02 km (B) 0.2 km (C) 0.1 km (D) 2 km

8. મોડ્યુલેશન પ્રક્રિયા કમ્યૂનિકેશન સિસ્ટમમાં વિભાગમાં અને ડિમોડ્યુલેશન પ્રક્રિયા વિભાગમાં થાય છે.

- (A) ટ્રાન્સમીટર, રિસીવર (B) રિસીવર, ટ્રાન્સમીટર
(C) ટ્રાન્સમિશન ચેનલ, રિસીવર (D) ટ્રાન્સમીટર, ટ્રાન્સમિશન ચેનલ

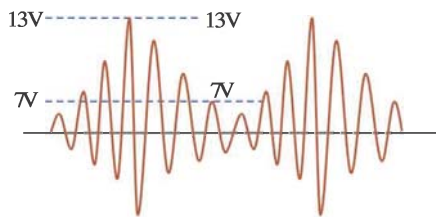
9. ઓડિયો સિગ્નલની આવૃત્તિનો વિસ્તાર છે.

- (A) 0 to 20 kHz (B) 20 Hz to 20 kHz
(C) 2 Hz to 20 kHz (D) 20 Hz to 200 kHz

10. એન્ટેનામાંથી વિકેન્દ્રિત થતો પાવર ના પ્રમાણમાં હોય છે.

- (A) λ (B) $\frac{1}{\lambda}$ (C) $\frac{1}{\lambda^2}$ (D) λ^2

11. આકૃતિમાં દર્શાવેલ AM તરંગોનો મોડ્યુલેશન-અંક કેટલો હશે?



- (A) 6 % (B) 20 %
(C) 30 % (D) 50 %

12. 2 MHz આવૃત્તિવાળું કેરિયર તરંગ 2 kHz આવૃત્તિવાળા મોડ્યુલેટિંગ તરંગથી એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટ થાય, તો AM તરંગમાં કઈ આવૃત્તિઓ હશે?

- (A) 2 MHz, 2 kHz (B) 2 kHz, 2.002 MHz, 1.998 MHz
(C) 2 MHz, 2.002 MHz, 1.998 MHz (D) 2.002 MHz, 1.998 MHz

જવાબો

1. (B) 2. (D) 3. (D) 4. (C) 5. (B) 6. (A)
7. (A) 8. (A) 9. (B) 10. (C) 11. (C) 12. (C)

નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ ટૂંકમાં આપો :

1. ટ્રાન્સડ્યુસર એટલે શું ? તેનું એક ઉદાહરણ આપો.
2. Noise એટલે શું ? કુદરતી Noiseનું ઉદાહરણ આપો.
3. મોડ્યુલેશનના પ્રકાર જણાવો.
4. ટેલિફોન કમ્યુનિકેશન તંત્રની બેન્ડવીડ્થ જણાવો.
5. વીડિયો સિગ્નલની આવૃત્તિનો ગાળો જણાવો.
6. ડિમોડ્યુલેશન એટલે શું ? આ પ્રક્રિયા કમ્યુનિકેશનના કયા વિભાગમાં થાય છે ?
7. આયનોસ્ફિયરનાં ચાર સ્તરોનાં નામ જણાવો.
8. સ્પેસવેવ કોને કહે છે ?
9. કમ્યુનિકેશન-અવધિ કોને કહે છે ?
10. ગ્રાઉન્ડવેવ દ્વારા કઈ આવૃત્તિનું પ્રસરણ શક્ય છે ?

નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

1. કમ્યુનિકેશન સિસ્ટમનો બ્લોક-ડાયાગ્રામ દોરો અને દરેક બ્લોક વિશે ટૂંકમાં સમજાવો.
2. મોડ્યુલેશન એટલે શું ? કમ્યુનિકેશન તંત્રમાં મોડ્યુલેશનનું મહત્વ જણાવો.
3. એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેશન સમજાવો. એમ્પ્લિટ્યૂડ મોડ્યુલેટેડ તરંગની તરંગાકૃતિઓ દોરો.
4. AM તરંગ કઈ રીતે ઉત્પન્ન કરી શકાય? તેની કોઈ એક રીતની ચર્ચા કરો.
5. ટૂંક નોંધ લખો : આયનોસ્ફિયર
6. ટ્રાન્સમીટરની ઉંચાઈ (h_t) અને કમ્યુનિકેશન-અવધિ (d) વચ્ચેનો સંબંધ મેળવો.

નીચેના દાખલા ગણો :

1. એક FM રેડિયો-સ્ટેશનના કાર્યક્રમો 3140 km^2 વર્તુળાકાર ક્ષેત્રફળમાં રહેતા લોકો માણી શકે, તે માટે રેડિયો-સ્ટેશનના એન્ટેનાની ઊંચાઈ કેટલી રાખવી જોઈએ ? ($R = 6400 \text{ km}$) [જવાબ : 78.125 m]
2. એક TV ટ્રાન્સમીટરના એન્ટેનાની ઊંચાઈ 81 m છે. આ ટ્રાન્સમીટર કેટલા ક્ષેત્રફળ ધરાવતા વિસ્તારમાં કાર્યક્રમોનું પ્રસારણ કરી શકશે ? [જવાબ : 3255.552 km^2]
3. કેરિયર તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ 12 V છે. જો AM તરંગનો મોડ્યુલેશન અંક 75% જેટલો હોય તો મોડ્યુલેટેડ તરંગનો એમ્પ્લિટ્યૂડ કેટલો રાખવો પડે ? [જવાબ : 9 V]
4. AM તરંગનું સમીકરણ $e = 100(1 + 0.6 \sin 6280t) \sin 2\pi \times 10^6 t$ છે.
(i) મોડ્યુલેશન અંક (ii) કેરિયર તરંગની આવૃત્તિ (iii) મોડ્યુલેટેડ તરંગની આવૃત્તિ અને (iv) LSB અને USBની આવૃત્તિ શોધો.

[જવાબ : (i) 0.6 (ii) 1 MHz (iii) 1 kHz (iv) 0.999 MHz, 1.001 MHz]

ઉકેલ

પ્રકરણ 1

1. આકૃતિમાં દર્શાવેલ નેટવર્ક સંતુલિત વીરનબ્રિજ હોવાથી નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ $R^1 = 3 \Omega$ લૂપનો અવરોધ 1Ω હોવાથી,

પરિપથનો અસરકારક અવરોધ $R = 3 + 1 = 4 \Omega$ થશે.

લૂપમાં પ્રેરિત emf, $\mathcal{E} = Blv$

લૂપમાં પ્રવાહ $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{Blv}{R}$

$$\Rightarrow v = \frac{IR}{Bl} \text{ પરથી } v \text{ શોધો.}$$

2. ચુંબકીય ક્ષેત્ર ગૂંચળાના પૃષ્ઠને લંબ હોવાથી, $\therefore \theta = 0^\circ$

\therefore ચુંબકીય ફ્લક્સ $\phi = AB\cos 0 = AB$

$B_1 = 0.1 \text{ Wbm}^{-2}$ હોય, ત્યારે પ્રારંભિક ફ્લક્સ $\phi_1 = AB_1$

$B_2 = 0.2 \text{ Wbm}^{-2}$ થાય, ત્યારે અંતિમ ફ્લક્સ $\phi_2 = AB_2$

ફ્લક્સનો ફેરફાર $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = A(B_2 - B_1)$

સરેરાશ પ્રેરિત emf $\langle \mathcal{E} \rangle = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ સૂત્રનો ઉપયોગ કરી ગણો.

3. (i) 0° થી 90° ભ્રમણ દરમિયાન,

$$\phi_1 = BA\cos 0^\circ = BA$$

$$\phi_2 = BA\cos 90^\circ = 0$$

$$\text{સરેરાશ પ્રેરિત emf } \langle \mathcal{E} \rangle = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{t}$$

$$t = \frac{T}{4} \text{ મૂકતાં} \quad = -\frac{N(0 - BA)}{\left(\frac{T}{4}\right)} = \frac{4NBA}{T}$$

- (ii) $(90^\circ \text{ થી } 180^\circ)$ ભ્રમણ દરમિયાન,

$$\phi_1 = BA\cos 90^\circ = 0, \phi_2 = BA\cos 180^\circ = -BA, t = \frac{T}{4}$$

$$\langle \mathcal{E} \rangle = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{N(0 - BA)}{\left(\frac{T}{4}\right)},$$

$$\langle \mathcal{E} \rangle = \frac{+4NBA}{T}$$

તે જ પ્રમાણે (iii) અને (iv)ના કિસ્સામાં પ્રેરિત $\langle \mathcal{E} \rangle = \frac{-4NBA}{T}$ મળશે.

4. તારથી x અંતરે, dx પહોળાઈનો અને b લંબાઈનો એક પૃષ્ઠખંડ કલ્પો.

તારથી x અંતરે, I પ્રવાહધારિત લાંબા તારને કારણે ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર, $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$

ઉપર્યુક્ત પૃષ્ઠખંડ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ,

$$d\phi = AB = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} (b dx)$$

લૂપ સાથે સંકળાયેલ કુલ ચુંબકીય ફ્લક્સ શોધવા માટે $d\phi$ નું $x = a$ થી $x = L + a$ વચ્ચે સંકલન કરો.

5. $l = 2 \text{ m}$, $d = 20 \text{ m}$, $B = 0.7 \times 10^{-4} \text{ T}$

એન્ગલ ઓફ ડિપ $\phi = 60^\circ$

ગતિના સમીકરણ $v^2 = 2gd$ નો ઉપયોગ કરી સળિયાનો વેગ (v) શોધો.

$$B_h = B \cos \phi = (0.7 \times 10^{-4}) \cos 60^\circ = 0.35 \times 10^{-4} \text{ T}$$

હવે, $\mathcal{E} = B_h v l$ સૂત્ર વાપરી સળિયામાં ઉત્પન્ન થતું પ્રેરિત emf શોધો.

6. જ્યારે સળિયાનો વેગ v હોય ત્યારે, સળિયામાં પ્રેરિત emf $\mathcal{E} = Bvl$

$$\text{સળિયામાં પ્રેરિત પ્રવાહ } I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{Bvl}{R}$$

સળિયા પર, તેની ગતિની વિરુદ્ધ લાગતું બળ,

$$F_B = BIl = \frac{B^2 v_l l^2}{R}$$

જ્યારે આ બળ સળિયાના વજન જેટલું થાય, ત્યારે પ્રવેગ શૂન્ય થાય અને પછી સળિયો અચળ ટર્મિનલવેગ (v_t) થી ગતિ ચાલુ રાખે.

$$\therefore mg = \frac{B^2 v_t l^2}{R} \text{ પરથી } v_t \text{ શોધો.}$$

7. ધારો કે, t સમયે L_1 અને L_2 ઇન્ડક્ટરમાંથી વહેતા પ્રવાહનાં મૂલ્યો અનુક્રમે I_1 અને I_2 છે અને તેમના ફેરફારના

દર અનુક્રમે $\left(\frac{dI_1}{dt}\right)$ અને $\left(\frac{dI_2}{dt}\right)$ છે.

