## વધારાના સ્વાધ્યાય

**7.12** 20 mH ઇન્ડક્ટર અને 50 μF કેપેસીટન્સ ધરાવતાં LC પરિપથમાં કેપેસીટર પર પ્રારંભિક વિદ્યુતભાર 10 mC છે. પરિપથનો અવરોધ અવગણી શકાય તેટલો છે. ધારોકે પરિપથ પૂર્ણ કરવામાં આવે છે તે ક્ષણ $t = 0$ છે.

(a) કુલ પ્રારંભિક સંગ્રહિત ઊર્જા કેટલી હશે ? શું તેનું LC દોલનો દરમ્યાન સંરક્ષણ થશે ?

(b) પરિપથની પ્રાકૃતિક આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

(c) કયા સમયે સંગ્રહીત ઊર્જા

(i) સંપૂર્ણ વિદ્યુતઊર્જા રૂપે (એટલે કે કેપેસીટરમાં સંગ્રહિત) હશે ?

(ii) સંપૂર્ણ ચુંબકીયઊર્જા રૂપે (એટલે કે ઇન્ડક્ટરમાં સંગ્રહિત) હશે ?

(d) ઇન્ડક્ટર અને કેપેસીટર વચ્ચે કયા-કયા સમયે કુલ ઊર્જા સમાન રીતે વહેંચાશે ?

(e) જો આ પરિપથમાં એક અવરોધ દાખલ કરવામાં આવે તો છેવટે કેટલી ઊર્જા ઉષ્મા સ્વરૂપે વ્યય પામશે ?

**7.13** 240 V, 50 Hz ac સ્રોત સાથે 0.50 H ઇન્ડકટન્સ ધરાવતી કોઇલ અને 100 Ω અવરોધને જોડેલ છે.

(a) કોઇલમાં મહત્તમ પ્રવાહ કેટલો હશે ?

(b) મહત્તમ વોલ્ટેજ અને મહત્તમ પ્રવાહ વચ્ચે સમય તફાવત કેટલો હશે ?

**7.14** સ્વાધ્યાય 7.13માં જે પરિપથને ઊંચી આવૃત્તિવાળા સ્રોત (240 V, –10 kHz) સાથે જોડવામાં આવે તો (a) અને (b) સ્વાધ્યાયનાં જવાબ મેળવો. ''ખૂબ જ ઊંચી આવૃત્તિએ પરિપથમાં રહેલ ઇન્ડક્ટર ખુલ્લા પરિપથ (Open Circuit)ની માફત વર્તે છે.''– એ વિધાન સમજાવો. dc પરિપથમાં સ્થાયી અવસ્થા આવે પછી ઇન્ડક્ટરની વર્તણૂક કેવી હશે ?

**7.15** 110 V, 60 Hz ac સ્રોત સાથે 100 μFનું કેપેસીટર અને 40 Ω અવરોધ શ્રેણીમાં જોડેલ છે.

(a) પરિપથમાં મહત્તમ પ્રવાહ કેટલો હશે ?

(b) મહત્તમ પ્રવાહ અને મહત્તમ વોલ્ટેજ વચ્ચેનો સમય તફાવત કેટલો હશે ?

**7.16** સ્વાધ્યાય 7.15માં પરિપથ સાથે 110 V, 12 kHzનો સ્રોત જોડવામાં આવે તો (a) અને (b)નાં જવાબો મેળવો તે પરથી ''ખૂબ જ ઊંચી આવૃત્તિએ કેપેસીટર વાહક બને છે.'' - એ વિધાન સમજાવો. dc પરિપથમાં સ્થાયી અવસ્થા આવે પછી કેપેસીટરની વર્તણૂંકની સરખામણી આ વર્તણૂંક સાથે કરો.

**7.17** LCR શ્રેણી પરિપથમાં સ્રોતની આવૃત્તિને અનુનાદ આવૃત્તિ જેટલી રાખીને જો L, C અને R ત્રણેય ઘટકોને સમાંતરે જોડવામાં આવે તો, દર્શાવો કે આ આવૃત્તિએ LCR સમાંતર પરિપથમાં કુલ પ્રવાહ લઘુત્તમ હોય છે. સ્વાધ્યાય 7.11માં દર્શાવેલ ઘટકો અને સ્રોત માટે આ આવૃત્તિએ પરિપથની દરેક શાખાનાં પ્રવાહનું rms મૂલ્ય મેળવો.

**7.18** 230V, 50 Hz ac સ્રોત સાથે 80 mH ઇન્ડક્ટર અને 60 μF કેપેસીટરને શ્રેણીમાં જોડેલ છે. પરિપથનો અવરોધ અવગણ્ય છે.

(a) પ્રવાહ કંપવિસ્તાર અને rms મૂલ્ય મેળવો.

(b) દરેક ઘટકનાં બે છેડા વચ્ચેનાં વૉલ્ટેજ ડ્રોપનું rms મૂલ્ય મેળવો.

(c) ઇન્ડક્ટરમાં સ્થાનાંતરીત થયેલ સરેરાશ પાવર કેટલો હશે ?

(d) કેપેસીટરમાં સ્થાનાંતરિત થયેલ સરેરાશ પાવર કેટલો હશે ?

(e) પરિપથ વડે શોષાતો કુલ સરેરાશ પાવર કેટલો હશે ? (સરેરાશ એટલે એક ચક્ર ઉપરનું સરેરાશ).

**7.19** ધારોકે સ્વાધ્યાય 7.18નાં પરિપથમાં 15 Ω અવરોધ છે. પરિપથનાં દરેક ઘટકમાં સ્થાનાંતરિત સરેરાશ પાવર અને શોષાતો કુલ પાવર મેળવો.

**7.20** L = 0.12 H, C = 480 *n*F તથા R = 23 Ω ધરાવતા LCR શ્રેણી પરિપથ સાથે ચલ આવૃત્તિવાળો 230 Vનો સ્રોત જોડેલ છે.

(a) પ્રવાહ કંપવિસ્તાર મહત્તમ બને તે માટે સ્રોત આવૃત્તિ કેટલી હશે ? આ મહત્તમ મૂલ્ય મેળવો.

(b) પરિપથ વડે શોષાતા સરેરાશ પાવરનું મૂલ્ય મહત્તમ બને તે માટે સ્રોત આવૃત્તિ કેટલી હશે ? આ મહત્તમ પાવરનું મૂલ્ય મેળવો.

(c) પરિપથમાં સ્થાનાંતરિત પાવર, અનુનાદ આવૃત્તિ માટેના પાવર કરતાં અડધો હોય તે આવૃત્તિઓના મૂલ્યો ક્યાં ક્યાં છે ? આ આવૃત્તિએ પ્રવાહનો કંપવિસ્તાર કેટલો હશે ?

(d) આપેલ પરિપથનો Q-ફેક્ટર કેટલો હશે ?

**7.21** L = 3.0 H, C = 27 μF અને R = 7.4 Ω ધરાવતાં LCR શ્રેણી પરિપથ માટે અનુનાદ આવૃત્તિ અને Q-ફેક્ટર મેળવો. પરિપથના અનુનાદની તીક્ષ્ણતામાં સુધારો કરવા માટે તેની ''અર્ધ મહત્તમ આગળ સંપૂર્ણ પહોળાઈ'', ઘટાડીને અડધી કરવામાં આવે છે. આમ, કરવા માટેનો યોગ્ય રસ્તો સૂચવો.

**7.22** નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો.

(a) કોઈપણ ac પરિપથમાં લાગુ પાડેલ તાત્ક્ષણિક વોલ્ટેજ, તે પરિપથમાં શ્રેણી જોડાણમાં રહેલાં ઘટકોનાં બે છેડાઓ વચ્ચેનાં તાત્ક્ષણિક વોલ્ટેજના બૈજીક સરવાળા બરાબર હોય છે ? આ જ પરિણામ rms વોલ્ટેજ માટે સત્ય હોય છે ?

(b) ઈન્ડક્શન કોઇલનાં પ્રાથમિક પરિપથમાં કેપેસીટરનો ઉપયોગ થાય છે.

(c) લાગુ પાડેલ વોલ્ટેજ સિગ્નલ dc વૉલ્ટેજ અને ઊંચી આવૃત્તિવાળા ac વોલ્ટેજના સંપાતથી બનેલું છે. પરિપથ ઈન્ડક્ટર અને કેપેસીટરનું શ્રેણી જોડાણ ધરાવે છે. દર્શાવો કે, dc સિગ્નલ કેપેસીટરનાં બે છેડા વચ્ચે અને ac સિગ્નલ ઈન્ડ્કટરનાં બે છેડા વચ્ચે પ્રદર્શિત (Appear) થશે.

(d) એક ચોક કોઇલ અને બલ્બ શ્રેણીમાં dc લાઇન (સ્રોત) સાથે જોડેલ છે. બલ્બ પ્રકાશિત થતો દેખાય છે. ચોક કોઇલમાં લોખંડનું ગર્ભ (Core) દાખલ કરતાં બલ્બની પ્રકાશિતતામાં કોઇ જ ફેરફાર થતો નથી. જો આ જ જોડાણ ac લાઇન સાથે કરવામાં આવ્યું હોય તો તેને અનુરૂપ તમારા અવલોકનનું અનુમાન કરો.

(e) ac સપ્લાય (મેઇન્સ) સાથે જોડેલ ફલોરેસન્ટ ટ્યુબનો ઉપયોગ કરવા માટે ચોક કોઇલ શા માટે જરૂરી છે ? આપણે ચોક કોઇલને બદલે સામાન્ય અવરોધનો ઉપયોગ શા માટે ન કરી શકીએ ?

**7.23** પાવર ટ્રાન્સમિશન લાઇનમાં, 4000 આંટા ધરાવતા પ્રાયમરી કોઇલવાળા સ્ટેપડાઉન ટ્રાન્સફોર્મરને 2300 V જેટલા વૉલ્ટેજે ઈનપુટ પાવર પુરો પાડવામાં આવે છે. જો આઉટપુટ વોલ્ટેજ 230 V મેળવવો હોય તો ગૌણ ગૂંચળામાં આંટાની સંખ્યા કેટલી રાખવી જોઈએ ?