ઇન્ડક્ટર L_1 ના બે છેડા વચ્ચે ઉદ્ભવતું p.d.

$$\mathcal{E} = -L_1 \frac{dI_1}{dt} \Rightarrow \frac{dI_1}{dt} = -\frac{\mathcal{E}}{L_1}$$

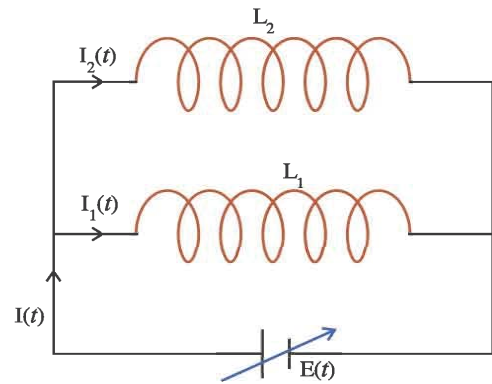
ઇન્ડક્ટર L_1 ના બે છેડા વચ્ચે

$$\mathcal{E} = -L_2 \frac{dI_2}{dt} \Rightarrow \frac{dI_2}{dt} = -\frac{\mathcal{E}}{L_2}$$

ઇન્ડક્ટર્સના તંત્રનું સમતુલ્ય ઇન્ડક્ટન્સ L હોય તો,

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt} \text{ જ્યાં } I = \text{મુખ્ય પરિપથમાં } t \text{ સમયે}$$

વહેતો પ્રવાહ



$$\rightarrow \varepsilon = -L \frac{d}{dt}(I_1 + I_2)$$

$$\rightarrow \varepsilon = -L \left(\frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} \right) \text{ મિ } \frac{dI_1}{dt} \text{ અને } \frac{dI_2}{dt} \text{ ની મૂલ્યો મૂકી } L \text{ મેળવો.}$$

8. A ગૂંચળું

$$N_A = 600$$

$$I_A = 3.0 \text{ A}$$

$$\phi_A = 1.2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

(i) ગૂંચળા A નું આત્મ-પ્રેરકત્વ

$$L_A = \frac{\Phi_A}{I_A} = \frac{N_A \Phi_A}{I_A} = \frac{600 \times 1.2 \times 10^{-4}}{3} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ H} = 24 \text{ mH}$$

(ii) ગૂંચળા A અને B થી બનતા તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ,

$$M_{BA} = \frac{\Phi_A}{I_A} = \frac{9 \times 10^{-5}}{3} = 3 \times 10^{-5} \text{ H} = 30 \text{ } \mu\text{H} \text{ સૂત્રોનો ઉપયોગ કરો.}$$

B ગૂંચળું

$$N_B = 300$$

$$\phi_B = 9 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

9. ટોરોઇડલ રિંગના વર્તુળની ત્રિજ્યા $r_1 = 10 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\text{ટોરોઇડલ રિંગના આડછેદની ત્રિજ્યા } r_2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{વાઇરિંગમાં આંટાઓની સંખ્યા } N = 1.5 \times 10^4$$

$$\text{ટોરોઇડલ રિંગમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર, } B = \mu_0 n I = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r_1}$$

ટોરોઇડલ રિંગ સાથે સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ

$$\Phi = NAB$$

$$\Phi = N(\pi r_2^2) \left(\frac{\mu_0 N I}{2\pi r_1} \right)$$

$$\text{રિંગનું ઇન્ડક્ટન્સ } L = \frac{\Phi}{I} \text{ પરથી શોધો.}$$

10. ધારો કે R ત્રિજ્યાની મોટી લૂપમાંથી I પ્રવાહ વહે છે. આ પ્રવાહને લીધે મોટી લૂપના કેન્દ્ર આગળ ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

r ત્રિજ્યાની નાની લૂપ સાથે સંકળાતું ફ્લક્સ,

$$\Phi = AB$$

$$\Phi = (\pi r^2) \left(\frac{\mu_0 I}{2R} \right)$$

બંને લૂપના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ,

$$M = \frac{\Phi}{I} \text{ સૂત્રનો ઉપયોગ કરી ગણો.}$$

પ્રકરણ 2

1. લેમ્પનો અવરોધ $R = \frac{V^2}{P}$ માં V અને P નાં (રેટિંગનાં) મૂલ્યો મૂકી અવરોધ શોધો. બલ્બમાંથી પસાર થઈ

શકતો મહત્તમ પ્રવાહ $I = \frac{P}{V}$ માં P અને V ના મૂલ્યો (રેટિંગ પરથી) મૂકી પ્રવાહ શોધો. બલ્બને 220 Vના ઉદ્દગમ સાથે જોડતાં આ મહત્તમ પ્રવાહ જેટલો પ્રવાહ પસાર થાય, તો તે સંપૂર્ણ રીતે પ્રકાશિત થાય. આ હેતુ માટે બલ્બની સાથે શ્રેણીમાં ચોકકોઈલ (એક ખાસ પ્રકારનું ઇન્ડક્ટર જ છે.) મૂકવી જોઈએ. આદર્શ રીતે ચોક કોઈલમાં કોઈ પાવરનો વ્યય થતો નથી અને પ્રવાહ નિયંત્રિત કરી શકાય છે. આમ, આ L-R એ.સી. પરિપથ બને છે.

$$\therefore I_{rms} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

માંથી L ને સૂત્રનો કર્તા બનાવી તેના માં R , $\omega = 2\pi f$. જ્યાં $f = 50 \text{ Hz}$, $V_{rms} = 220 \text{ V}$, I_{rms} = મહત્તમ પ્રવાહનાં મૂલ્યો મૂકી L શોધો.

2. L-C-R શ્રેણી એ.સી. પરિપથ માટે $|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$\text{જ્યાં } X_L = \omega L = 2\pi fL \text{ અને } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

પરથી $|Z|$ શોધો. અવરોધના બે છેડા વચ્ચેનો વોલ્ટેજ $= I_{rms} R$ શોધો.

3. ટ્યૂન કરવું એટલે પરિપથને અનુનાદ સ્થિતિમાં લાવવો. અનુનાદ સ્થિતિમાં

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \text{ એટલે } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$\therefore C = \frac{1}{4\pi^2 f^2} \frac{1}{L}$$

મિ $f = 800 \times 10^3$ Hz મૂકી C શોધો. તે જ રીતે $f = 1200 \times 10^3$ Hz મૂકી C શોધો.
C ના આ બે મૂલ્યો ચલ કેપેસિટરની રેન્જ દર્શાવે છે. એટલે કે C નાં બે મૂલ્યો વચ્ચેનાં મૂલ્યો વડે 800 kHz અને 1200 kHz વચ્ચેની આવૃત્તિ માટે પરિપથમાં ટ્યૂનિંગ મેળવી શકાય છે.

4. (1) $I_{max} = \sqrt{2} I_{rms} = \sqrt{2} \frac{V_{rms}}{|Z|}$ મિ V_{rms} અને $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ નો ઉપયોગ કરી I_{max} શોધો.

$$\omega = 2\pi f$$

(2) $\tan \delta = \frac{\omega L}{R}$ પરથી δ શોધો. સમય-તફાવત $= \frac{\delta(\text{in rad})}{\omega}$ (રેડિયનમાં) પરથી સમય તફાવત શોધો.

5. (1) $\frac{\epsilon_s}{\epsilon_p} = \frac{N_s}{N_p}$ પરથી ϵ_s શોધો.

(2) $\epsilon_p I_p = \epsilon_s I_s \Rightarrow I_p = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_p} I_s = \frac{N_s}{N_p} I_s$ પરથી I_p શોધો.

(3) આઉટપુટ પાવર $= \epsilon_s I_s$ ઇનપુટ પાવર $= \epsilon_p I_p$

6. પાવર $= V_{rms} I_{rms} \cos \delta$

પરંતુ $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{|Z|}$,

$$\therefore \text{પાવર} = \frac{V_{rms}^2}{|Z|} \cos \delta \text{ જ્યાં } |Z|^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \text{ પરથી પાવર શોધો.}$$

પાવરફેક્ટર $\cos \delta = \frac{R}{|Z|}$ પરથી પાવરફેક્ટર શોધો.

7. આવર્તકાળના અર્ધચક્ર પર V નું સરેરાશ મૂલ્ય

$$= \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} V dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt$$

$$= \frac{2V_m}{T} \left[-\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{T/2} = \frac{2V_m}{T} \left[-\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} + \cos \left(\frac{2\pi}{T} 0 \right) \right]$$

$$= \frac{2V_m}{T \frac{2\pi}{T}} (1 + 1)$$

$$= \frac{2V_m}{\pi}$$

8. અત્રે $t = 0$, $V = 0$ દર્શાવે છે કે, વોલ્ટેજને sine વિધેય વડે દર્શાવી શકાય. $\therefore V = V_m \sin \omega t$, જ્યાં

$V_m = 100$ V આપેલ છે. $t = \frac{1}{100\pi}$ s, $V = 2$ V તથા $\omega = 2\pi f$ મૂકી f શોધો.

9. અત્રે $V = V_m \cos \omega t$(i) તથા $I = \frac{V_m}{|Z|} \cos(\omega t - \delta)$ (ii) દ્વારા ઈન્ડક્ટર ધરાવતા

એ.સી. પરિપથ માટે $|Z| = \omega L$, $\delta = \frac{\pi}{2}$ વળી, $\omega = 2\pi f$ આ મૂલ્યો સમીકરણ (ii)માં મૂકી, I નું સમીકરણ મેળવો.

10. $P = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos \delta$ માં $\cos \delta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$

$X_C = 30 \, \Omega$, $R = 40 \, \Omega$, $V_m = 220 \, V$ તથા $I_m = 4.4 \, A$ મૂકી પાવર તથા પાવર-ફેક્ટર ગણો.

11. મહત્તમ વીજપ્રવાહ $I_m = \frac{V_m}{|Z|}$ જ્યાં $|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ $\omega = 2\pi f$ માં મૂલ્યો મૂકી I_m શોધો.

12. I^2 ની rms મૂલ્ય માટે

$$I^2 = (I_1 \sin \omega t + I_2 \cos \omega t)^2 \text{ નું વિસ્તરણ કરો.}$$

આ વિસ્તરણ પરથી

$$\therefore \langle I^2 \rangle = I_1^2 \langle \sin^2 \omega t \rangle + I_2^2 \langle \cos^2 \omega t \rangle + 2I_1 I_2 \langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle$$

$$\text{હવે } \langle \cos^2 \omega t \rangle = \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2} \text{ તથા } \langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle = 0$$

$$\therefore \langle I^2 \rangle = \frac{I_1^2}{2} + \frac{I_2^2}{2} + 0$$

$$\therefore I_{rms} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}}$$

13. મુક્ત LC દોલનોના પ્રાકૃતિક કોણીય આવૃત્તિ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ માં L અને C નાં મૂલ્યો મૂકી $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ગણો.

પ્રકરણ 3

1. (a) $\lambda = \frac{2\pi}{k}$, $f = \frac{\omega}{2\pi}$

(b) $E_0 = B_0 c$

સમીકરણ પરથી તરંગનો વેગ (c) ઋણ X-અક્ષની દિશામાં છે, અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર Y-અક્ષ પર ધન છે. \vec{c} ની દિશા $(\vec{E} \times \vec{B})$ ની દિશા મુજબ હોવાથી $\vec{E} = E_0 \hat{k} \equiv E_z \hat{k}$.

2. $I = \frac{\text{પાવર}}{\text{ક્ષેત્રફળ}} = \frac{\text{પાવર}}{4\pi r^2}, r = 1 \text{ m}$

3. (a) $B_0 = \frac{E_0}{c},$

(b) $I = \epsilon_0 c E_{rms}^2 = \epsilon_0 c \left(\frac{E_0}{\sqrt{2}} \right)^2,$

(c) $\text{પાવર} = I \times \text{ક્ષેત્રફળ} = I \times 4\pi r^2$

4. $I = \epsilon_0 c E_{rms}^2 = \frac{P_S}{4\pi r^2}$

$\therefore E_{rms} = \sqrt{\frac{P_S}{4\pi r^2 \epsilon_0 c}}$

$B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c}$

5. તરંગની તીવ્રતા $I = \epsilon_0 c E_{rms}^2$

$\text{પાવર} = I \times \text{ક્ષેત્રફળ}$

$\therefore \text{ઊર્જા} = \text{પાવર} \times \text{સમય} \text{ (સમય } t = 1 \text{ s)}$

એકમ સમયમાં મળતું વેગમાન

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

રેડિયેશન-દબાણ $= \frac{\Delta P}{\text{ક્ષેત્રફળ}}$

6. (a) ઊર્જાઘનતા માટે $\rho_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$ સમીકરણનો ઉપયોગ કરો.

(b) નળાકારમાં સમાયેલી ઊર્જા માટે $\Delta U = \rho_E \times V$ નો ઉપયોગ કરો.

(c) વિકિરણની તીવ્રતા માટે $I = \rho_E c$ નો ઉપયોગ કરો.

(d) સંપૂર્ણ શોષણ માટે એક સેકન્ડમાં નળાકારને મળતું વેગમમન $\Delta p = \frac{\Delta U}{c}.$

(e) વિકિરણનું દબાણ શોધવા $p = \frac{\Delta p}{A}$ નો ઉપયોગ કરો.