**7.24** એક હાઇડ્રોઇલેક્ટ્રીક પાવર પ્લાન્ટમાં દબાણ કરતું પાણીનું હેડ (સ્તંભ) 300 mની ઊંચાઈ પર છે અને મળતો પાણીનો પ્રવાહ 100 $m^3 s^{-1}$ છે, જો ટર્બાઇન જનરેટરની કાર્યક્ષમતા 60 % હોય તો પ્લાન્ટમાંથી મળતા વિદ્યુત પાવરનું અનુમાન કરો. ($g = 9.8\ ms^{-2}$)

**7.25** 440 V ઉત્પાદન શક્તિ ધરાવતા વિદ્યુત પ્લાન્ટની 15 km દૂર 220 V જેટલા વૉલ્ટેજે 800 kW વિદ્યુત પાવરની જરૂરીયાતવાળું એક નાનું શહેર આવેલું છે. પાવર લઈ જતી બે તારની લાઇનનો અવરોધ 0.5 Ω/km છે. શહેરમાંના સબ-સ્ટેશને આવેલા 4000-220 Vના સ્ટેપડાઉન ટ્રાન્સફોર્મર દ્વારા શહેરને પાવર મળે છે.

(a) પાવર લાઇનમાં ઉષ્મા સ્વરૂપે વ્યય થતા પાવરનો અંદાજ મેળવો.

(b) લીકેજને કારણે થતો પાવર અવગણ્ય છે તેમ ધારતાં પ્લાન્ટ દ્વારા કેટલો પાવર પુરો પડાવો જોઈએ ?

(c) પ્લાન્ટ પાસે જરૂરી સ્ટેપઅપ ટ્રાન્સફોર્મરની લાક્ષણિકતા જણાવો.

**7.26** ઉપરોક્ત (7.25) સ્વાધ્યાયમાં અગાઉના ટ્રાન્સફોર્મરને બદલે 40000 - 220 V સ્ટેપડાઉન ટ્રાન્સફોર્મરનો ઉપયોગ કરવામાં આવે તો તમામ જવાબો મેળવો. (અગાઉની જેમજ ક્ષરણ (ગળતર, leakage) પાવર અવગણો. જો કે આવી ધારણા સારી નથી કારણ કે ટ્રાન્સમિશનમાં ઉચ્ચ વોલ્ટેજ સંકળાયેલ છે). તે પરથી સમજાવો કે શા માટે ઉચ્ચ વોલ્ટેજે પાવર ટ્રાન્સમિશન કરવાનું પસંદ કરવામાં આવે છે ?

## પ્રકરણ આઠ

# વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો
# (ELECTRO MAGNETIC WAVES)

### 8.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

પ્રકરણ-4માં આપણે જાણ્યું કે વિદ્યુતપ્રવાહ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે અને બે પ્રવાહધારિત તાર એકબીજા પર ચુંબકીયબળ લગાડે છે. ઉપરાંત, પ્રકરણ-6માં આપણે જોયું કે સમય સાથે બદલાતું ચુંબકીયક્ષેત્ર વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. શું આનાથી ઉલટું પણ સાચું છે ? શું સમય સાથે બદલાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે ? જેમ્સ ક્લાર્ક મેક્સવેલ (James Clerk Maxwell – 1831-1879)ના મત અનુસાર આવું ખરેખર શક્ય છે. ફક્ત વિદ્યુતપ્રવાહ જ નહીં પરંતુ સમય સાથે બદલાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર પણ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરી શકે છે. ઍમ્પિયરના બંધ ગાળાના નિયમ (Circuital Law)ની મદદથી સમય સાથે બદલાતા વિદ્યુતપ્રવાહ સાથે જોડાયેલા કેપેસીટર (સંધારક)ની બહારના ભાગમાં ચુંબકીયક્ષેત્ર શોધવાના પ્રયત્નમાં, મેક્સવેલને ઍમ્પિયરના બંધ ગાળાના (Circuital) નિયમમાં અસાતત્યતા જણાઈ. આ અસાતત્યતા દૂર કરવા માટે તેણે એક વધારાના પ્રવાહની જરૂરિયાત સૂચવી જેને સ્થાનાંતર (Displacement) પ્રવાહ નામ આપ્યું.

મેક્સવેલે વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો અને તેના ઉદ્‌ગમો, વિદ્યુતભાર અને પ્રવાહઘનતાને સાંકળતા સમીકરણોના ગણ (સમૂહ)ની રચના કરી. આ સમીકરણો મેક્સવેલના સમીકરણો તરીકે ઓળખાય છે. આ સમીકરણો, લોરેન્ટ્ઝ બળ-સૂત્ર (પ્રકરણ-4)ની સાથે મળીને વિદ્યુતચુંબકત્વના બધા મૂળભૂત નિયમોને ગાણિતીય રીતે રજૂ કરે છે.

મેક્સવેલના સમીકરણોમાંથી ઉદ્‌ભવતું સૌથી અગત્યનું અનુમાન એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું અસ્તિત્વ છે કે જે સમય સાથે બદલાતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રોનું (સંયુક્ત રીતે) અવકાશમાં પ્રસરણ દર્શાવે છે. આ સમીકરણો મુજબ આ તરંગોની ઝડપ, પ્રકાશીય માપનો દ્વારા મળતા પ્રકાશની ઝડપના મૂલ્ય ($3 \times 10^8$ m/s)ની ખૂબ જ નજીકનું હોવાનું માલુમ પડ્યું. આમ, પ્રકાશ એક વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે તેવું દૃઢ

**જેમ્સ ક્લર્ક મેક્સવેલ (1831-1879)** એડીનબર્ગ, સ્કોટલેન્ડમાં જન્મેલા ઓગણીસમી સદીના મહાન ભૌતિક-શાસ્ત્રીઓમાંના એક. તેમણે વાયુમાં અણુઓ માટેનો ઉષ્મીય વેગ-વિતરણનો નિયમ તારવ્યો અને તેઓ સૌપ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા કે જેમણે પ્રાયોગિક રીતે મળતી રાશિઓ જેવી કે શ્યાનતા વગેરે પરથી આણ્વિય પ્રાચલોનો વિશ્વસનીય અંદાજ (Estimate) મેળવ્યો. મેક્સવેલની સૌથી મોટી સિદ્ધિ એ (કુલંબ, ઓરસ્ટેડ, ઍમ્પિયર અને ફેરેડે દ્વારા શોધાયેલા) વિદ્યુતકીય અને ચુંબકીય નિયમોને સુસંગત સમીકરણોનાં એક જૂથ (ગણ) તરીકે એકીકીકરણ (Unification) કર્યું તે છે જે હવે મેક્સવેલના સમીકરણોથી ઓળખાય છે. આની મદદથી તે સૌથી અગત્યના તારણ પર આવ્યા કે પ્રકાશ એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે. રસપ્રદ બાબત તો એ છે કે કુદરતમાં વિદ્યુત કણ સ્વરૂપમાં (Particulate) છે એવા (ફેરેડેના વિદ્યુત વિશ્લેષણના નિયમો દ્વારા દઢપણે સૂચવાયેલા) વિચાર સાથે તે સહમત ન હતા.

જેમ્સ ક્લર્ક મેક્સવેલ (1831-1879)

રીતે તારવી શકાયું. આમ, મેક્સવેલે વિદ્યુતકીય, ચુંબકીય અને પ્રકાશ એમ ત્રણેય શાખા (વિષય)ને સાંકળવાનું કાર્ય કર્યું. 1885માં હર્ટ્ઝે પ્રાયોગિક રીતે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું અસ્તિત્વ દર્શાવ્યું. સમય જતાં માર્કોની અને અન્યોએ તેનો પ્રૌદ્યોગિક (Technological) ઉપયોગ કરી સંદેશાવ્યવહારમાં ક્રાંતિ સર્જી, જેના આજે આપણે સાક્ષી છીએ.

આ પ્રકરણમાં સૌપ્રથમ આપણે સ્થાનાંતર પ્રવાહની જરૂરિયાત અને તેના પરિણામોની ચર્ચા કરીશું. ત્યારબાદ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની વર્ણનાત્મક રજૂઆત કરીશું. $\gamma$-કિરણો (તરંગલંબાઈ $\sim 10^{-12}$ m)થી લાંબા રેડિયોતરંગો (તરંગલંબાઈ $\sim 10^{6}$ m) સુધી પથરાયેલા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના વર્ણપટનું વર્ણન કરીશું. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોને સંદેશાવ્યવહાર માટે કેવી રીતે મોકલવા અને ગ્રહણ (Receive) કરવા તેનું વર્ણન પ્રકરણ-15માં કરીશું.

## 8.2 સ્થાનાંતર પ્રવાહ (DISPLACEMENT CURRENT)

આપણે પ્રકરણ-4માં જોયું કે વિદ્યુતપ્રવાહ તેની આસપાસ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. મેક્સવેલે દર્શાવ્યું કે, તાર્કિક સંગતતા માટે બદલાતા વિદ્યુતક્ષેત્ર વડે પણ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થવું જ જોઈએ. આ (ભૌતિક) અસર એ ખૂબ જ અગત્યની છે, કેમકે તે રેડિયો તરંગો, ગામા તરંગો અને દશ્ય પ્રકાશ ઉપરાંત બીજા બધા જ સ્વરૂપના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું અસ્તિત્વ સમજાવે છે.

કેવી રીતે બદલાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર એ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે તે સમજવા માટે, કેપેસીટર (સંધારક)ના વિદ્યુતભારિત થવાની (Charging) પ્રક્રિયા ધ્યાનમાં લો અને સંધારકના બહારના બિંદુએ ચુંબકીય ક્ષેત્ર શોધવા માટે ઍમ્પિયરનો સરકીટલ (પરિપથીય) નિયમ (પ્રકરણ-4) લાગુ પાડો.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i(t) \tag{8.1}$$

આકૃતિ 8.1(a)માં એક સમાંતર પ્લેટ ધરાવતું કેપેસીટર (સંધારક) C કે જે સમય-આધારિત પ્રવાહ $i(t)$ ધરાવતા પરિપથનો ભાગ છે તે દર્શાવેલ છે. સમાંતર પ્લેટ ધરાવતા કેપેસીટરની બહારના ભાગમાં આવેલ બિંદુ P આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર શોધીએ. આ માટે, એક $r$ ત્રિજ્યાનો સમતલીય વર્તુળાકાર બંધગાળો (Loop) કે જેનું સમતલ એ પ્રવાહધારિત તારની દિશાને લંબ અને તે તારને સંમિત રીતે કેન્દ્રિય થયેલ છે, તેને ધ્યાનમાં લો. [આકૃતિ 8.1(b)]. આકૃતિની સંમિતિ પરથી, ચુંબકીયક્ષેત્ર એ વર્તુળાકાર બંધગાળાના પરિઘની દિશામાં હશે અને તેનું માન ગાળા પરના દરેક બિંદુ આગળ સમાન હશે. જો ચુંબકીયક્ષેત્રનું માન B હોય તો, સમીકરણ (8.1)ની ડાબી બાજુ $B(2\pi r)$ થશે. તેથી આપણને

$$B(2\pi r) = \mu_0 i(t) \tag{8.2}$$

મળે.

હવે, એક બીજી સપાટી વિચારો કે જેને અગાઉના કિસ્સા જેટલી જ સીમા હોય. આ એક ઘડા-આકારની સપાટી [આકૃતિ 8.1(b)] છે કે જે પ્રવાહને (પ્રવાહધારીત તારને) ક્યાંય સ્પર્શતી નથી પણ આ સપાટીનું તળિયું કેપેસીટરની બે પ્લેટોની વચ્ચેના ભાગમાં જ્યારે તેનું મુખ ઉપર દર્શાવ્યા મુજબનો વર્તુળાકાર બંધગાળો છે. આવી બીજી એક સપાટી (ઢાંકણા વગરના) ટીફીન-બોક્સ જેવી [આકૃતિ 8.1(c)] છે. આવી સમાન પરિસીમા ધરાવતી સપાટીઓને ઍમ્પિયરનો સરકીટલ-નિયમ લગાડતાં આકૃતિ 8.1(b) અને (c)માં દર્શાવેલ સપાટીઓમાંથી પ્રવાહ પસાર થતો ન હોવાથી, આપણે જાણી શકીએ છીએ કે સમીકરણ 8.1ની ડાબી બાજુ બદલાતી નથી પરંતુ જમણી બાજુ $\mu_0 i$ને બદલે શૂન્ય થશે. આથી, આ એક વિરોધાભાસ છે, એક રીતે ગણતાં બિંદુ P આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર (અશૂન્ય) મળશે જ્યારે બીજી રીતે ગણતાં બિંદુ P આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્ય થાય છે.

આ વિરોધાભાસ આપણને ઍમ્પિયરનો સરકીટલ નિયમ લગાવતા ઉદ્ભવે છે તેથી આ નિયમમાં જ કંઈક ખૂટે છે. આ ખૂટતું પદ એવું હશે કે કોઈ પણ સપાટીનો ઉપયોગ કરીએ તો પણ બિંદુ P આગળ સમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર મળે.

આકૃતિ 8.1(c)ને ધ્યાનપૂર્વક જોતાં આ ખૂટતાં પદ વિશે આપણે અનુમાન કરી શકીએ. આપણને સવાલ થાય કે શું કેપેસીટરની પ્લેટની વચ્ચેથી પસાર થતી સપાટી Sમાંથી શું કંઈક પણ પસાર થાય છે ? હા, અલબત્ત તે વિદ્યુતક્ષેત્ર છે ! જો કેપેસીટરની દરેક પ્લેટનું ક્ષેત્રફળ A અને કુલ વિદ્યુતભાર Q હોય તો પ્લેટોની વચ્ચેના ભાગમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર **E**નું મૂલ્ય $(Q/A)/\varepsilon_0$ (સમીકરણ (2.41) જુઓ) થશે. આ ક્ષેત્ર આકૃતિ 8.1(c)માં દર્શાવેલ સપાટી Sને લંબરૂપે હશે. તેનું મૂલ્ય કેપેસીટરની પ્લેટોના સમગ્ર ક્ષેત્રફળ A પર સમાન હશે, જ્યારે બહારના ભાગમાં શૂન્ય હશે. તો સપાટી S સાથે સંકળાયેલ વિદ્યુત ફ્લક્સ $\Phi_E$ કેટલું હશે ? ગૉસના નિયમની મદદથી તે

$$\Phi_E = |\mathbf{E}|A = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Q}{A}A = \frac{Q}{\varepsilon_0} \qquad (8.3)$$

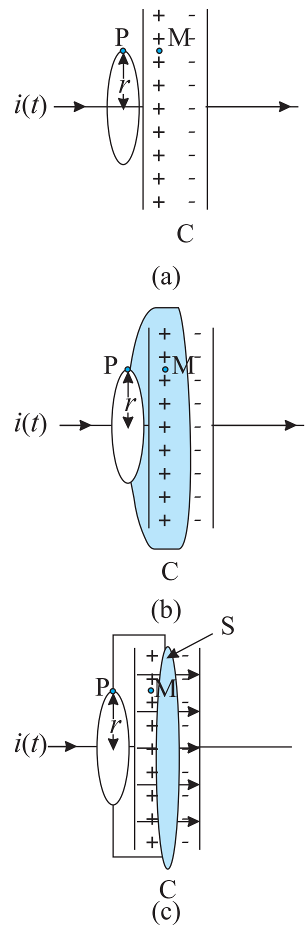
છે. હવે, જો કેપેસીટરની પ્લેટ પર રહેલ વિદ્યુતભાર Q સમય સાથે બદલાતો હોય, તો તેને અનુરૂપ પ્રવાહ $i = (dQ/dt)$ હશે, તેથી સમીકરણ (8.3)ની મદદથી આપણને

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

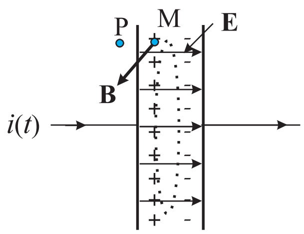
મળે. તે સૂચવે છે કે સુસંગતતા માટે,

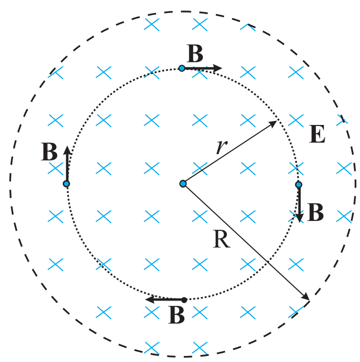
$$\varepsilon_0\left(\frac{d\Phi_E}{dt}\right) = i. \qquad (8.4)$$

જે ઍમ્પિયરના સરકીટલ નિયમનું ખૂટતું પદ છે. વાહક દ્વારા સપાટીમાંથી વહેતા કુલ પ્રવાહમાં આ જ સપાટી સાથે સંકળાયેલ વિદ્યુત ફ્લક્સના સમય-દરના $\varepsilon_0$ ગણું હોય તેવું બીજું પદ ઉમેરીને આ નિયમને વ્યાપક સ્વરૂપ આપતાં આ કુલ પ્રવાહ $i$નું મૂલ્ય દરેક સપાટીઓ માટે સમાન હશે. જો આમ કરવામાં આવે તો આ ઍમ્પિયરના વ્યાપક નિયમની મદદથી કોઈ પણ સ્થાને Bનું મૂલ્ય શોધતાં કોઈ વિરોધાભાસ નહીં આવે. બિંદુ P આગળ ગમે તે સપાટીના ઉપયોગથી ગણાયેલ Bનું મૂલ્ય અશૂન્ય આવશે. પ્લેટ [આકૃતિ 8.1(a)]ની બહારના બિંદુ P આગળ Bનું મૂલ્ય એ પ્લેટની તરત જ અંદરના બિંદુ M આગળના મૂલ્ય જેટલું જ આવશે અને હકીકતમાં આમ થવું પણ જોઈએ. વિદ્યુતભારના વહનને કારણે વહેતા પ્રવાહને વહનપ્રવાહ (Conduction Current) કહે છે. સમીકરણ (8.4) દ્વારા દર્શાવેલ પ્રવાહ નવું પદ છે અને તે બદલાતા વિદ્યુતક્ષેત્ર (અથવા હજુ ઘણીવાર વપરાતું જુનું પદ વિદ્યુત સ્થાનાંતર)ને કારણે છે અને તેથી તેને સ્થાનાંતર પ્રવાહ અથવા મેક્સવેલનો સ્થાનાંતર પ્રવાહ કહે છે. આકૃતિ 8.2 ઉપર ચર્ચેલ સમાંતર પ્લેટ ધરાવતા કેપેસીટરની અંદર પ્રવર્તતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો દર્શાવે છે.




**આકૃતિ 8.1** એક સમાંતર પ્લેટ ધરાવતું કેપેસીટર C કે જેમાંથી સમય-આધારિત પ્રવાહ $i(t)$ પસાર થાય છે, (a) બિંદુ P આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર શોધવા માટે $r$-ત્રિજ્યાનો બંધગાળો, (b) કેપેસીટરની બે પ્લેટની અંદરથી પસાર થતી ઘડા-આકારની સપાટી કે જેનું મુખ (a)માં દર્શાવ્યા મુજબના બંધગાળાની ધાર છે, (c) બંધગાળો જેના મુખની ધાર હોય અને ચપટું વર્તુળાકાર તળિયું S એ કેપેસીટરની બે પ્લેટની અંદરના ભાગમાં હોય તેવી ટીફીન-આકારની સપાટી. કેપેસીટરની બે પ્લેટની વચ્ચેના ભાગમાં રહેલ સમાન વિદ્યુતક્ષેત્ર તીર વડે દર્શાવેલ છે.