પ્રકરણ 4

1. અપ્રકાશિત શલાકા માટે $\frac{x_n d}{D} = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$ પરથી λ ગણો.

2. પ્રકાશિત શલાકા માટે $\frac{x_n d}{D} = n\lambda$

અપકાશિત શલાકા માટે $\frac{x_m d}{D} = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$

\therefore આ શલાકાઓ વચ્ચેનું અંતર $x_m - x_n$.

3. સમીકરણ $\frac{x_n d}{D} = n\lambda$ નો ઉપયોગ કરવો.

4. $\bar{x}_1 = \frac{\lambda D}{d}$ અને $\bar{x}_2 = \frac{\lambda(D + 50)}{d} \therefore \lambda = \frac{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)d}{50}$

5. $t_2 - t_1 = nT = n\left(\frac{1}{f}\right)$ (આપેલ છે.)

પથ તફાવત $= r_2 - r_1 = c(t_2 - t_1) = c \times \frac{n}{f} = n\lambda$

6. આકૃતિ પરથી, પથ તફાવત $= SS_2P - SS_1P = (SS_2 - SS_1) + (r_2 - r_1)$
 $= 0.25\lambda + \frac{xd}{D} = \frac{\lambda}{4} + \frac{xd}{D}$

(i) સહાયક વ્યતિકરણ માટે

$$\frac{\lambda}{4} + \frac{xd}{D} = n\lambda \Rightarrow \lambda\left(n - \frac{1}{4}\right) = \frac{xd}{D}$$

(ii) વિનાશક વ્યતિકરણ માટે

$$\frac{\lambda}{4} + \frac{xd}{D} = (2n - 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{\lambda}{2} \left(2n - \frac{3}{2}\right) = \frac{xd}{D}$$

7. સમીકરણ $d \sin \theta = n\lambda$ પરથી, $\sin \theta = \frac{n}{2}$ ($\because d = 2\lambda$).

પણ $\sin \theta \leq 1 \Rightarrow n \leq 2$, અર્થાત્ $n = 0, 1$ અને 2 .

8. $\frac{xd}{D} = n\lambda$ સૂત્રનો ઉપયોગ કરો.

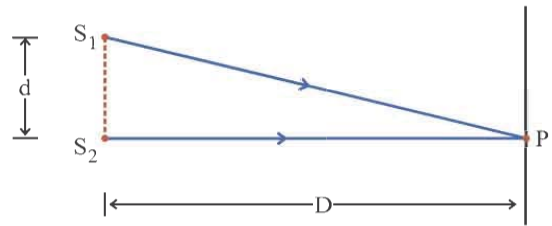
9. અહીં, $d \ll D$.

પથ તફાવત $= (D^2 + d^2)^{\frac{1}{2}} - D$

$$= D \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right)^{\frac{1}{2}} - D$$

$$= D \left(1 + \frac{d^2}{2D^2}\right)^{\frac{1}{2}} - D \quad (\because d \gg D)$$

$$= \frac{d^2}{2D}$$



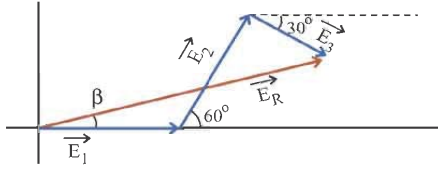
વિનાશક વ્યતિકરણ માટે $\frac{d^2}{2D} = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$

$$\therefore \lambda = \frac{d^2}{D(2n-1)}$$

$$n = 1 \text{ માટે } \lambda = \frac{d^2}{D}$$

$$n = 2 \text{ માટે } \lambda = \frac{d^2}{3D} \text{ વગેરે.}$$

10. સમક્ષિતિજ ઘટકોનો સરવાળો લેતાં, $E_0 + E_0 \cos 60^\circ + E_0 \cos(-30^\circ) = 2.37E_0$



શિરોલંબ ઘટકોનો સરવાળો લેતાં, $0 + E_0 \sin 60^\circ +$

$$E_0 \sin(-30^\circ) = 0.366E_0$$

$$\text{હવે, } E_R = \sqrt{(2.37E_0)^2 + (0.366E_0)^2} = 2.4 E_0$$

$$\text{અને કળા, } \beta = \tan^{-1}\left(\frac{0.366E_0}{2.37E_0}\right) = 8.8^\circ$$

11. વિવર્તન મહત્તમ માટે $d \sin \theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

12. દ્વિતીય મહત્તમની પહોળાઈ = દ્વિતીય અને તૃતીય લઘુત્તમો વચ્ચેનું અંતર

વિવર્તન લઘુત્તમ માટે, $d \sin \theta = n\lambda$

વળી, નાના θ (rad માં), $\sin \theta \approx \tan \theta$

13. (i) પ્રવાહીનો વક્રીભવનાંક, $n_1 = \frac{\lambda}{\lambda'}$

જ્યાં, λ = હવામાં પ્રકાશની તરંગલંબાઈ

λ' = પ્રવાહીમાં પ્રકાશની તરંગલંબાઈ

$$\therefore \lambda' = \frac{\lambda}{n_1} = \frac{6300 \text{ Å}}{1.33}$$

$$\text{હવે, } \bar{x} = \frac{\lambda D}{d} = \frac{6300 \times 10^{-10}}{1.33 \times 10^{-3}} \times 1.33$$

$$\therefore \bar{x} = 0.63 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- (ii) આકૃતિ (a) પરથી, $d = v_1 t_1$;

અહીં, n_1 = પ્રવાહીનો વક્રીભવનાંક

v_1 = તરંગની પ્રવાહીમાં ઝડપ

પણ, $v_1 n_1 = C$

$$\therefore v_1 n_1 t_1 = c t_1 = r_1 \quad (1)$$

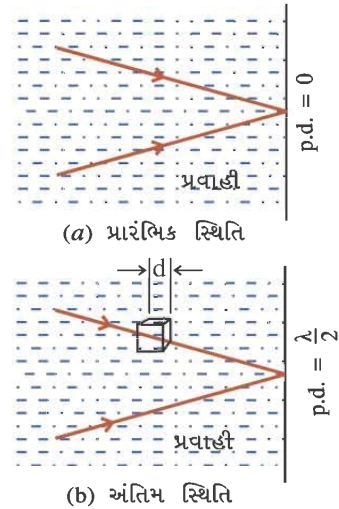
તે જ રીતે, આકૃતિ (b) પરથી,

$$v_2 n_2 t_2 = c t_2 = r_2 \quad (2)$$

પ્રથમ ક્રમના ન્યૂનતમ માટે, પથ તફાવત

$$r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{સમીકરણ (1) અને (2), } d = \frac{\lambda}{2(n_2 - n_1)}.$$



પ્રકરણ 5

1. હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં n મુખ્ય ક્વોન્ટમ-અંક ધરાવતી કક્ષાની ત્રિજ્યા,

$$r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

અને આ કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રોનની ઝડપ,

$$v = \frac{e^2}{2\epsilon_0 n h}$$

કક્ષીય ઇલેક્ટ્રોનની આવૃત્તિ,

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{m e^4}{4\epsilon_0^2 n^3 h^2}$$

અથવા

$$f = \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 c h^3} \times \frac{2c}{n^3}$$

$$= \frac{2Rc}{n^3}$$

$$n = 2 \text{ માટે } f = 8.23 \times 10^{14} \text{ sec}^{-1}$$

∴ સરેરાશ જીવનકાળ દરમિયાન થતા પરિભ્રમણોની સંખ્યા,

$$(8.23 \times 10^{14}) \times (10^{-8}) = 8.23 \times 10^6$$

2. (i) $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

(ii) $E = \frac{hc}{\lambda}$

3. $\frac{1}{\lambda} = R = \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$ સૂત્ર પરથી.

4. $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ સૂત્ર પરથી પ્રથમ બામર શ્રેણી અને તે પરથી લાયમન શ્રેણી માટે ગણતરી કરો. અને નોંધો કે R આપેલ નથી.

5. (i) ફાઈન-સ્ટ્રક્ચર અચળાંક α નું પારિમાણિક સૂત્ર મેળવો.
(ii) તેની કિંમત શોધો.

(iii) હાઈડ્રોજન પરમાણુ માટે $E_n = -\frac{m e^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}$ છે.

હવે, $4\pi^2 c^2$ વડે ગુણી અને ભાગતાં, $E_n = \frac{-m c^2 \alpha^2}{2n^2}$ મળે.

(iv) કોણીય વેગમાન, $l = mvr = \frac{h}{2\pi}$

$$\therefore v = \frac{\hbar}{\left(\frac{mn^2h^2\epsilon_0}{\pi Ze^2m} \right)} \quad (\because r = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi Ze^2m})$$

(હવે α નું સૂત્ર વાપરતાં $v = \alpha c$ મળે.)

6. હાઈડ્રોજન પરમાણુની બંધન-ઊર્જા, $|E| = + 21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$

હાઈડ્રોજન વાયુની સરેરાશ ગતિ-ઊર્જા $= \frac{3}{2} k_B T$

$$\therefore \frac{3}{2} k_B T = 21.76 \times 10^{-19}$$

$$\therefore T = 1.05 \times 10^5 \text{ K}$$

7. $E = \frac{-me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2}$

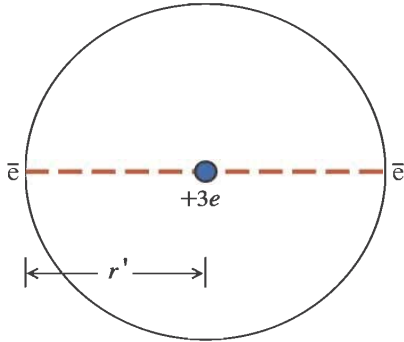
He^+ આયન માટે $Z = 2$, $n = 1$.

વળી, $\frac{-me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV}$ (જ્ઞાતિક્રિમત)

8. H_β -રેખા (એટલે કે, $n = 4 \rightarrow n = 2$)ના ઉત્સર્જન માટે ઇલેક્ટ્રોનને પહેલાં $n = 4$ કક્ષામાં ઉત્તેજિત કરવો પડે.

તેથી આ બે કક્ષાનાં ઊર્જા-તફાવત જેટલી ઊર્જા આપવી પડે.

9. Li^+ આયનની કુલ ઊર્જા,



$$E_{tot} = 2 \times \left[\frac{1}{2}mv^2 - \frac{3e^2}{4\pi\epsilon_0 r'} \right] + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 (2r')}$$

$$\text{પરંતુ } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{3e^2}{r'}$$

અને

$$r' = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m Z e^2}$$

$$\therefore E_{tot} = \frac{-15}{n^2} \left(\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \right) = -204 \text{ eV} \quad (\because n = 1 \text{ અને } \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV})$$

$$E_{tot}^{exp} = 198.09 \text{ eV (આપેલ છે.)} \therefore \% \text{ ત્રુટિ} = 2.98\%$$

10. કુલ ઊર્જા, $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}m\omega^2 r^2$ ($\because k = m\omega^2$) $= mv^2$ ($\because v = r\omega$)

$$\text{કોણીય વેગમાન } mvr = n\frac{h}{2\pi} \therefore mv^2 = n\hbar \frac{v}{r} \therefore E = n\hbar \frac{v}{r} = n\hbar\omega.$$

11. મોઝેલેના નિયમાનુસાર K_α -રેખા માટે $\frac{1}{\lambda} = R(Z - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$

12. K_{α} -રેખા L-કક્ષામાંથી K-કક્ષામાં થતી ઇલેક્ટ્રોનની સંક્રાંતિને અનુરૂપ હોય છે, તેને અનુરૂપ તરંગલંબાઈ

$$\frac{hc}{\lambda_{K_{\alpha}}} = (78 \times 10^3 - 12 \times 10^3) \times (1.6 \times 10^{-19}) \text{ J} \therefore \lambda_{K_{\alpha}} = 0.188 \text{ \AA}$$

K_{β} રેખા M-કક્ષામાંથી L-કક્ષામાં ઇલેક્ટ્રોનની થતી સંક્રાંતિને અનુરૂપ હોય છે, તેની તરંગલંબાઈ
 $\lambda_{K_{\beta}} = 0.165 \text{ \AA}$

પ્રકરણ 6

1. કોઈ પ્રક્રિયામાં કુલ બંધન-ઊર્જામાં વધારો થાય-તો તે પ્રક્રિયામાં ઊર્જા ઉત્પન્ન થાય (છૂટી પડે !)