**આકૃતિ 8.2** (a) સંધારકની પ્લેટોની વચ્ચે M બિંદુ આગળ વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો **E** અને **B**, (b) આકૃતિ (a)નો આડછેદ

મેક્સવેલ દ્વારા થયેલ વ્યાપકીકરણ નીચે મુજબ છે. ચુંબકીયક્ષેત્રનું ઉદ્ભવસ્થાન એ ફક્ત વહન પામતા વિદ્યુતભારોને કારણે મળતો વહનપ્રવાહ જ નથી પરંતુ વિદ્યુતક્ષેત્ર ફેરફારનો સમયદર પણ છે. વધારે ચોકસાઈથી, કુલ પ્રવાહ $i$ એ $i_c$ વડે દર્શાવતા વહન (Conduction) પ્રવાહ અને $i_d [= \varepsilon_0 (d\Phi_E/dt)]$ વડે દર્શાવતા સ્થાનાંતરીય પ્રવાહના સરવાળા બરાબર હોય છે. તેથી આપણને

$$i = i_c + i_d = i_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \tag{8.5}$$

મળે છે. સ્પષ્ટ શબ્દોમાં આનો અર્થ એ થયો કે કેપેસીટરની પ્લેટોની બહારના ભાગમાં આપણને ફક્ત વહનપ્રવાહ $i_c = i$ મળશે અને કોઈ સ્થાનાંતર પ્રવાહ નહિ હોય, એટલે કે $i_d = 0$ થશે. બીજી બાજુ, કેપેસીટરના અંદરના ભાગમાં કોઈ વહન (Conduction) પ્રવાહ નહીં હોય અર્થાત્ $i_c = 0$ અને ફક્ત સ્થાનાંતર પ્રવાહ હશે, એટલે કે $i_d = i$.

ઍમ્પિયરના આ વ્યાપક (અને સાચા) સર્કીટલ નિયમનું સ્વરૂપ સમીકરણ (8.1) જેવું જ છે પણ એક તફાવત છે : ''જેનો બંધગાળો એ પરિસીમા હોય તેવી કોઈપણ સપાટીમાંથી પસાર થતો કુલ પ્રવાહ એ વહનપ્રવાહ અને સ્થાનાંતર પ્રવાહના સરવાળા બરાબર હોય છે.'' વ્યાપક નિયમ,

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_c + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \tag{8.6}$$

છે અને તેને ઍમ્પિયર-મેક્સવેલ નિયમ કહે છે.

બધાં જ સંદર્ભમાં, આ સ્થાનાંતર પ્રવાહની ભૌતિક અસર એ વહન (Conduction) પ્રવાહ જેવી જ છે. અમુક કિસ્સાઓમાં, દા.ત, વાહક તારમાં સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્રના કિસ્સા માટે, વિદ્યુતક્ષેત્ર E સમય સાથે બદલાતું ન હોવાથી સ્થાનાંતર પ્રવાહ શૂન્ય થશે. બીજા કિસ્સાઓમાં, દા.ત., ઉપરોક્ત કેપેસીટર વિદ્યુતભારિત થવામાં વહન (Conduction) પ્રવાહ અને સ્થાનાંતર પ્રવાહ બંને અવકાશના જુદા જુદા ભાગમાં હાજર હશે. મોટાભાગના કિસ્સાઓમાં માધ્યમ સંપૂર્ણ સુવાહક કે સંપૂર્ણ અવાહક ન હોવાથી બંને પ્રવાહો અવકાશના એક જ ભાગમાં અસ્તિત્વ ધરાવી શકે છે. રસપ્રદ બાબત એ છે કે, અવકાશના ખૂબ મોટા વિસ્તારમાં વહન (Conduction) પ્રવાહ ના હોય પણ સમય સાથે બદલાતા વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે ફક્ત સ્થાનાંતર પ્રવાહ હશે. આવા વિસ્તારમાં, નજીકમાં વહન (Conduction) પ્રવાહનું ઉદ્ગમ ન હોવા છતાં આપણે ચુંબકીયક્ષેત્ર હશે તેમ અપેક્ષા રાખી શકીએ ! આવા અપેક્ષિત સ્થાનાંતર પ્રવાહની ધારણા પ્રાયોગિક રીતે ચકાસી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે આકૃતિ 8.2(a)માં દર્શાવેલ સંધારકની પ્લેટોની અંદરના ભાગમાં આવેલું બિંદુ (દા.ત., બિંદુ M) આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર માપી શકાય છે કે જે બહારના ભાગ (બિંદુ P આગળ) જેટલું જ છે તેમ જણાયું છે.

આ સ્થાનાંતર પ્રવાહની (શબ્દશઃ) ઘણી દૂરગામી અસરો છે. એક વસ્તુ આપણને તરત જ આંખે વળગે તેવી એ છે કે વિદ્યુત અને ચુંબકત્વના નિયમો હવે વધારે સંમિત રીતે રજૂ કરી શકાય છે.* ફેરેડેના પ્રેરણનો નિયમ જણાવે છે કે પ્રેરિત *emf* ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફારના સમય દર બરાબર છે. હવે, બે બિંદુઓ 1 અને 2 વચ્ચેનું *emf* એટલે એકમ વિદ્યુતભારને 1 થી 2 લઈ જવા માટે કરવું પડતું કાર્ય. તેથી *emf*ની હાજરી વિદ્યુતક્ષેત્રની હાજરી સૂચવે છે. તેથી, ફેરેડેના વિદ્યુતપ્રેરણના નિયમને બીજા શબ્દોમાં લખતાં સમય સાથે બદલાતું જતું ચુંબકીયક્ષેત્ર વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. તો એ હકીકત કે સમય સાથે બદલાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર એ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે એ તેનું સંમિત વિધાન છે અને સ્થાનાંતર પ્રવાહ

* હજુ પણ તેઓ સંપૂર્ણ રીતે સંમિતિ ધરાવતા નથી, હજુ સુધી વિદ્યુતક્ષેત્રના ઉદ્ગમો એવા વિદ્યુતભારોની જેમ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરતા ઉદ્ગમો (ચુંબકીય એકધ્રુવ) જણાયા નથી.

એ ચુંબકીયક્ષેત્ર માટેનું ઉદ્ગમ હોવાનું પરિણામ છે. આમ, સમય આધારિત વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો એકબીજાને ઉત્પન્ન કરશે ! ફેરેડેનો વિદ્યુતપ્રેરણનો નિયમ અને ઍમ્પિયર-મેક્સવેલનો નિયમ આ વિધાનનું માત્રાત્મક સૂત્ર આપે છે કે જ્યાં પ્રવાહ એટલે સમીકરણ (8.5)માં દર્શાવેલ કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ છે. આ સંમિતિનું એક સૌથી અગત્યનું પરિણામ એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો છે કે જેની ગુણાત્મક ચર્ચા આના પછીના વિભાગમાં કરીશું.

**મેક્સવેલના સમીકરણો**

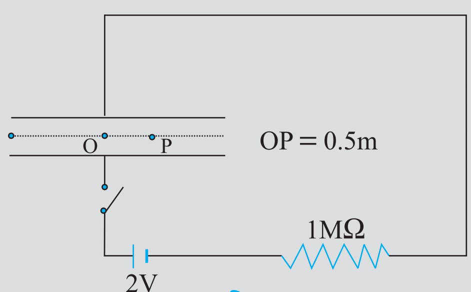
(1) $\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{A} = Q/\varepsilon_0$ (ગૉસનો વિદ્યુત માટેનો નિયમ)

(2) $\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{A} = 0$ (ગૉસનો ચુંબકત્વ માટેનો નિયમ)

(3) $\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l} = \dfrac{-d\Phi_B}{dt}$ (ફેરેડેનો નિયમ)

(4) $\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \boldsymbol{i}_c + \mu_0\varepsilon_0 \dfrac{d\Phi_E}{dt}$ (ઍમ્પિયર-મેક્સવેલ નિયમ)

**ઉદાહરણ 8.1** એક સમાંતર પ્લેટ કેપેસીટર કે જેની વર્તુળાકાર પ્લેટની ત્રિજ્યા 1 m છે. તેનું કેપેસીટન્સ 1 nF છે. તેને વિદ્યુતભારિત કરવા માટે $t = 0$ સમયે એક $R = 1\ M\Omega$ના અવરોધ સાથે શ્રેણીમાં 2 Vની બૅટરી સાથે જોડવામાં આવે છે (આકૃતિ 8.3). $t = 10^{-3}$ s સમયબાદ પ્લેટના કેન્દ્ર અને પરિઘ વચ્ચેના મધ્ય બિંદુ P આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર ગણો. (કેપેસીટર પર $t$ સમયે વિદ્યુતભાર $q(t) = CV[1 - \exp(-t/\tau)]$, જ્યાં સમય અચળાંક $\tau$ એ CR બરાબર છે.




આકૃતિ 8.3

**ઉકેલ** CR પરિપથનો સમય અચળાંક $\tau = CR = 10^{-3}$ s તેથી,

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

$t$ સમયે બે પ્લેટોની વચ્ચે રહેલું વિદ્યુતક્ષેત્ર,

$$E = \frac{q(t)}{\varepsilon_0 A} = \frac{q}{\pi\varepsilon_0}\ ;A = \pi(1)^2 m^2 = \text{પ્લેટનું ક્ષેત્રફળ}$$

હવે, બિંદુ Pમાંથી પસાર થતો (1/2) m ત્રિજ્યા ધરાવતો અને પ્લેટોને સમાંતર એક વર્તુળાકાર બંધગાળો ધ્યાનમાં લો. આ ગાળાના બધા જ બિંદુઓ આગળ ચુંબકીયક્ષેત્ર B એ ગાળાને સમાંતર હશે અને સમાન મૂલ્યનું હશે. આ ગાળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ $\Phi_E$,

ઉદાહરણ 8.1

$\Phi_E = E \times$ બંધગાળાનું ક્ષેત્રફળ

$$= E \times \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{\pi E}{4} = \frac{q}{4\varepsilon_0}$$

$t = 10^{-3}$ s એ સ્થાનાંતર પ્રવાહ,

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

બંધગાળાને ઍમ્પિયર-મેક્સવેલ નિયમ લગાવતાં,

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

અથવા $B = 0.74 \times 10^{-13}$ T

## 8.3 વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો (Electromagnetic Waves)

### 8.3.1 વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના ઉદ્ભવ સ્થાનો (Sources of Electromagnetic Waves)

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો કેવી રીતે ઉત્પન્ન કરાય છે ? સ્થિર વિદ્યુતભારો કે નિયમિત ગતિ (અચળ વેગ સાથેની) ગતિ કરતા વિદ્યુતભારો (સ્થિત પ્રવાહ) વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના ઉદ્ભવ સ્થાનો હોઈ શકે નહીં. આમાંનું પ્રથમ (સ્થિર વિદ્યુતભાર) ફક્ત સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે જ્યારે બીજું ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે, પરંતુ તે સમય સાથે બદલાતું નથી. મેક્સવેલના વાદનું અગત્યનું પરિણામ એ છે કે પ્રવેગિત વિદ્યુતભાર વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું ઉત્સર્જન કરે છે. આની સાબિતી આ પુસ્તકની મર્યાદાની બહાર છે, પરંતુ તેને આપણે આપણા ગુણાત્મક કારણો માટેના પાયા તરીકે સ્વીકારીશું. કોઈક આવૃત્તિથી દોલન કરતા વિદ્યુતભારને ધ્યાનમાં લો. (દોલન કરતો વિદ્યુતભાર એ પ્રવેગી વિદ્યુતભારનું ઉદાહરણ છે.) તે અવકાશમાં દોલન કરતા વિદ્યુતક્ષેત્રનું નિર્માણ કરે છે અને તે દોલન કરતા ચુંબકીયક્ષેત્રનું નિર્માણ કરે છે કે જે વળી પાછું દોલન કરતા વિદ્યુતક્ષેત્ર માટેનું ઉદ્ગમ બને છે અને આમ (સતત) ચાલ્યા કરે છે. આમ, જેમ તરંગ અવકાશમાં પ્રસરે છે તેમ દોલન કરતા વિદ્યુતક્ષેત્ર અને ચુંબકીયક્ષેત્રો એકબીજાને ઉત્પન્ન કર્યા કરે છે. આ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની આવૃત્તિ સ્વાભાવિક રીતે જ દોલન કરતા વિદ્યુતભારની આવૃત્તિ જેટલી જ હોય છે. પ્રસરણ પામતા તરંગ સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા એ પ્રવેગિત વિદ્યુતભાર કે જે ઊર્જા સ્રોત છે, તેની ઊર્જાના ભોગે મળે છે.

ઉપરોક્ત ચર્ચા પરથી, હવે પ્રકાશ એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ હશે તેવી ધારણાની કસોટી કરવાનું સહેલું થયું એમ લાગતું હશે. આપણને એવું થાય કે આપણે એક એવા ac પરિપથની જરૂર છે કે જેમાં વિદ્યુતપ્રવાહ દૃશ્યપ્રકાશ, દા.ત., પીળા પ્રકાશની આવૃત્તિથી દોલન કરતો હોય પણ આમ સહેલાઈથી મળવું તે શક્ય નથી. પીળા પ્રકાશની આવૃત્તિ $6 \times 10^{14}$ Hz જેટલી છે, જ્યારે આધુનિક ઇલેક્ટ્રૉનિક્સ પરિપથ વડે પણ માંડ $10^{11}$ Hz જેટલી જ આવૃત્તિ મળી શકે છે અને એટલા માટે જ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની પ્રાયોગિક સાબિતી દર્શાવતો પ્રયોગ હર્ટ્ઝના પ્રયોગ (1887)ની જેમ નીચી આવૃત્તિ (રેડિયોતરંગના વિસ્તાર)વાળા વિભાગમાં કરવો પડે.

મેક્સવેલના વાદ અંગે હર્ટ્ઝના સફળ પ્રયોગે આ ક્ષેત્રમાં ઉત્તેજના જગાવી અને આવા બીજા અગત્યના કાર્યો (પ્રયોગો)ને ઉજાગર કરવાનું કામ કર્યું. આની સાથે સંકળાયેલી બે અગત્યની

સિદ્ધિઓનો અત્રે ઉલ્લેખ જરૂરી છે. હર્ટ્ઝના પ્રયોગના સાત વર્ષ બાદ જગદીશચંદ્ર બોઝ, કોલકાતા ખાતે ટૂંકી તરંગલંબાઈ (25 mmથી 5 mm) ધરાવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું ઉત્સર્જન અને અવલોકન કરવામાં સફળ રહ્યા. હર્ટ્ઝના પ્રયોગની જેમ જ તેમનો પ્રયોગ પણ પ્રયોગશાળા (લેબોરેટરી) સુધી સીમિત હતો.

લગભગ આ જ સમયગાળા દરમિયાન ઇટાલીમાં ગુગ્લીએલ્મો માર્કોની (Guglielmo Marconi)ને હર્ટ્ઝના પ્રયોગને અનુસરીને ઘણા કિલોમીટર દૂર સુધી વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોને મોકલવામાં સફળતા મળી. માર્કોનીનો આ પ્રયોગ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો દ્વારા સંદેશાવ્યવહારના ક્ષેત્રમાં પ્રથમ સોપાન હતું.

### 8.3.2 વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની લાક્ષણિકતા (Nature of electromagetic waves)

મેક્સવેલના સમીકરણો પરથી દર્શાવી શકાય કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો એકબીજાને અને પ્રસરણ દિશાને લંબરૂપે હોય છે. જે આપણા સ્થાનાંતર પ્રવાહની ચર્ચા પરથી વ્યાજબી પણ લાગે છે. આકૃતિ 8.2 ધ્યાનમાં લો. સંધારકની પ્લેટોના અંદરના ભાગમાં રહેલ વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્લેટને લંબરૂપે હોય છે. આને લીધે સ્થાનાંતર પ્રવાહ મારફત ઉત્પન્ન થતું ચુંબકીયક્ષેત્ર કેપેસીટરની પ્લેટને સમાંતર વર્તુળાકાર ગાળાના પરિઘની દિશામાં હોય છે. એટલે કે, આ કિસ્સામાં **B** અને **E** એકબીજાને લંબરૂપે હોય છે. આ એક વ્યાપક લાક્ષણિકતા છે.

આકૃતિ 8.4માં $z$-દિશામાં પ્રસરતા સમતલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગનો ખાસ કિસ્સો દર્શાવેલ છે (જેમાં ક્ષેત્રો $z$-યામ અને આપેલ સમય $t$ના વિધેય તરીકે દર્શાવેલ છે). વિદ્યુતક્ષેત્ર $E_x$ એ $x$-અક્ષની દિશામાં છે અને તે આપેલ સમયે $z$ સાથે સાઇન વિધેય મુજબ (Sinusoidally - જયાવર્તી) બદલાય છે. ચુંબકીય-ક્ષેત્ર $B_y$ એ $y$-અક્ષની દિશામાં છે અને તે પણ $z$-સાથે સાઇન વિધેય મુજબ બદલાય છે. વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો $E_x$ અને $B_y$ એકબીજાને અને પ્રસરણ દિશા $z$ને પણ લંબરૂપે છે. આપણે $E_x$ અને $B_y$ને નીચે મુજબ લખી શકીએ.

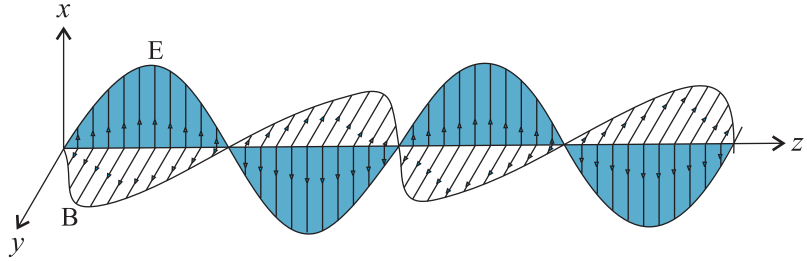
$$E_x = E_0 \sin(kz - \omega t) \quad [8.7(a)]$$

$$B_y = B_0 \sin(kz - \omega t) \quad [8.7(b)]$$

અત્રે, $k$ એ તરંગલંબાઈ $\lambda$ સાથે નીચેના સમીકરણથી સંકળાયેલ છે.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (8.8)$$

અને $\omega$ એ કોણીય આવૃત્તિ છે. $k$ એ તરંગસદિશ (અથવા પ્રસરણ સદિશ) **k**નું માન છે અને તેની દિશા તરંગના પ્રસરણની દિશા સૂચવે છે. તરંગ પ્રસરણની ઝડપ $(\omega/k)$ છે. સમીકરણ [8.7(a) અને (b)]નો ઉપયોગ $E_x$ અને $B_y$ માટે અને મેક્સવેલના સમીકરણોનો ઉપયોગ કરતાં,




**આકૃતિ 8.4** એક રેખીય ધ્રુવીભૂત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ $z$-દિશામાં પ્રસરણ પામે છે કે જેમાં દોલન કરતું વિદ્યુતક્ષેત્ર **E** એ $x$-દિશામાં અને દોલન કરતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર **B** એ $y$-દિશામાં છે.