(a) $Y \rightarrow 2Z$ પ્રક્રિયા માટે,

$$Y\text{ની કુલ બંધન-ઊર્જા} = 8.5 \times 60 = 510 \text{ MeV}$$

$$2Z\text{ની કુલ બંધન-ઊર્જા} = 2(5.0 \times 30) = 300 = \text{MeV}$$

અહીં, કુલ બંધન-ઊર્જા ઘટે છે. તેથી ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થશે નહીં.

(b) $W \rightarrow 2Y$ પ્રક્રિયા માટે,

$$W\text{ની કુલ બંધન-ઊર્જા} = 8 \times 120 = 960 \text{ MeV}$$

$$2Y\text{ની કુલ બંધન-ઊર્જા} = 2(8.5 \times 60) = 1020 \text{ MeV.}$$

અહીં, કુલ બંધન-ઊર્જા ઘટે છે. તેથી ઊર્જાનું ઉત્સર્જન થશે નહીં.

2. બંને ઉત્સર્જનને અનુરૂપ કુલ ક્ષય-નિયતીક λ_i એ $\lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta}$ ના સરવાળા જેટલો થાય.

$$\therefore \lambda_i = \frac{1}{1600} + \frac{1}{400} = \frac{1}{320} \text{ Yr}^{-1} \therefore \tau_{\frac{1}{2}}(\text{total}) = \frac{0.693}{\lambda_i} = \frac{0.693}{1/320} = 221.76 \text{ Yr.}$$

75 % ન્યુક્લિયસ ક્ષય પામે, તો 25 % બચે

$$\therefore \frac{N}{N_0} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\therefore \frac{t}{\tau_{\frac{1}{2}}} = 2 \therefore t = 2(\tau_{\frac{1}{2}}) = 443.52 \text{ Yr}$$

3. પૂર્ણ દૂરની સ્થિતિમાં (ગતિ + સ્થિતિ) કુલ-ઊર્જા = લઘુત્તમ અંતરે (ગતિ + સ્થિતિ) કુલ-ઊર્જા

$$2\left(\frac{1}{2}mv^2\right) + 0 = 0 + \frac{kq^2}{r_0}$$

$$2(1.8 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19}) = \frac{(9 \times 10^9)(1.6 \times 10^{-19})^2}{r_0} \therefore r_0 = 4 \times 10^{-14} \text{ m}$$

4. જો અર્ધ-આયુ x hr હોય તો,

$$0 \text{ સમયે એક્ટિવિટી} = 16000 \text{ counts/min}$$

$$x \text{ hr બાદ એક્ટિવિટી} = 8000 \text{ counts/min}$$

$$2x \text{ hr બાદ એક્ટિવિટી} = 4000 \text{ counts/min}$$

$$3x \text{ hr બાદ એક્ટિવિટી} = 2000 \text{ counts/min}$$

$$4x \text{ hr બાદ એક્ટિવિટી} = 1000 \text{ counts/min}$$

$$5x \text{ hr બાદ એક્ટિવિટી} = 500 \text{ counts/min}$$

$$\therefore 5x = 240 \text{ min} \therefore x = 48 \text{ min}$$

5. 226 g રેડિયમમાં 6.02×10^{23} પરમાણુ હોય

$$\therefore 1 \text{ g માં } \frac{6.02 \times 10^{23}}{226} = N \text{ પરમાણુ હોય.}$$

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \therefore \lambda = \frac{0.693}{\tau_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{4.98 \times 10^{10}} \text{ s}^{-1}$$

$$I = \lambda N = \left(\frac{0.693}{4.98 \times 10^{10}} \times \frac{6.02 \times 10^{23}}{226} \right) = 3.7 \times 10^{10} \text{ વિભંજન / s} = 1 \text{ Ci}$$

6. મુક્ત અવસ્થામાં બધા ન્યુક્લિયોન્સનું કુલ દળ $= Zm_p + Nm_n = 17 \times 1.00783 + 18 \times 1.00866 = 35.28899 \text{ u}$.

$$\text{દળક્ષતિ} = \Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{nucleus}} = 35.28899 - 34.9800 = 0.30899 \text{ u}$$

$$\therefore \text{બંધન-ઊર્જા} = 0.30899 \times 931 = 287.66 \text{ MeV}$$

$$\therefore \text{ન્યુક્લિયોન દીઠ બંધન-ઊર્જા} = \frac{287.66}{35} = 8.219 \frac{\text{MeV}}{\text{ન્યુક્લિયોન}}$$

7. $R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \therefore (6.6 \text{ fm}) = (1.1 \text{ fm}) A^{\frac{1}{3}} \therefore A = 216 = \text{ન્યુક્લિયોનની સંખ્યા}$
 $\therefore \text{ન્યુક્લિયસનું દળ} = 216 \times 1.0088 \text{ u} = 216 \times 1.0088 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$$\text{ન્યુક્લિયસનું કદ} = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} (3.14) (6.6 \times 10^{-15})^3 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{ન્યુક્લિયસની ઘનતા } \rho = \frac{\text{દળ}}{\text{કદ}} = \frac{(216)(1.008)(1.66 \times 10^{-27})}{\left(\frac{4}{3}\right)(3.14)(6.6 \times 10^{-15})^3} = 3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

8. $I = \lambda N \Rightarrow 8000 = \lambda(8 \times 10^7) \therefore \lambda = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.639}{10^{-4}} = 6930 \text{ s.}$$

9. 2 g ${}_1\text{H}^2$ માં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા $= 6.02 \times 10^{23}$

$$\therefore 1000 \text{ g of } {}_1\text{H}^2 \text{માં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા} = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 1000}{2} = 3.01 \times 10^{26}$$

$$2 \text{ } {}_1\text{H}^2 \text{ના સંલયનથી } 3.27 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J ઊર્જા મળે.}$$

$$\therefore 3.01 \times 10^{26} \text{ } {}_1\text{H}^2 \text{ના સંલયનથી મળતી ઊર્જા} = \frac{3.27 \times 10^6 \times 1.6 \times 3.01 \times 10^{26}}{2} \text{ J}$$

$$100 \text{ W નો બલ્બ } t \text{ સેકન્ડ અજવાળે, તો ખર્ચાતી ઊર્જા} = (100)(t) \text{ J}$$

$$\therefore 100 \text{ J} = \frac{3.27 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3.01 \times 10^{26}}{2} \therefore t = \frac{7.874 \times 10^{11} \text{ s}}{3.16 \times 10^7 \text{ s/year}} = 24917 \text{ Yr}$$

પ્રકરણ 7

1. $n_e = 6 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, $\kappa = 10^{-2} \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-2} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-3}$
 શુદ્ધ અર્ધવાહક માટે, $n_e = n_h = 6 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$
 \therefore હોલની સંખ્યા $= 2 \times 10^{-3} \text{ m}^{-3} = n_h \times \kappa = 6 \times 10^{19} \times 2 \times 10^{-6}$
 $= 12 \times 10^{13}$
2. $n_i = 1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$
 મેજોરિટી ચાર્જકેરિયર્સ $n_h = 4.5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$, માઈનોરીટી ચાર્જકેરિયર્સ $n_e = ?$
 હવે, $n_i^2 = n_e n_h$ અને n_e ની ગણતરી કરો.
3. વાપરો $E_g = \frac{hc}{\lambda}$ 4. વાપરો $E_g = \frac{hc}{\lambda}$
5. $d = 400 \text{ nm}$, $E = 5 \times 10^5 \text{ V/m}$
 બેરિયર સ્થિતિમાન $V_0 = Ed = 5 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-7} = 0.2 \text{ V}$
 મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનની લઘુત્તમ ઊર્જા $= V_0 = 0.2 \text{ eV}$.
6. (1) $V_A > V_B$, માટે D_1 ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ અને D_2 રિવર્સ બાયસ થશે, તેથી A અને B વચ્ચેનો અવરોધ $R_{AB} = 50 \Omega$.
 (2) $V_B > V_A$, માટે D_1 રિવર્સ બાયસ અને D_2 ફોરવર્ડ બાયસ થશે.
 \therefore A અને B વચ્ચેનો અવરોધ $R_{AB} = 50 \Omega$.
7. $R_L = 10 \text{ k } \Omega$, $A_v = 200$, $r_i = 10 \text{ k } \Omega$
 (1) $A_v = -g_m R_L$ માટે ગણતરી કરો g_m . (2) $g_m = \frac{\beta a c}{r_i} = \frac{A_i}{r_i}$ વાપરો અને ગણતરી કરો A_i .
8. $I_C = 18.6 \text{ mA}$, $I_C = ?$, $\alpha = ?$ $I_C = 0.93 I_E$ માટે ગણતરી કરો. I_E અને $I_B = I_E - I_C$ માટે ગણતરી કરો I_B વાપરો. $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ ગણતરી કરો α .
9. $\Delta V_{BE} = 200 \times 10^{-3} \text{ V}$, $\Delta V_{CE} = 200 \mu\text{A}$, $r_i = ?$, $A_v = ?$
 $r_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{200 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-6}} = 1000 \Omega$ $A_v = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{BE}} = \frac{2}{200 \times 10^{-3}} = 10$
10. પાવર ગેઈન $A_p = A_v A_i = (-g_m R_L) A_i = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \right) R_L A_i$. હવે ગણતરી કરો R_L .
11. ઈનપુટ પરિપથ માટે $V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$ ગણતરી કરવા આ સમીકરણ વાપરો I_B
 આઉટપુટ સરકિટ માટે $V_{CC} = V_{CE} + I_C R_L$ I_C ની ગણતરી માટે
 હવે પ્રવાહબદ્ધ $A_i = \frac{I_C}{I_B}$.

12. ઈનપુટ પ્રવાહ માટે

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0 \therefore V_{BE} = V_{CC} - I_B R_B = 6 - 5 \times 10^{-6} (1 \times 10^6) = 1 \text{ V}$$

$$\text{આઉટપુટ પ્રવાહ માટે } V_{CC} - I_C R_L - V_{CE} = 0$$

$$\therefore V_{CE} = V_{CC} - I_C R_L = 6 - (5 \times 10^{-3} \times 1.1 \times 10^3) = 0.5 \text{ V}$$

13. $A_P = A_V \cdot A_i = g_m R_L A_i \therefore A_P = \frac{\beta a c}{r_i} = R_L A_i \therefore R_L = \frac{A_P \cdot r_i}{A_i \cdot A_i} = \frac{2000 \times 1000}{100 \times 100} = 200 \Omega$

પ્રકરણ 8

1. ક્ષેત્રફળ $A = \pi d_T^2 = \pi(2h_T R)$

$$\text{એન્ટેનાની ઊંચાઈ } h_T = \frac{A}{2\pi R} = \frac{3140}{2 \times 3.14 \times 6400} = 0.078125 \text{ km} = 78.125 \text{ m}$$

2. ક્ષેત્રફળ $A = \pi d_T^2 = \pi(2h_T R) = 3.14 \times 2 \times 81 \times 6400 \times 10^3$
 $= 3255552 \times 10^3 \text{ m}^2 = 3255.552 \text{ km}^2$

3. $E_C = 12 \text{ V}$, $m_a = 0.75$, $E_m = ?$

$$m_a = \frac{E_m}{E_C} \therefore E_m = m_a \times E_C = 0.75 \times 12 = 9 \text{ V}$$