**હેનરીચ રુડૉલ્ફ હર્ટ્ઝ (Heinrich Rudolf Hertz) (1857-1894) :** જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી કે જેમણે સૌપ્રથમ વખત રેડિયો તરંગોનું પ્રસારણ (Broadcast) કર્યું અને ગ્રહણ (Receive) કર્યું. તેમણે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું ઉત્સર્જન કર્યુ, તેનું અવકાશમાં પ્રસરણ કરાવ્યું અને તેની તરંગલંબાઈ અને ઝડપનું માપન કર્યું. તેમણે દર્શાવ્યું કે આ તરંગોના કંપન, પરાવર્તન અને વક્રીભવનનો પ્રકાર એ પ્રકાશ અને ઉષ્મા તરંગો જેવો જ છે જેની મદદથી તેમની સૌપ્રથમ વખત ઓળખ (Identity) થઈ શકી. તેમણે વાયુમાં વિદ્યુતવિભાર (Discharge of Electricity) વિષેનાં સંશોધનની શરૂઆત કરી અને ફોટોઇલેક્ટ્રીક અસરની શોધ કરી.

હેનરીચ રુડૉલ્ફ હર્ટ્ઝ (Heinrich Rudolf Hertz) (1857-1894)

$\omega = ck$, જ્યાં, $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ [8.9(a)]

$\omega = ck$ એ તરંગો માટેનું પ્રમાણિત સમીકરણ છે (દા.ત., XI, ભૌતિકશાસ્ત્રના પુસ્તકનો પરિચ્છેદ 15.4). આ સમીકરણ ઘણીવખત આવૃત્તિ $\nu\,(=\omega/2\pi)$ના અને તરંગલંબાઈ $\lambda(=2\pi/k)$

$2\pi\nu = c\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)$ અથવા

$\nu\lambda = c$ [8.9(b)]

તરીકે પણ લખવામાં આવે છે. મેક્સવેલના સમીકરણો પરથી એવું પણ જોઈ શકાય છે કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોના માન નીચેના સમીકરણથી સંકળાયેલા છે.

$B_0 = (E_0/c)$ (8.10)

અહીં, આપણે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની કેટલીક લાક્ષણિકતાઓ નોંધીશું. તેઓ મુક્ત અવકાશમાં અથવા શૂન્યાવકાશમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોના પોતાની જાતે જ ચાલુ રહેતાં (Self-sustaining) દોલનો છે. તેઓ અત્યાર સુધીમાં આપણે ભણેલા બીજા બધા તરંગોથી એ બાબતમાં ભિન્ન છે કે વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોના દોલનોમાં દ્રવ્ય-માધ્યમની જરૂરિયાત નથી (સંકળાયેલ નથી). હવામાંના ધ્વનિ તરંગો એ સંઘનન (Compression) અને વિઘનન (Rare-faction)ના સંગત તરંગો છે. લંબગત સ્થિતિસ્થાપક (ધ્વનિ) તરંગો ઘન પદાર્થો કે જેઓ દૃઢ છે અને આકાર (Shear) વિકૃતિનો વિરોધ કરે છે તેમાં પણ પ્રસરી શકે છે. ઓગણીસમી સદીમાં વૈજ્ઞાનિકો આવા યાંત્રિક ચિત્ર (ખ્યાલ)થી એટલા બધા ટેવાઈ ગયા હતા કે જેથી તેમણે વિચાર્યું કે સમગ્ર અવકાશમાં અને સમગ્ર દ્રવ્યમાં કોઈક માધ્યમ હાજર હોવું જોઈએ કે જે આ વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો માટે સ્થિતિસ્થાપક માધ્યમની જેમ કામ કરતું હશે. તેમણે આ માધ્યમને ઈથર (Ether) નામ આપ્યું. તેઓ આ ઈથરરૂપી માધ્યમની વાસ્તવિકતા અંગે એટલા બધા ખાતરીદાર (Convinced) હતા કે સર આર્થર કોનન ડૉયલ (Arthur Conan Doyle) (પ્રખ્યાત જાસૂસ - શેરલોક હોમ્સના પ્રણેતા)એ લખેલ નવલકથા The Poison Beltમાં સૌરમંડળને આવા ઈથરના બનેલા ઝેરીલા ભાગમાંથી પસાર થતું બતાવવામાં આવ્યું છે ! અલબત્ત, હવે આપણે એવું સ્વીકારીએ છીએ કે આવા કોઈ ભૌતિક માધ્યમની જરૂરિયાત નથી. ઈ.સ. 1887માં માઈકલસન અને મોર્લે દ્વારા થયેલ પ્રખ્યાત પ્રયોગ આવા ઈથરના અધિતર્કને નિર્ણાયક રીતે નષ્ટ કર્યો (નકાર્યો) અવકાશ અને સમય સાથે દોલન કરતા વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો શૂન્યાવકાશમાં પણ એકબીજાને સતત ચાલુ રાખે છે.

પણ જો વાસ્તવમાં દ્રવ્ય માધ્યમ હાજર હોય તો શું ? આપણે જાણીએ છીએ કે પ્રકાશ એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે કે જે દા.ત., કાચમાંથી પસાર થાય છે. અગાઉ આપણે જોયું કે માધ્યમની અંદર પ્રવર્તતા કુલ વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો પરમીટિવીટી $\varepsilon$ અને ચુંબકીય પરમીએબિલિટી $\mu$ના પદમાં (આ પદો બહારના ભાગમાં રહેલા ક્ષેત્રોથી અંદરના ભાગમાં રહેલા કુલ ક્ષેત્રો કેટલા ગણા જુદા પડે છે તે દર્શાવે છે) દર્શાવી શકાય છે. મેક્સવેલ સમીકરણોમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોનાં વર્ણનમાં આવતા $\varepsilon_0$ અને $\mu_0$ને માધ્યમની પરમીટિવીટી $\varepsilon$ અને ચુંબકીય પરમીએબિલિટી $\mu$ વડે ફેરબદલ કરતાં પ્રકાશનો વેગ

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \quad (8.11)$$

આમ, પ્રકાશનો વેગ માધ્યમના વિદ્યુત અને ચુંબકીય ગુણધર્મો પર આધાર રાખે છે. આપણે હવે પછીના પ્રકરણમાં જોઈશું કે એક માધ્યમનો બીજા માધ્યમની સાપેક્ષમાં વક્રીભવનાંક આ બે માધ્યમોમાં પ્રકાશના વેગના ગુણોત્તર બરાબર હોય છે.

મુક્ત અવકાશમાં અથવા શૂન્યાવકાશમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનો વેગ એ (એક) અગત્યનો મૂળભૂત

**Simulate propagation of electromagnetic waves**
(i) http://www.amanogawa.com/waves.html
(ii) http://www.phys.hawaii.edu/~teb/javaekntnujava/emWave/emWave.html

PHYSICS

અચળાંક છે. જુદી જુદી તરંગલંબાઈ ધરાવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો પરના પ્રયોગો પરથી એમ દર્શાવાયું છે કે આ વેગ (તરંગલંબાઈથી સ્વતંત્ર) $3 \times 10^8$ m/sના મૂલ્યમાં એક સેકન્ડ દીઠ અમુક મીટરની ચોકસાઈથી સમાન છે. શૂન્યાવકાશમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના વેગની અચળતાના પ્રયોગો દ્વારા એવું દૃઢ પ્રમાણિત કરી શકાયું છે અને તેનું વાસ્તવિક મૂલ્ય એટલું બધું જાણીતું છે કે તેનો ઉપયોગ લંબાઈને વ્યાખ્યાયિત કરવાના પ્રમાણ તરીકે લેવામાં આવે છે. હવે, મીટરને પ્રકાશે શૂન્યાવકાશમાં $(1/c) = (2.99792458 \times 10^8)^{-1}$ સેકન્ડ જેટલા સમયમાં કાપેલા અંતર તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે જે નીચે મુજબના કારણથી થયું છે. સમયનો મૂળભૂત એકમ કોઈક પરમાણ્વીય આવૃત્તિ એટલે કે, કોઈ ચોક્કસ ઘટનામાં પરમાણુ (Atom) દ્વારા ઉત્સર્જીત આવૃત્તિ-ના પદમાં ખૂબ જ ચોકસાઈથી વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે. લંબાઈના મૂળભૂત એકમને પ્રત્યક્ષ રીતે તેવી જ ચોકસાઈથી વ્યાખ્યાયિત કરવાનું અઘરૂં છે. અગાઉના લંબાઈના એકમ (દા.ત., Meter-સળિયા વગેરે)ની મદદથી માપવાના પ્રયોગો દ્વારા $c$નું મૂલ્ય $2.9979246 \times 10^8$ m/s જેટલું મળતું હતું. હવે, $c$ એ ખૂબ જ ચોક્કસ અચળ અંક હોવાથી લંબાઈનો એકમ $c$ અને સમયના એકમના પદમાં વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે !

હર્ટ્ઝે ફક્ત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું અસ્તિત્વ જ દર્શાવ્યું એવું નથી, પરંતુ તેમણે દર્શાવ્યું કે એવા તરંગો કે જેની તરંગલંબાઈ પ્રકાશ તરંગોની તરંગલંબાઈ કરતાં કરોડ (10 મિલિયન) ગણી હોય તેઓ પણ વિવર્તન, વક્રિભવન અને ધ્રુવીભવન અનુભવે છે. આમ, તેણે દૃઢ રીતે વિકિરણનો તરંગ સ્વભાવ પ્રસ્થાપિત કર્યો. વધારામાં, તેમણે સ્થિત વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કરીને તેમની તરંગલંબાઈને ક્રમિક નિષ્પંદ બિંદુઓ (Nodes) વચ્ચેના અંતરની મદદથી શોધી. તરંગની આવૃત્તિ પહેલેથી જ જાણીતી (દોલકની આવૃત્તિ જેટલી) હોવાથી તેણે $\upsilon = \nu\lambda$ સૂત્રનો ઉપયોગ કરી તરંગની ઝડપ શોધી અને એવું જાણવા મળ્યું કે આ તરંગો પ્રકાશની ઝડપ જેટલી ઝડપથી જ ગતિ કરે છે.

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ધ્રુવીભૂત છે તે હકીકત નાના (Portable) AM રેડિયોના બ્રોડકાસ્ટીંગ સ્ટેશન પ્રત્યેના પ્રતિભાવની મદદથી સહેલાઈથી જોઈ શકાય છે. જો AM રેડિયોને ટેલિસ્કોપીક (Telescopic) એન્ટિના હોય તો તે સિગ્નલ (Signal)ના વિદ્યુતીય ઘટકને પ્રતિભાવ આપે છે. જ્યારે એન્ટિનાને સમક્ષિતિજ કરવામાં આવે છે ત્યારે સિગ્નલ ખૂબ જ નબળું થઈ જાય છે. ઘણા નાના રેડિયોમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના સમક્ષિતિજ એન્ટિના (સામાન્ય રીતે રેડિયોની આવરણની અંદરના ભાગમાં) હોય છે કે જે ચુંબકીય ઘટક માટે સંવેદનશીલ હોય છે. આવા રેડિયોને સિગ્નલ ગ્રહણ (Receive) કરવા માટે સમક્ષિતિજ રાખવા પડે. આવા કિસ્સાઓમાં, રેડિયોનો પ્રતિભાવ એ રેડિયોના સ્ટેશનની સાપેક્ષે નમન (Orientation) પર પણ આધાર રાખે છે.

શું બીજા તરંગોની જેમ જ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો પણ ઊર્જા અને વેગમાનનું વહન કરે છે ? હા, તેઓ પણ એમ કરે છે. આપણે પ્રકરણ-2માં જોયું કે મુક્ત અવકાશમાં E જેટલું વિદ્યુતક્ષેત્ર ધરાવતા વિભાગમાં $(\varepsilon_0 E^2/2)$ જેટલી ઊર્જાઘનતા હોય છે. તે જ રીતે, પ્રકરણ-6માં જોયું કે ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ઊર્જાઘનતા $(B^2/2\mu_0)$ હોય છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ એ વિદ્યુત અને ચુંબકીય એમ બંને ક્ષેત્રો ધરાવતું હોવાથી તેની સાથે પણ અશૂન્ય ઊર્જા ઘનતા સંકળાયેલ હોય છે. હવે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની પ્રસરણ દિશાને લંબ એક સમતલ વિચારો (આકૃતિ 8.4). જો આ સમતલ પર વિદ્યુતભારો હશે તો તેઓ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો દ્વારા ગતિ ચાલુ કરશે અને ચાલુ રાખશે. આમ, વિદ્યુતભારો, વિદ્યુતચુંબકીય તરંગમાંથી ઊર્જા અને વેગમાન ગ્રહણ કરશે. આ એ હકીકતને દર્શાવે છે કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ (બીજા તરંગોની જેમ) ઊર્જા અને વેગમાનનું વહન કરે છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ વેગમાનનું વહન કરતા હોવાથી દબાણ પણ લગાડશે જેને વિકિરણ-દબાણ (Radiation Pressure) કહે છે.

જો સપાટીને $t$ સમયમાં અપાતી કુલ ઊર્જા U હોય તો તેવું દર્શાવી શકાય કે સપાટી પર આપાત થતા કુલ વેગમાનનું મૂલ્ય (જ્યારે વિકિરણનું સંપૂર્ણ શોષણ થાય ત્યારે)

$$p = \frac{U}{c} \qquad (8.12)$$

છે.

જ્યારે તમારા હાથ પર સૂર્યપ્રકાશ પડે છે ત્યારે તમને વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોમાંથી ઊર્જાનું શોષણ થાય છે તેમ લાગે છે (તમારા હાથ ગરમ થયેલ જણાય છે). વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો હાથ પર વેગમાન પણ આપાત કરે છે પરંતુ $c$નું મૂલ્ય ખૂબ જ મોટું હોવાથી, હથેળીને મળતા વેગમાનનું મૂલ્ય અત્યંત નાનું હશે તેથી આપણે દબાણ અનુભવતા નથી. 1903માં અમેરીકન વૈજ્ઞાનિકો નિકોલ્સ અને હલ (Nicols અને Hull) એ દશ્યપ્રકાશ વિકિરણ-દબાણની માપણી કરવામાં સફળ થયા અને સમીકરણ (8.12)ની ચકાસણી કરી. તે $7 \times 10^{-6}$ N/m$^2$ના ક્રમનું માલુમ પડ્યું. આમ, 10 cm$^2$ જેટલું ક્ષેત્રફળ ધરાવતી સપાટી પર વિકિરણને કારણે લાગતું બળ $7 \times 10^{-9}$ N જેટલું હોય છે.

વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું મોટું પ્રૌદ્યોગિક અગત્ય એ તેની એક સ્થળથી બીજા સ્થળ પર ઊર્જા લઈ જવાની ક્ષમતાને લીધે છે. બ્રોડકાસ્ટીંગ (Broadcasting - સંચાર) સ્ટેશનથી રેડિયો અને TV સિગ્નલો ઊર્જાનું વહન કરે છે, પ્રકાશ સૂર્યથી પૃથ્વી સુધી ઊર્જાનું વહન કરે છે કે જેથી પૃથ્વી પર જીવન શક્ય બન્યું છે.

**ઉદાહરણ 8.2** એક 25 MHz આવૃત્તિ ધરાવતું સમતલ વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગ મુક્ત અવકાશમાં $x$-દિશામાં ગતિ કરે છે. ચોક્કસ સમયે અને અવકાશના એક ચોક્કસ બિંદુ આગળ $\mathbf{E} = 6.3\ \hat{\mathbf{j}}$ V/m છે. તો આ બિંદુ આગળ **B** શોધો.

**ઉકેલ** સમીકરણ (8.10) પરથી, **B**નું મૂલ્ય

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

$$= \frac{6.3 \text{V/m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 2.1 \times 10^{-8} \text{T}$$

દિશા શોધવા માટે, આપણે નોંધીએ કે **E** એ $y$-દિશામાં છે અને તરંગ $x$-દિશામાં પ્રસરણ પામે છે. તેથી **B** એ $x$ અને $y$ બંને અક્ષોને લંબ હશે. સદિશ બીજગણિતના નિયમ મુજબ $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ એ $x$-દિશામાં હશે.

હવે, $(+\hat{\mathbf{j}}) \times (+\hat{\mathbf{k}}) = \hat{\mathbf{i}}$ હોવાથી, B એ $z$-દિશામાં હશે. આમ, $\mathbf{B} = 2.1 \times 10^{-8}\ \hat{\mathbf{k}}$T થશે.

ઉદાહરણ 8.2

**ઉદાહરણ 8.3** એક સમતલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગમાં ચુંબકીયક્ષેત્ર

$B_y = 2 \times 10^{-7} \sin(0.5 \times 10^3 x + 1.5\ 10^{11} t)$ T સૂત્ર વડે આપવામાં આવે છે.

(a) તરંગની તરંગલંબાઈ અને આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

(b) વિદ્યુતક્ષેત્ર માટેનું સમીકરણ લખો.

**ઉકેલ** (a) આપેલા સમીકરણને નીચેના સમીકરણ સાથે સરખાવતાં,

$$B_y = B_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T}\right)\right]$$

આપણને $\lambda = \dfrac{2\pi}{0.5 \times 10^3}$ m $= 1.26$ m

અને $\dfrac{1}{T} = \nu = (1.5 \times 10^{11})/2\pi = 23.9$ GHz મળે.

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

આ વિદ્યુતક્ષેત્ર ઘટક પ્રસરણ દિશા અને ચુંબકીયક્ષેત્રને લંબ હશે. તેથી, આ વિદ્યુતક્ષેત્ર ઘટક $z$-અક્ષની દિશામાં હશે કે જે નીચેના સમીકરણ વડે આપી શકાય.

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

ઉદાહરણ 8.3

**ઉદાહરણ 8.4** 18 $W/cm^2$ જેટલું ઊર્જા ફ્લક્સ ધરાવતો પ્રકાશ એક અપરાવર્તનીય સપાટી પર લંબરૂપે આપાત થાય છે. જો આ સપાટીનું ક્ષેત્રફળ 20 $cm^2$ હોય તો 30 min જેટલા સમયગાળા માટે સપાટી પર લાગતું સરેરાશ બળ શોધો.

**ઉકેલ :** સપાટી પર આપાત કુલ ઊર્જા,

$$U = (18\ W/cm^2) \times (20\ cm^2) \times (30 \times 60\ s)$$
$$= 6.48 \times 10^5\ J$$

તેથી (પૂર્ણ શોષણ માટે) સપાટીને અપાતું કુલ વેગમાન,

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

સપાટી પર લગાડાતું સરેરાશ બળ,

$$F = \frac{p}{t} = \frac{2.16 \times 10^{-3}}{0.18 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-6}\ N$$

જો સપાટી સંપૂર્ણ પરાવર્તક હોત તો કેવી રીતે તમારું પરિણામ સુધારશો ?

ઉદાહરણ 8.4

**ઉદાહરણ 8.5** 100 Wના બલ્બમાંથી વિકિરણથી 3 m દૂર ઉદ્‌ભવતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો ગણો. બલ્બની કાર્યક્ષમતા (Efficiency) 2.5 % છે અને તે બિંદુવત ઉદ્‌ગમ છે તેમ ધારો.