4. $e = 100(1 + 0.6 \sin 6280t) \sin 2\pi \times 10^6 t$ ને

$$e = E_C(1 + m_a \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \text{ સારું સરખાવતાં,}$$

$$m_a = 0.6, \omega_m = 6280 \text{ rad/s}, \omega_c = 2\pi \times 10^6 \text{ rad/s}$$

$$\therefore f_m = \frac{\omega_m}{2\pi} = \frac{6280}{2\pi} = 10^3 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{2\pi \times 10^6}{2\pi} = 10^6 \text{ Hz} = 1000 \text{ kHz}$$

$$\text{LSB ની આવૃત્તિ} = f_c - f_m = 1000 - 1 = 999 \text{ kHz}$$

$$\text{USB ની આવૃત્તિ} = f_c + f_m = 1000 + 1 = 1001 \text{ kHz}$$

પારિભાષિક શબ્દો

પ્રકરણ ૧

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ	Electromagnetic induction	(ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક ઇન્ડક્શન)
પ્રેરિત પ્રવાહ	Induced current	(ઇન્ડ્યુસ્ડ કરન્ટ)
ચુંબકીય પ્રેરણ	Magnetic induction	(મેગ્નેટિક ઇન્ડક્શન)
સમઘડી દિશા	Clockwise direction	(ક્લોકવાઇસ ડાઇરેક્શન)
વિષમઘડી દિશા	Anti clockwise direction	(એન્ટી-ક્લોકવાઇસ ડાઇરેક્શન)
યાંત્રિક કાર્ય	Mechanical work	(મિકેનિકલ વર્ક)
ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમ	Law of conservation of energy	(લો ઓફ કન્ઝર્વેશન ઓફ એનર્જી)
તત્કાલીન	Instantaneous	(ઇન્સ્ટન્ટેનિયસ)
ગતિકીય ઇએમએફ	Motional emf	(મોશનલ ઇએમએફ)
યાંત્રિક પાવર	Mechanical Power	(મિકેનિકલ પાવર)
વિદ્યુતપાવર	Electric Power	(ઇલેક્ટ્રિક પાવર)
ધૂમરી પ્રવાહો	Eddy currents	(એડી કરન્ટ્સ)
અવમંદન	Damping	(ડેમ્પિંગ)
આત્મપ્રેરણ	Self-inductance	(સેલ્ફ-ઇન્ડક્ટન્સ)
આત્મપ્રેરિત	Self-induced	(સેલ્ફ-ઇન્ડ્યુસ્ડ)
આત્મપ્રેરકત્વ	Self-induction	(સેલ્ફ-ઇન્ડક્શન)
અન્યોન્ય પ્રેરણ	Mutual induction	(મ્યુચ્યુઅલ ઇન્ડક્શન)
આકાર	Shape	(શેઇપ)
પરિમાણ	Size	(સાઇઝ)
ચલિત ઇન્ડક્ટર	Variable inductor	(વેરિએબલ ઇન્ડક્ટર)
ઓલ્ટરનેટિંગ પ્રવાહ	A.C.	(એ.સી.)
વિદ્યુતચાલક બળ	Electromotive force	(ઇલેક્ટ્રોમોટિવ ફોર્સ)
પારિભાષિક શબ્દો		

વોલ્ટેજ પ્રાપ્તિસ્થાન
એ. સી. ડાયનેમો
એ. સી. જનરેટર
સમયગાળા

Voltage source
A. C. dynamo
A. C. generator
Time Intervals

(વોલ્ટેજ સોર્સ)
(એ. સી. ડાયનેમો)
(એ. સી. જનરેટર)
(ટાઈમ ઇન્ટર્વલ્સ)

પ્રકરણ 2

એ. સી. પરિપથ
વિકલ સમીકરણ
બળપ્રેરિત દોલનો
હાર્મોનિક વિધેયો
યાંત્રિક રાશિ
વિદ્યુતરાશિ
સ્થાનાંતર
અવરોધક-ગુણાંક
બળ-અચળાંક
કોણીય આવૃત્તિ
આવર્તબળ
આવર્ત વોલ્ટેજ
સંકર સંખ્યાઓ
વાસ્તવિક ભાગ
કાલ્પનિક ભાગ
સંકર સમતલ
અનુબદ્ધ સંકર સંખ્યા
ઇન્ડક્ટિવ પ્રતિબાધ
કેપેસિટિવ પ્રતિબાધ
અવબાધ
શ્રેણી-અનુનાદ
મહત્તમ પાવર
અનુનાદીય કોણીય આવૃત્તિ
અનુનાદ-વક્ર
તીક્ષ્ણતા
નાબૂદ
ગોઠવણી
અનુનાદ-આવૃત્તિ
પરિણામી
વિધેયાત્મક

A.C. circuit
Differential equation
Forced oscillations
Harmonic function
Mechanical quantities
Electrical quantities
Displacement
Co-efficient of resistance
Force constant
Angular frequency
Periodic force
Periodic voltage
Complex numbers
Real part
Imaginary part
Complex plane
Complex conjugate
Inductive reactance
Capacitive reactance
Impedance
Series resonance
Maximum power
Resonant angular frequency
Resonance curve
Sharpness
Cancel
Arrangement
Resonance frequency
Resultant
Functional

(એ. સી. સર્કિટ)
(ડિફરેન્સિયલ ઇક્વેશન)
(ફોર્સ્ડ ઓસ્સિલેશન્સ)
(હાર્મોનિક ફંક્શન)
(મિકેનિકલ ક્વોન્ટિટીસ)
(ઇલેક્ટ્રિકલ ક્વોન્ટિટીસ)
(ડિસ્પ્લેસમેન્ટ)
(કો-એફિસિયન્ટ ઓફ રેસિસ્ટન્સ)
(ફોર્સ કોન્સ્ટન્ટ)
(એન્ગ્યુલર ફ્રિક્વન્સી)
(પિરિયોડિક ફોર્સ)
(પિરિયોડિક વોલ્ટેજ)
(કોમ્પ્લેક્સ નમ્બર્સ)
(રીઅલ પાર્ટ)
(ઇમેજિનરી પાર્ટ)
(કોમ્પ્લેક્સ પ્લેન)
(કોમ્પ્લેક્સ કોન્જુગેટ)
(ઇન્ડક્ટિવ રિએક્ટન્સ)
(કેપેસિટિવ રિએક્ટન્સ)
(ઇમ્પિડન્સ)
(સિરિઝ રિઝોનન્સ)
(મેક્સિમમ પાવર)
(રિઝોનન્ટ એન્ગ્યુલર ફ્રિક્વન્સી)
(રિઝોનન્સ કર્વ)
(શાર્પનેસ)
(કેન્સલ)
(અરેન્જમેન્ટ)
(રિઝોનન્સ ફ્રિક્વન્સી)
(રિઝલ્ટન્ટ)
(ફંક્શનલ)

સંકળાયેલ
ટ્રાન્સફોર્મર
તાત્કાલિક પાવર

Associated
Transformer
Instantaneous power

(અસોસિએટેડ)
(ટ્રાન્સફોર્મર)
(ઇન્સ્ટન્ટેનિયસ પાવર)

પ્રકરણ 3

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ
સ્થાનાંતરપ્રવાહ
સ્થિતિમાનનો તફાવત
સમાસબળ
ઉત્સર્જનની પ્રક્રિયા
બંધ ગાળાઓ
કળા
ઉત્સર્જિત
લાક્ષણિકતા
કોણીય આવૃત્તિ
તરંગસદિશ
લંબગત
રેખીય વેગમાન
ઊર્જાઘનતા
વિકિરણ
તીવ્રતા
વર્ણપટ
આવૃત્તિ
તરંગલંબાઈ
વર્ગીકરણ
વાતાવરણ
સંદેશાવ્યવહાર
ઉપગ્રહ
ઉપકરણ

Electromagnetic wave
Displacement current
Potential difference
Resultant force
Process of Emission
Loop
Phase
Radiated
Characteristic
Angular frequency
Wave vector
Transverse
Linear momentum
Energy density
Radiation
Intensity
Spectrum
Frequency
Wave length
Classification
Atmosphere
Communication
Satellite
Instrument

(ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક વેવ)
(ડિસ્પ્લેસમેન્ટ કરન્ટ)
(પોટેન્શિયલ ડિફરન્સ)
(રિઝલ્ટન્ટ ફોર્સ)
(પ્રોસેસ ઓફ એમિશન)
(લૂપ)
(ફેઝ)
(રેડિએટેડ)
(કેરેક્ટરિસ્ટિક્સ)
(એન્ગ્યુલર ફ્રિક્વન્સી)
(વેવવેક્ટર)
(ટ્રાન્સવર્સ)
(લિનિયર મોમેન્ટમ)
(એનર્જી ડેન્સિટી)
(રેડિયેશન)
(ઇન્ટેન્સિટી)
(સ્પેક્ટ્રમ)
(ફ્રિક્વન્સી)
(વેવલેન્થ)
(ક્લાસિફિકેશન)
(એટ્મોસ્ફિયર)
(કમ્યુનિકેશન)
(સેટેલાઈટ)
(ઇન્સ્ટ્રુમેન્ટ)

પ્રકરણ 4

તરંગપ્રકાશશાસ્ત્ર
પ્રકાશશાસ્ત્ર
કણ
સ્થિતિસ્થાપકતા
કણવાદ
તરંગવાદ
તરંગ-અગ્ર
પારિભાષિક શબ્દો

Wave optics
Optics
Particle
Elasticity
Corpuscular theory
Wave theory
Wave front

(વેવ-ઓપ્ટિક્સ)
(ઓપ્ટિક્સ)
(પાર્ટિકલ)
(ઇલાસ્ટિસિટી)
(કોર્પસ્ક્યુલર થિયરી)
(વેવથિયરી)
(વેવફ્રન્ટ)

સિદ્ધાંત	Principle	(પ્રિન્સિપલ)
સમાંગ	Homogeneous	(હોમોજિનિયસ)
સમદિગ્ધર્મી	Isotropic	(આઇસોટ્રોપિક)
ગૌણ ઉદ્ગમ	Secondary source	(સેકન્ડરી સોર્સ)
ગૌણ તરંગ	Wavelet	(વેવલેટ)
પરાવર્તન	Reflection	(રિફ્લેક્શન)
વક્રીભવન	Refraction	(રિફ્રેક્શન)
વક્રીભવનાંક	Refractive index	(રિફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ)
પાતળા	Thin	(થિન)
ઘટ્ટ	Dense	(ડેન્સ)
નિર્ગમન	Emergent	(ઇમર્જન્ટ)
બહિર્ગોળ લેન્સ	Convex lens	(કોન્વેક્સ લેન્સ)
મુખ્ય કેન્દ્ર	Focal point	(ફોકલ પોઇન્ટ)
અંતર્ગોળ અરીસા	Concave mirror	(કોન્કેવ મિરર)
વિશિષ્ટ સાપેક્ષવાદ	Special relativity	(સ્પેશિયલ રિલેટિવિટી)
વ્યતીકરણ	Interference	(ઇન્ટરફેરન્સ)
તરંગમાળા	Wavetrain	(વેવટ્રેન)
સંપાતીકરણ	Superposition	(સુપરપોઝિશન)
અવલોકન	Observation	(ઓબ્ઝર્વેશન)
આવર્તવિધેય	Periodic function	(પિરિઓડિક ફંક્શન)
કંપવિસ્તાર	Amplitude	(એમ્પ્લિટ્યૂડ)
અસુસમ્બદ્ધ ઉદ્ગમ	Non coherent source	(નોન-કોહરન્ટ સોર્સ)
સુસમ્બદ્ધ ઉદ્ગમ	Coherent source	(કોરન્ટ સોર્સ)
સહાયક	Constructive	(કન્સ્ટ્રક્ટિવ)
વિનાશક	Destructive	(ડિસ્ટ્રક્ટિવ)
વહેંચણી	Distribution	(ડિસ્ટ્રિબ્યુશન)
લંબદ્વિભાજક	Perpendicular bisector	(પરપેન્ડિક્યુલર બિસેક્ટર)
સ્થિર	Stationary	(સ્ટેશનરી)
નિર્દેશન	Demonstration	(ડિમોન્સ્ટ્રેશન)
શલાકા	Fringe	(ફ્રિન્જ)
પથ-તફાવત	Path Difference	(પાથ-ડિફરન્સ)
પહોળાઈ	Width	(વિડ્થ)
વિવર્તન	Diffraction	(ડિફ્રેક્શન)
અડચણ	Obstacle	(ઓબ્સ્ટેકલ)
ગુણોત્તર	Ratio	(રેશિઓ)
મધ્યસ્થ અધિકતમ	Central maximum	(સેન્ટ્રલ મેક્સિમમ)

ન્યૂનતમ
વિવર્તનભાત
વિભેદનશક્તિ
કેન્દ્રલંબાઈ
તરંગ
સંગત તરંગ
લંબગત તરંગ
ધ્રુવીભવન
અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ
પ્રકાશસદિશ
તલધ્રુવીભૂત પ્રકાશ
દગ્ધ-અક્ષ
સ્ફટિક
સામાન્ય કિરણ
અસામાન્ય કિરણ
ધ્રુવીભવનકોણ
આપાતકોણ
પ્રકેરિત
પ્રતિબળ
વિકૃતિ

Minimum
Diffraction pattern
Resolving power
Focal length
Wave
Longitudinal wave
Transverse wave
Polarization
Unpolarized light
Light vector
Plane polarized light
Optic axis
Crystal
Ordinary Ray
Extra ordinary ray
Angle of polarization
Angle of incident
Scattered
Stress
Strain

(મિનિમમ)
(ડિફ્રેક્શન પેટર્ન)
(રિઝોલ્વિંગ પાવર)
(ફોકલ લેન્થ)
(વેવ)
(લોન્ગિટ્યુડિનલ વેવ)
(ટ્રાન્સવર્સ વેવ)
(પોલરાઇઝેશન)
(અનપોલરાઇઝડ લાઇટ)
(લાઇટ વેક્ટર)
(પ્લેન પોલરાઇઝડ લાઇટ)
(ઓપ્ટિક એક્સિસ)
(ક્રિસ્ટલ)
(ઓર્ડિનરી રે)
(એક્સ્ટ્રા ઓર્ડિનરી રે)
(એન્ગલ ઓફ પોલરાઇઝેશન)
(એન્ગલ ઓફ ઇન્સિડેન્ટ)
(સ્કેટર્ડ)
(સ્ટ્રેસ)
(સ્ટ્રેઇન)

પ્રકરણ 5

મૂળભૂત કણ
અવિભાજ્ય
સ્થાયી
તરબૂચ મોડેલ
ધારણા
ત્રિજ્યા
કક્ષા
અસતત
તરંગ-વિધેય
કક્ષીય ગતિ
કોણીય વેગમાન
ધરાસ્થિતિ
સંક્રાંતિ
કેન્દ્રગામી બળ
ઉત્સર્જન વર્ણપટ
પારિભાષિક શબ્દો

Fundamental particle
Indivisible
Stable
Watermelon model
Assumption
Radius
Orbit
Discrete
Wave function
Orbital motion
Angular momentum
Ground state
Transition
Centripetal force
Emission spectra

(ફન્ડામેન્ટલ પાર્ટિકલ)
(ઇન્ડિવિઝિબલ)
(સ્ટેબલ)
(વોટરમેલોન મોડેલ)
(એઝમ્પશન)
(રેડિયસ)
(ઓર્બિટ)
(ડિસ્ક્રિટ)
(વેવ-ફંક્શન)
(ઓરબિટલ મોશન)
(એન્ગ્યુલર મોમેન્ટમ)
(ગ્રાઉન્ડસ્ટેટ)
(ટ્રાન્ઝિશન)
(સેન્ટ્રિપિટલ ફોર્સ)
(એમિશન સ્પેક્ટ્રા)

શોષણ વર્ણપટ	Absorption spectra	(એબ્સોર્પ્શન સ્પેક્ટ્રા)
ગોળીય સરેરાશ	Spherical average	(સ્ફેરિકલ એવરેજ)
નમન	Orientation	(ઓરિએન્ટેશન)
નિષ્ક્રિય વાયુ	Inert gas	(ઇનર્ટ ગેસ)
આયનીકરણ	Ionization	(આયોનાઇઝેશન)
ક્ષ-કિરણ	X-ray	(એક્સ-રે)
વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત	Electric potential difference	(ઇલેક્ટ્રિક પોટેન્શિયલ ડિફરન્સ)
લાક્ષણિકતાઓ	Characteristics	(કેરેક્ટરિસ્ટિક્સ)
સત્તંગ	Continuous	(કન્ટિન્યુઅસ)
લાક્ષણિક વર્ણપટ	Characteristics spectrum	(કેરેક્ટરિસ્ટિક સ્પેક્ટ્રમ)
આવર્તકોષ્ટક	Periodic table	(પિરિઓડિક ટેબલ)
ઉત્તેજિત અવસ્થા	Excited state	(એક્સાઇટેડ સ્ટેટ)
એકરંગી	Monochromatic	(મોનોક્રોમેટિક)

પ્રકરણ 6

પરમાણુ-ક્રમાંક	Atomic number	(એટોમિક નંબર)
પરમાણુ-દળાંક	Atomic mass number	(એટોમિક માસનંબર)
સમસ્થાનિક	Isotope	(આઇસોટોપ)
સમદળીય	Isobar	(આઇસોબાર)
ન્યુક્લિયર-બળ	Nuclear force	(ન્યુક્લિયર ફોર્સ)
સ્થિતિ-ઊર્જા	Potential energy	(પોટેન્શિયલ એનર્જી)
લઘુઅંતરી બળ	Short range force	(શોર્ટરેન્જ ફોર્સ)
ગર્ભ	Core	(કોર)
સ્થિરતા	Stability	(સ્ટેબિલિટી)
ન્યુક્લિયર-ત્રિજ્યા	Nuclear radius	(ન્યુક્લિયર રેડિયસ)
અથડામણ	Collision	(કોલિઝન)
આંતરક્રિયા	Interaction	(ઇન્ટરેક્શન)
બંધન-ઊર્જા	Binding energy	(બાઇન્ડિંગ એનર્જી)
દળક્ષતિ	Mass defect	(માસ ડિફેક્ટ)
નૈસર્ગિક	Natural	(નેચરલ)
પ્રસ્ફુરણ	Flouresence	(ફ્લોરેસન્સ)
તત્વ	Element	(એલિમેન્ટ)
રેડિયો-એક્ટિવ વિકિરણ	Radioactive radiation	(રેડિયો-એક્ટિવ રેડિએશન)
બંધારણીય કણ	Constituent particle	(કોન્સ્ટિટ્યૂઅન્ટ પાર્ટિકલ)
ક્ષય-નિયતાંક	Decay constant	(ડિકે કોન્સ્ટન્ટ)
અલ્પજીવી	Short-lived	(શોર્ટ-લિવ્ડ)
ચરચાતાંકીય	Exponential	(એક્સ્પોનેન્શિયલ)

ક્ષય-વક્ર	Decay curve	(ડિકે કર્વ)
સરેરાશ જીવનકાળ	Mean life time	(મીનલાઈફ ટાઈમ)
અર્ધ-આયુ	Half life	(હાફલાઈફ)
જનક	Parent	(પેરન્ટ)
જનિત	Daughter	(ડોટર)
પાસા	Aspect	(આસ્પેક્ટ)
ન્યુક્લિયર-પ્રક્રિયા	Nuclear reaction	(ન્યુક્લિયર રિએક્શન)
ઊર્જાશોષક	Exorgonic	(એક્સોરગોનિક)
ઊર્જાક્ષેપક	Endergonic	(એન્ડરગોનિક)
સંરક્ષણ	Conservation	(કન્ઝર્વેશન)
ગતિ-ઊર્જા	Kinetic energy	(કાઈનેટિક એનર્જી)
ન્યુક્લિયર વિખંડન	Nuclear fission	(ન્યુક્લિયર ફિશન)
સંયોજિત ન્યુક્લિયસ	Compound nucleus	(કમ્પાઉન્ડ ન્યુક્લિઅસ)
ન્યુક્લિયર શૃંખલા-પ્રક્રિયા	Nuclear chain reaction	(ન્યુક્લિયર ચેઈન રિએક્શન)
ગર્ભની રચના	Core design	(કોરડિઝાઈન)
નિયંત્રક સળિયા	Controlling rods	(કન્ટ્રોલિંગ રોડ્સ)
તાપન્યુક્લિયર સંલયન	Thermonuclear fusion	(થરમોન્યુક્લિયર ફ્યુઝન)
ખતરા	Hazards	(હેઝાર્ડ્સ)

પ્રકરણ 7

સુવાહક	Conductor	(કન્ડક્ટર)
અવાહક	Insulator	(ઇન્સ્યુલેટર)
અંતર્ગત (શુદ્ધ) અર્ધવાહક	Intrinsic semi-conductor	(ઇન્ટ્રિન્સિક સેમીકન્ડક્ટર)
ચતુષ્ફલક	Tetrahedron	(ટેટ્રાહેડ્રોન)
સહસંયોજક બંધ	Co-valent bond	(કો-વેલન્ટ બોન્ડ)
ઉષ્મીય દોલન	Thermal oscillation	(થર્મલ ઓસ્સિલેશન)
સંખ્યા-ઘનતા	Number density	(નંબર-ડેન્સિટી)
અર્ધવાહક	Semi-conductor	(સેમી-કન્ડક્ટર)
બહિર્ગત અર્ધવાહક	Extrinsic semi-conductor	(એક્સ્ટ્રિન્સિક સેમીકન્ડક્ટર)
મુખ્ય વિદ્યુતભારવાહક	Majority charge carrier	(મેજોરિટી ચાર્જ કેરિયર)
સ્ફટિક લેટિસ	Crystal lattice	(ક્રિસ્ટલ લેટિસ)
સંખ્યાત્મક રીતે	Numerically	(ન્યુમેરિકલિ)
સંન્નિકટતા	Approximation	(એપ્રોક્સિમેશન)
સંપાત	Overlap	(ઓવરલેપ)
વિદ્યુતવહન	Electrical conduction	(ઇલેક્ટ્રિકલ કન્ડક્શન)
અશુદ્ધિ	Impurity	(ઇમ્પ્યુરિટી)
સમતોલનની સ્થિતિ	Equilibrium state	(ઇક્વિલિબ્રિયમ સ્ટેટ)
પારિભાષિક શબ્દો		

પુનઃસંયોજન	Recombination	(રિકોમ્બિનેશન)
પુનઃસંયોજન-ગુણાંક	Recombination coefficient	(રિકોમ્બિનેશન કો-એફિસિઅન્ટ)
સંયોજન	Compound	(કમ્પાઉન્ડ)
વિદ્યુતક્ષેત્ર	Electric field	(ઇલેક્ટ્રિક ફિલ્ડ)
ડેપ્લેશન બેરિયર	Depletion barrier	(ડિપ્લેશન બેરિયર)
સ્થિત લાક્ષણિકતા	Static characteristics	(સ્ટેટિક કેરેક્ટરિસ્ટિક્સ)
અર્ધતરંગ	Half wave	(હાફ વેવ)
પૂર્ણતરંગ	Full wave	(ફુલ વેવ)
ઝેનર અસર	Zener effect	(ઝેનર ઇફેક્ટ)
એવલાન્શ અસર	Avalanche effect	(એવલાન્શ ઇફેક્ટ)
વોલ્ટેજ નિયામક પરિપથ	Voltage regulator circuit	(વોલ્ટેજ રેગ્યુલેટર સર્કિટ)
પાતળું સ્તર	Thin layer	(થિન લેયર)
કાર્યરત વિસ્તાર	Active region	(એક્ટિવ રિજિઅન)
ગૌણ વિદ્યુતકોષ	Storage cell	(સ્ટોરેજ સેલ)
સ્થિત લાક્ષણિક આલેખ	Static characteristic curve	(સ્ટેટિક કેરેક્ટરિસ્ટિક કર્વ)
ઇનપુટ લાક્ષણિકતા	Input characteristic curve	(ઇનપુટ કેરેક્ટરિસ્ટિકર્વ)
આઉટપુટ લાક્ષણિકતા	Output characteristic	(આઉટપુટ કેરેક્ટરિસ્ટિક)
અવરોધ	Resistance	(રેઝિસ્ટન્સ)
પ્રવાહગેઈન	Current gain	(કરન્ટગેઈન)
પાવરગેઈન	Power gain	(પાવરગેઈન)
ધન લોજિક પદ્ધતિ	Positive logic system	(પોઝિટિવ લોજિક સિસ્ટમ)
ઋણ લોજિક પદ્ધતિ	Negative logic system	(નેગેટિવ લોજિક સિસ્ટમ)
બુલિયન સમીકરણ	Boolean equation	(બુલિયન ઇક્વેશન)
પ્રાથમિક ખ્યાલ	Primary concept	(પ્રાઇમરી કોન્સેપ્ટ)
પટ્ટી	Strip	(સ્ટ્રિપ)
પ્રકરણ 8		
કમ્યુનિકેશન પદ્ધતિ	Communication system	(કમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ)
સમાક્ષી	Co-axial	(કો-એક્સિઅલ)
મુક્ત અવકાશ	Free space	(ફ્રી સ્પેસ)
પૃષ્ઠ-તરંગ	Surface wave	(સર્ફેસ વેવ)
પૃષ્ઠ-તરંગ પ્રસરણ	Surface wave propagation	(સર્ફેસવેવ પ્રોપેગેશન)
દૃષ્ટિરેખી	Line of sight	(લાઇન ઓફ સાઇટ)
ભૂ-સ્થિર	Geo-stationary	(જિઓ-સ્ટેશનરી)
વિવર્ધિત	Magnifield	(મેગ્નિફાઇડ)
અધિમિશ્રણ	modulation	(મોડ્યુલેશન)

LOGARITHMS										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Difference
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5476	5489	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5598	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6445	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396

Antilogarithms													Antilogarithms																	
Mean Difference													Mean Difference																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228
01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304
02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381
03	1072	1074	1076	1078	1081	1084	1086	1089	1091	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459
04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3515	3524	3532	3540
05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1141	1143	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	55	3548	3556	3564	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622
06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707
07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793
08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	58	3802	3811	3820	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882
09	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	59	3890	3899	3908	3917	3926	3935	3944	3953	3963	3972
10	1269	1272	1275	1278	1281	1284	1287	1290	1293	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064
11	1289	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159
12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256
13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355
14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457
15	1415	1418	1421	1424	1427	1430	1433	1436	1439	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560
16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667
17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775
18	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	68	4796	4807	4818	4829	4841	4852	4863	4874	4885	4897
19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	69	4936	4949	4962	4974	4987	4999	5010	5022	5034	5047
20	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117
21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236
22	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	72	5249	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5345	5358
23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483
24	1743	1747	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610
25	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741
26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875
27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012
28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152
29	1959	1964	1969	1973	1978	1982	1986	1991	1995	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295
30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442
31	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	81	6457	6471	6485	6500	6515	6531	6546	6561	6577	6592
32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6715	6730	6745
33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902
34	2183	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063
35	2238	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228
36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396
37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568
38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745
39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2488	2494	2500	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925
40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110
41	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299
42	2650	2656	2662	2668	2675	2681	2687	2693	2698	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492
43	2704	2710	2716	2722	2728	2733	2739	2745	2751	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690
44	2761	2767	2773	2779	2786	2793	2799	2805	2812	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8830	8851	8872	8892
45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099
46	2894	2899	2904	2911	2917	2924	2931	2939	2944	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9289	9311
47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528
48	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	98	9550	9572	9594	96						

NATURAL SINES

Degree	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences	1'	2'	3'	4'	5'
0	0.0000	0.0017	0.0035	0.0053	0.0070	0.0087	0.0105	0.0122	0.0140	0.0157	3 6 9 12 15					
1	0.1715	0.1922	0.2099	0.2244	0.2364	0.2456	0.2524	0.2571	0.2600	0.2616	3 6 9 12 15					
2	0.3349	0.3566	0.3744	0.3884	0.4000	0.4094	0.4166	0.4219	0.4258	0.4285	3 6 9 12 15					
3	0.4923	0.5151	0.5339	0.5484	0.5600	0.5694	0.5766	0.5819	0.5858	0.5885	3 6 9 12 15					
4	0.6448	0.6686	0.6884	0.7044	0.7174	0.7274	0.7346	0.7399	0.7438	0.7465	3 6 9 12 15					
5	0.7923	0.8171	0.8384	0.8564	0.8714	0.8834	0.8924	0.8994	0.9047	0.9085	3 6 9 12 15					
6	1.0358	1.0616	1.0844	1.1044	1.1214	1.1354	1.1464	1.1544	1.1604	1.1645	3 6 9 12 15					
7	1.1948	1.2216	1.2454	1.2664	1.2844	1.2994	1.3114	1.3204	1.3274	1.3325	3 6 9 12 15					
8	1.3584	1.3862	1.4114	1.4344	1.4544	1.4714	1.4854	1.4964	1.5044	1.5104	3 6 9 12 15					
9	1.5344	1.5632	1.5884	1.6104	1.6294	1.6454	1.6584	1.6694	1.6784	1.6854	3 6 9 12 15					
10	1.7064	1.7362	1.7624	1.7854	1.8054	1.8224	1.8364	1.8484	1.8584	1.8664	3 6 9 12 15					
11	1.8824	1.9132	1.9404	1.9644	1.9854	2.0034	2.0184	2.0314	2.0424	2.0514	3 6 9 12 15					
12	2.0684	2.0992	2.1264	2.1504	2.1714	2.1894	2.2044	2.2174	2.2284	2.2374	3 6 9 12 15					
13	2.2544	2.2852	2.3124	2.3364	2.3574	2.3754	2.3904	2.4034	2.4144	2.4234	3 6 9 12 15					
14	2.4394	2.4702	2.4974	2.5214	2.5424	2.5604	2.5754	2.5884	2.5994	2.6084	3 6 9 12 15					
15	2.6244	2.6552	2.6824	2.7064	2.7274	2.7454	2.7604	2.7734	2.7844	2.7934	3 6 9 12 15					
16	2.8084	2.8392	2.8664	2.8904	2.9114	2.9294	2.9444	2.9574	2.9684	2.9774	3 6 9 12 15					
17	2.9934	3.0242	3.0514	3.0754	3.0964	3.1144	3.1294	3.1424	3.1534	3.1624	3 6 9 12 15					
18	3.1784	3.2092	3.2364	3.2604	3.2814	3.2994	3.3144	3.3274	3.3384	3.3474	3 6 9 12 15					
19	3.3624	3.3932	3.4204	3.4444	3.4654	3.4834	3.4984	3.5114	3.5224	3.5314	3 6 9 12 15					
20	3.5464	3.5772	3.6044	3.6284	3.6494	3.6674	3.6824	3.6954	3.7064	3.7154	3 6 9 12 15					
21	3.7304	3.7612	3.7884	3.8124	3.8334	3.8514	3.8664	3.8794	3.8904	3.8994	3 6 9 12 15					
22	3.9134	3.9442	3.9714	3.9954	4.0164	4.0344	4.0494	4.0624	4.0734	4.0824	3 6 9 12 15					
23	4.0964	4.1272	4.1544	4.1784	4.1994	4.2174	4.2324	4.2454	4.2564	4.2654	3 6 9 12 15					
24	4.2794	4.3102	4.3374	4.3614	4.3824	4.3994	4.4144	4.4274	4.4384	4.4474	3 6 9 12 15					
25	4.4594	4.4902	4.5174	4.5414	4.5624	4.5794	4.5944	4.6074	4.6184	4.6274	3 6 9 12 15					
26	4.6394	4.6702	4.6974	4.7214	4.7424	4.7594	4.7744	4.7874	4.7984	4.8074	3 6 9 12 15					
27	4.8194	4.8502	4.8774	4.9014	4.9224	4.9394	4.9544	4.9674	4.9784	4.9874	3 6 9 12 15					
28	4.9994	5.0302	5.0574	5.0814	5.1024	5.1194	5.1344	5.1474	5.1584	5.1674	3 6 9 12 15					
29	5.1794	5.2102	5.2374	5.2614	5.2824	5.2994	5.3144	5.3274	5.3384	5.3474	3 6 9 12 15					
30	5.3594	5.3902	5.4174	5.4414	5.4624	5.4794	5.4944	5.5074	5.5184	5.5274	3 6 9 12 15					
31	5.5394	5.5702	5.5974	5.6214	5.6424	5.6594	5.6744	5.6874	5.6984	5.7074	3 6 9 12 15					
32	5.7194	5.7502	5.7774	5.8014	5.8224	5.8394	5.8544	5.8674	5.8784	5.8874	3 6 9 12 15					
33	5.8994	5.9302	5.9574	5.9814	6.0024	6.0194	6.0344	6.0474	6.0584	6.0674	3 6 9 12 15					
34	6.0794	6.1102	6.1374	6.1614	6.1824	6.1994	6.2144	6.2274	6.2384	6.2474	3 6 9 12 15					
35	6.2594	6.2902	6.3174	6.3414	6.3624	6.3794	6.3944	6.4074	6.4184	6.4274	3 6 9 12 15					
36	6.4394	6.4702	6.4974	6.5214	6.5424	6.5594	6.5744	6.5874	6.5984	6.6074	3 6 9 12 15					
37	6.6194	6.6502	6.6774	6.7014	6.7224	6.7394	6.7544	6.7674	6.7784	6.7874	3 6 9 12 15					
38	6.7994	6.8302	6.8574	6.8814	6.9024	6.9194	6.9344	6.9474	6.9584	6.9674	3 6 9 12 15					
39	6.9794	7.0102	7.0374	7.0614	7.0824	7.0994	7.1144	7.1274	7.1384	7.1474	3 6 9 12 15					
40	7.1594	7.1902	7.2174	7.2414	7.2624	7.2794	7.2944	7.3074	7.3184	7.3274	3 6 9 12 15					
41	7.3394	7.3702	7.3974	7.4214	7.4424	7.4594	7.4744	7.4874	7.4984	7.5074	3 6 9 12 15					
42	7.5194	7.5502	7.5774	7.6014	7.6224	7.6394	7.6544	7.6674	7.6784	7.6874	3 6 9 12 15					
43	7.6994	7.7302	7.7574	7.7814	7.8024	7.8194	7.8344	7.8474	7.8584	7.8674	3 6 9 12 15					
44	7.8794	7.9102	7.9374	7.9614	7.9824	7.9994	8.0144	8.0274	8.0384	8.0474	3 6 9 12 15					

NATURAL SINES

Degree	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences	1'	2'	3'	4'	5'
45	7.0711	7.0833	7.0966	7.1108	7.1260	7.1420	7.1588	7.1762	7.1941	7.2124	2 4 6 8 10					
46	7.1903	7.2066	7.2234	7.2406	7.2582	7.2762	7.2946	7.3134	7.3324	7.3516	2 4 6 8 10					
47	7.3710	7.3884	7.4062	7.4244	7.4430	7.4618	7.4808	7.4999	7.5192	7.5386	2 4 6 8 10					
48	7.5591	7.5784	7.5980	7.6178	7.6378	7.6579	7.6782	7.6986	7.7191	7.7397	2 4 6 8 10					
49	7.7600	7.7806	7.8014	7.8224	7.8434	7.8644	7.8854	7.9064	7.9274	7.9484	2 4 6 8 10					
50	7.9694	7.9902	8.0110	8.0318	8.0526	8.0734	8.0942	8.1150	8.1358	8.1564	2 4 6 8 10					
51	8.1769	8.1976	8.2182	8.2388	8.2594	8.2800	8.3006	8.3211	8.3416	8.3621	2 4 6 8 10					
52	8.3824	8.4029	8.4234	8.4438	8.4642	8.4846	8.5050	8.5254	8.5458	8.5661	2 4 6 8 10					
53	8.5864	8.6067	8.6270	8.6472	8.6674	8.6876	8.7078	8.7279	8.7480	8.7681	2 4 6 8 10					
54	8.7881	8.8082	8.8282	8.8482	8.8682	8.8881	8.9080	8.9279	8.9478	8.9676	2 4 6 8 10					
55	8.9874	9.0071	9.0268	9.0464	9.0660	9.0856	9.1051	9.1246	9.1441	9.1636	2 4 6 8 10					
56	9.1830	9.2024	9.2218	9.2412	9.2606	9.2799	9.2992	9.3185	9.3378	9.3570	2 4 6 8 10					
57	9.3762	9.3954	9.4146	9.4338	9.4529	9.4720	9.4911	9.5102	9.5293	9.5484	2 4 6 8 10					
58	9.5674	9.5864	9.6054	9.6244	9.6434	9.6624	9.6813	9.7002	9.7191	9.7380	2 4 6 8 10					
59	9.7569	9.7758	9.7946	9.8134	9.8322	9.8510	9.8697	9.8884	9.9071	9.9258	2 4 6 8 10					
60	9.9444	9.9630	9.9816	10.0002	10.0188	10.0373	10.0558	10.0742	10.0926	10.1110	2 4 6 8 10					

NATURAL TANGENTS													NATURAL TANGENTS																									
Degree	0°	5	12	18	24	30	36	42	48	54	Main Differences					54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Degree												
	0.0°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.6°	0.7°	0.8°	0.9°	1	2	3	4	5		0.9°	0.8°	0.7°	0.6°	0.5°	0.4°	0.3°	0.2°	0.1°	0.0°	45											
1	0.0175	0.192	0.209	0.227	0.244	0.262	0.279	0.297	0.314	0.332	0.157	3	6	9	12	15	0.157	0.140	0.122	0.105	0.087	0.070	0.052	0.035	0.017	0.000	45											
2	0.349	0.387	0.384	0.419	0.437	0.454	0.472	0.489	0.507	0.525	0.352	3	6	9	12	15	0.352	0.314	0.279	0.244	0.209	0.175	0.140	0.105	0.070	0.035	46											
3	0.524	0.542	0.559	0.577	0.594	0.612	0.629	0.647	0.664	0.682	0.507	3	6	9	12	15	0.507	0.469	0.437	0.405	0.373	0.341	0.309	0.277	0.245	0.213	47											
4	0.689	0.717	0.734	0.752	0.769	0.787	0.805	0.822	0.840	0.857	0.682	3	6	9	12	15	0.682	0.644	0.612	0.580	0.548	0.516	0.484	0.452	0.420	0.388	48											
5	0.875	0.892	0.910	0.928	0.945	0.963	0.981	0.998	1.016	1.033	0.857	3	6	9	12	15	0.857	0.819	0.787	0.755	0.723	0.691	0.659	0.627	0.595	0.563	49											
6	1.051	1.069	1.086	1.104	1.122	1.139	1.157	1.175	1.192	1.210	1.033	3	6	9	12	15	1.033	0.995	0.963	0.931	0.899	0.867	0.835	0.803	0.771	0.739	50											
7	1.228	1.246	1.263	1.281	1.299	1.317	1.334	1.352	1.370	1.388	1.210	3	6	9	12	15	1.210	1.172	1.139	1.106	1.073	1.040	1.007	0.974	0.941	0.908	51											
8	1.405	1.423	1.441	1.459	1.477	1.495	1.512	1.530	1.548	1.566	1.388	3	6	9	12	15	1.388	1.350	1.317	1.284	1.251	1.218	1.185	1.152	1.119	1.086	52											
9	1.584	1.602	1.620	1.638	1.655	1.673	1.691	1.709	1.727	1.745	1.566	3	6	9	12	15	1.566	1.528	1.495	1.462	1.429	1.396	1.363	1.330	1.297	1.264	53											
10	1.763	1.781	1.799	1.817	1.835	1.853	1.871	1.889	1.906	1.924	1.745	3	6	9	12	15	1.745	1.707	1.674	1.641	1.608	1.575	1.542	1.509	1.476	1.443	54											
11	1.944	1.962	1.980	1.998	2.016	2.035	2.053	2.071	2.089	2.107	1.928	3	6	9	12	15	1.928	1.890	1.857	1.824	1.791	1.758	1.725	1.692	1.659	1.626	55											
12	2.126	2.144	2.162	2.180	2.199	2.217	2.235	2.253	2.271	2.289	2.109	3	6	9	12	15	2.109	2.071	2.038	2.005	1.972	1.939	1.906	1.873	1.840	1.807	56											
13	2.309	2.327	2.345	2.364	2.382	2.401	2.419	2.438	2.456	2.475	2.295	3	6	9	12	15	2.295	2.257	2.224	2.191	2.158	2.125	2.092	2.059	2.026	1.993	57											
14	2.493	2.512	2.530	2.549	2.566	2.586	2.605	2.623	2.642	2.661	2.481	3	6	9	12	15	2.481	2.443	2.410	2.377	2.344	2.311	2.278	2.245	2.212	2.179	58											
15	2.679	2.698	2.717	2.736	2.754	2.773	2.792	2.811	2.830	2.849	2.669	3	6	9	12	15	2.669	2.631	2.598	2.565	2.532	2.499	2.466	2.433	2.400	2.367	59											
16	2.867	2.886	2.905	2.924	2.943	2.962	2.981	3.000	3.019	3.038	2.858	3	6	9	13	16	2.858	2.820	2.787	2.754	2.721	2.688	2.655	2.622	2.589	2.556	60											
17	3.057	3.076	3.096	3.115	3.134	3.153	3.172	3.191	3.211	3.230	3.050	3	6	10	13	16	3.050	3.012	2.979	2.946	2.913	2.880	2.847	2.814	2.781	2.748	61											
18	3.249	3.268	3.288	3.307	3.327	3.346	3.365	3.384	3.404	3.424	3.244	3	6	10	13	16	3.244	3.206	3.173	3.140	3.107	3.074	3.041	3.008	2.975	2.942	62											
19	3.443	3.463	3.482	3.502	3.522	3.541	3.561	3.581	3.600	3.620	3.440	3	6	10	13	16	3.440	3.402	3.369	3.336	3.303	3.270	3.237	3.204	3.171	3.138	63											
20	3.640	3.659	3.679	3.699	3.719	3.739	3.759	3.779	3.799	3.819	3.639	3	6	10	13	17	3.639	3.601	3.568	3.535	3.502	3.469	3.436	3.403	3.370	3.337	64											
21	3.839	3.859	3.879	3.899	3.919	3.939	3.959	3.979	4.000	4.020	3.840	3	6	10	13	17	3.840	3.802	3.769	3.736	3.703	3.670	3.637	3.604	3.571	3.538	65											
22	4.040	4.061	4.081	4.101	4.122	4.142	4.163	4.183	4.204	4.224	4.044	3	6	10	14	17	4.044	4.006	3.973	3.940	3.907	3.874	3.841	3.808	3.775	3.742	66											
23	4.245	4.265	4.286	4.307	4.327	4.348	4.369	4.390	4.411	4.431	4.251	3	7	10	14	17	4.251	4.213	4.180	4.147	4.114	4.081	4.048	4.015	3.982	3.949	67											
24	4.452	4.473	4.494	4.515	4.536	4.557	4.578	4.599	4.621	4.642	4.462	4	7	11	14	18	4.462	4.424	4.391	4.358	4.325	4.292	4.259	4.226	4.193	4.160	68											
25	4.663	4.684	4.706	4.727	4.748	4.770	4.791	4.813	4.834	4.856	4	7	11	14	18	4.856	4.818	4.785	4.752	4.719	4.686	4.653	4.620	4.587	4.554	4.521	69											
26	4.877	4.899	4.921	4.942	4.964	4.986	5.008	5.029	5.051	5.073	4	7	11	15	18	5.073	5.035	5.002	4.969	4.936	4.903	4.870	4.837	4.804	4.771	4.738	70											
27	5.095	5.117	5.139	5.161	5.184	5.206	5.228	5.250	5.272	5.295	4	7	11	15	18	5.295	5.257	5.224	5.191	5.158	5.125	5.092	5.059	5.026	4.993	4.960	71											
28	5.317	5.340	5.362	5.384	5.407	5.430	5.452	5.474	5.496	5.518	4	7	11	15	19	5.518	5.480	5.447	5.414	5.381	5.348	5.315	5.282	5.249	5.216	5.183	72											
29	5.543	5.566	5.589	5.612	5.635	5.658	5.681	5.704	5.727	5.750	4	8	12	15	19	5.750	5.712	5.679	5.646	5.613	5.580	5.547	5.514	5.481	5.448	5.415	73											
30	5.774	5.797	5.820	5.844	5.867	5.890	5.914	5.938	5.961	5.985	4	8	12	16	20	5.985	5.947	5.914	5.881	5.848	5.815	5.782	5.749	5.716	5.683	5.650	74											
31	6.009	6.032	6.056	6.080	6.104	6.128	6.152	6.176	6.200	6.224	4	8	12	16	20	6.224	6.186	6.153	6.120	6.087	6.054	6.021	5.988	5.955	5.922	5.889	75											
32	6.249	6.273	6.297	6.321	6.346	6.371	6.395	6.420	6.445	6.469	4	8	12	16	20	6.469	6.431	6.398	6.365	6.332	6.299	6.266	6.233	6.200	6.167	6.134	76											
33	6.494	6.519	6.544	6.569	6.594	6.619	6.644	6.669	6.694	6.719	4	8	13	17	21	6.719	6.681	6.648	6.615	6.582	6.549	6.516	6.483	6.450	6.417	6.384	77											
34	6.745	6.771	6.796	6.822	6.847	6.873	6.899	6.924	6.950	6.976	4	9	13	17	21	6.976	6.938	6.905	6.872	6.839	6.806	6.773	6.740	6.707	6.674	6.641	78											
35	7.002	7.028	7.054	7.080	7.107	7.133	7.159	7.186	7.212	7.239	4	9	13	18	22	7.239	7.201	7.168	7.135	7.102	7.069	7.036	7.003	6.970	6.937	6.904	79											
36	7.265	7.292	7.319	7.346	7.373	7.400	7.427	7.454	7.481	7.508	5	9	13	18	23	7.508	7.470	7.437	7.404	7.371	7.338	7.305	7.272	7.239	7.206	7.173	80											
37	7.536	7.563	7.590	7.618	7.646	7.673	7.701	7.729	7.757	7.785	5	9	14	18	23	7.785	7.747	7.714	7.681	7.648	7.615	7.582	7.549	7.516	7.483	7.450	81											
38	7.813	7.841	7.869	7.898	7.926	7.954	7.983	8.012	8.040	8.069	5	9	14	19	24	8.069	8.031	8.000	7.968	7.937	7.905	7.874	7.842	7.811	7.779	7.748	82											
39	8.098	8.127	8.156	8.185	8.214	8.243	8.273	8.302	8.332	8.361	5	10	15	20	24	8.361	8.323	8.292	8.261	8.230	8.199	8.168	8.137	8.106	8.075	8.044	83											
40	8.391	8.421	8.451	8.481	8.511	8.541	8.571	8.601	8.632	8.662	5	10	15	20	25	8.662	8.624	8.593	8.562	8.531	8.500	8.469	8.438	8.407	8.376	8.345	84											
41	8.693	8.724	8.754	8.785	8.816	8.847	8.878	8.909	8.940	8.972	5	10	16	21	26	8.972	8.934	8.903	8.872	8.841	8.810	8.779	8.748	8.717	8.686	8.655	85											
42	9.004	9.036	9.067	9.099	9.131	9.163	9.195	9.228	9.260	9.293	5	11	16	21	27	9.293	9.255	9.224	9.193	9.162	9.131	9.100	9.069	9.038	9.007	8.976	86											
43	9.325	9.358	9.391	9.424	9.457	9.490	9.523	9.556	9.589	9.623	5	11	17	22	28	9.623	9.585	9.554	9.523	9.492	9.461	9.430	9.399	9.368	9.337	9.306	87											
44	9.657	9.691	9.725	9.759	9.793	9.827	9.861	9.895	9.930	9.965	6	11	17	23	29	9.965	9.927	9.896	9.865	9.834	9.803	9.772	9.741	9.710	9.679	9.648	88											
													Mean Differences no longer sufficiently accurate													Mean Differences no longer sufficiently accurate												
													8.0285													8.0285												
													9.2572													9.2572												
													11.20													11.20												
													13.95													13.95												
													18.46													18.46												
													27.27													27.27												
													52.08													52.08												
													573.0													573.0												