**ઉકેલ** બિંદુવત ઉદ્‌ગમ, બલ્બ બધી જ દિશામાં સમાન રીતે પ્રકાશ ઉત્સર્જન કરે છે. તેને 3 m અંતરેથી ઘેરતી ગોળાકાર સપાટીનું ક્ષેત્રફળ

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi(3)^2 = 113\ m^2 \text{ છે.}$$

આ અંતરે તીવ્રતા,

$$I = \frac{\text{પાવર}}{\text{ક્ષેત્રફળ}} = \frac{100\ W \times 2.5\,\%}{113\ m^2}$$
$$= 0.022\ W/m^2$$

આ તીવ્રતાની અડધી તીવ્રતા વિદ્યુતક્ષેત્ર દ્વારા અને અડધી ચુંબકીયક્ષેત્ર દ્વારા પૂરી પડાતી હશે.

$$\frac{1}{2} I = \frac{1}{2} (\varepsilon_0 E_{rms}^2 c)$$
$$= \frac{1}{2} (0.022\ W/m^2)$$
$$E_{rms} = \sqrt{\frac{0.022}{(8.85 \times 10^{-12})\ (3 \times 10^8)}}\ V/m$$
$$= 2.9\ V/m$$

ઉપર શોધેલ Eનું મૂલ્ય વિદ્યુતક્ષેત્ર સરેરાશ વર્ગિત મૂલ્યનું વર્ગમૂળ (rms) છે. હવે, પ્રકાશકિરણમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર જયાવર્તી (સાઇન વિધેય, Sinusoidal) હોવાથી વિદ્યુતક્ષેત્રનું મહત્તમ મૂલ્ય $E_0$,

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

આમ, તમે જોઈ શકો છો કે તમે વાંચવા માટે ઉપયોગમાં લીધેલ વિદ્યુતક્ષેત્રની પ્રબળતા એ ઘણી વધારે હોય છે. તેની TV અથવા FM તરંગોની વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્રબળતા કે જે કેટલાક માઇક્રોવોલ્ટ પ્રતિમીટરના ક્રમની હોય છે તેની સાથે સરખામણી કરો.

હવે આપણે ચુંબકીયક્ષેત્રની પ્રબળતા ગણીએ. તે

ઉદાહરણ 8.5

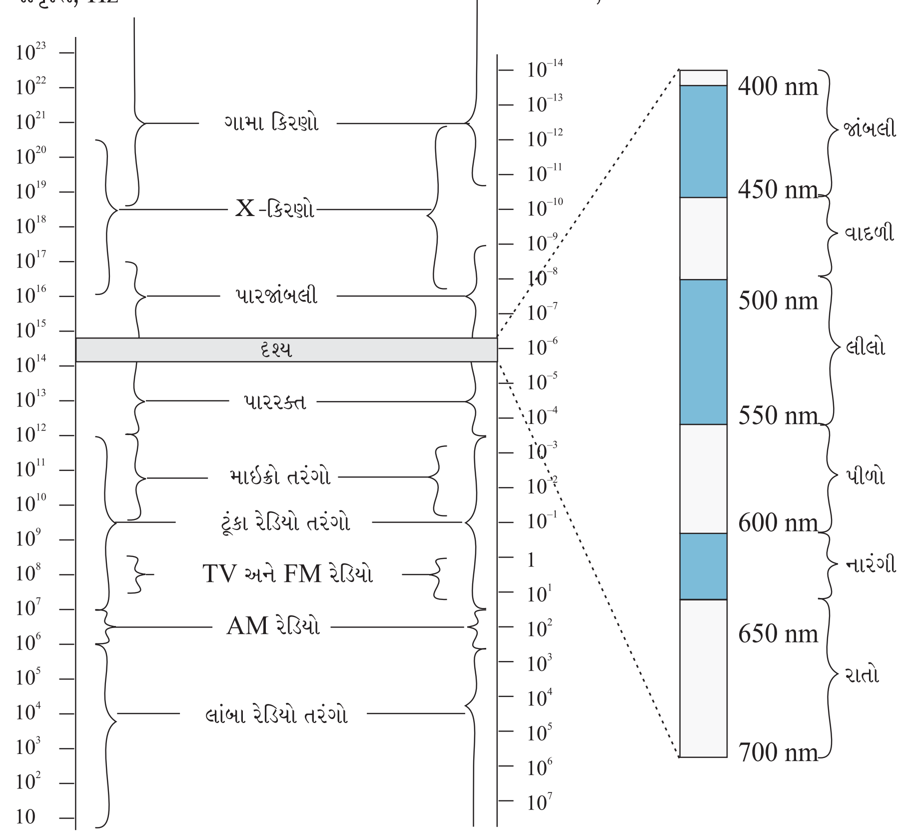
ઉદાહરણ 8.5

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

ફરીવાર, પ્રકાશકિરણમાં ક્ષેત્ર જયાવર્તી (સાઇન વિધેય, Sinusoidal) હોવાથી, ચુંબકીયક્ષેત્રનું મહત્તમ મૂલ્ય $B_0 = \sqrt{2}\,B_{rms} = 1.4 \times 10^{-8}$ T હશે. ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા વિદ્યુતક્ષેત્ર સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા જેટલી જ હોવા છતાં, ચુંબકીયક્ષેત્રની પ્રબળતા ખૂબ જ ઓછી હોય છે.

## 8.4 વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ (ELECTROMAGNETIC SPECTRUM)

જે સમયગાળામાં મેક્સવેલે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના અસ્તિત્વની આગાહી કરી તે સમયગાળામાં ફક્ત દૃશ્ય પ્રકાશના તરંગો જ જાણીતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો હતા. પારજાંબલી અને પારરક્ત તરંગોના અસ્તિત્વ વિશેની માહિતી ખૂબ જ ઓછી હતી. 19મી સદીના અંત સુધીમાં X-કિરણો અને ગામા કિરણોની શોધ થઈ ચૂકી હતી. આપણને હવે તો ખબર છે કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોમાં દૃશ્યપ્રકાશ તરંગો, X-કિરણો, ગામા કિરણો, રેડિયો તરંગો, માઇક્રો તરંગો, પારજાંબલી અને પારરક્ત તરંગોનો સમાવેશ થાય છે. આવૃત્તિને આધારે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોના વર્ગીકરણને વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ (આકૃતિ 8.5) કહે છે. તેમાં એક પ્રકારના તરંગનું અને પછીના પ્રકાર વચ્ચે તીક્ષ્ણ ભેદરેખા નથી. આ વર્ગીકરણ મહદ્અંશે કેવી રીતે તરંગો ઉત્પન્ન કરી શકાય અને/અથવા તેને પરખી શકાય તેના આધારે કરવામાં આવેલ છે.




**આકૃતિ 8.5** જુદા જુદા ભાગનાં પ્રચલિત નામ મુજબ વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટ. જુદા જુદા ભાગને તીક્ષ્ણ સીમાઓ નથી.

Electromagnetic spectrum
http://www.fnal.gov/pub/inquiring/more/light
http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/
PHYSICS

આપણે આ જુદા જુદા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું વર્ણન તરંગલંબાઈના ઉતરતા ક્રમ મુજબ કરીશું.

### 8.4.1 રેડિયો તરંગો (Radio waves)

રેડિયો તરંગો એક વાહકતારમાં વિદ્યુતભારની પ્રવેગિત ગતિ દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે. તેમનો રેડિયો અને ટેલિવિઝનના સંદેશાવ્યવહાર તંત્રોમા ઉપયોગ થાય છે. તે સામાન્ય રીતે 500 kHz થી 1000 MHzના આવૃત્તિગાળામાં રહેલા હોય છે. AM (Amplitude Modulation) બેન્ડ 530 kHz થી 1710 kHzની વચ્ચે હોય છે. 54 MHz સુધીની ઊંચી આવૃત્તિઓ Short Wave (SW) Bands માટે વપરાય છે. TV તરંગો 54 MHz થી 890 MHzના ગાળામાં હોય છે. FM (Frequency Modulated Band) રેડિયો એ 88 MHz થી 108 MHz સુધી વિસ્તરેલ હોય છે. મોબાઇલ ફોન ધ્વનિ સંદેશાવ્યવહાર માટે ખૂબ ઊંચી આવૃત્તિ (Ultra High Frequency - UHF) Bandના રેડિયો તરંગોનો ઉપયોગ કરે છે. પ્રકરણ-15માં આ તરંગો કેવી રીતે પ્રસારિત અને ગ્રહણ કરવામાં આવે છે તેનું વર્ણન કરેલ છે.

### 8.4.2 માઈક્રોવેવ (Microwaves)

માઇક્રોવેવ (ટૂંકી તરંગલંબાઈ ધરાવતા રેડિયો તરંગો) કે જેની આવૃત્તિ ગીગાહર્ટ્ઝ (GHz)ના ક્રમની હોય છે, એ ચોક્કસ પ્રકારની વેક્યુમ ટ્યુબ (કે જે ક્લીસ્ટ્રોન, મેગ્નેટ્રોન અને ગન ડાયોડ તરીકે ઓળખાય છે) દ્વારા ઉત્પન્ન કરાય છે. તેમની ટૂંકી તરંગલંબાઈને કારણે તેનો ઉપયોગ એરોપ્લેનના દિશા નિયંત્રણમાં વપરાતા રડાર માટે સગવડભર્યો છે. આ રડાર, બોલની ઝડપ, ટેનિસમાં સર્વિસ માટે અને વાહનોની ઝડપ શોધવા માટેની સ્પીડ ગન (Speed Guns) માટેનો પણ આધાર પુરો પાડે છે. માઇક્રોવેવ ઓવન એ આ તરંગોનો ખૂબ જ રસપ્રદ ઘરેલું ઉપયોગ છે. આવા ઓવનમાં માઇક્રોવેવની આવૃત્તિ એ પાણીના અણુઓની અનુનાદીય આવૃત્તિ સાથે મેળવેલ હોવાથી તરંગમાંની ઊર્જા અસરકારક રીતે અણુઓની ગતિઊર્જા તરીકે રૂપાંતરિત કરી શકાય છે. આને લીધે પાણી ધરાવતા કોઈ પણ ખોરાકનું તાપમાન વધારી શકાય છે.

#### માઈક્રોવેવ ઓવન (Microwave Oven)

વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણ વર્ણપટ એક માઇક્રોવેવ તરીકે ઓળખાતો ભાગ ધરાવે છે. આવા તરંગોની આવૃત્તિ અને ઊર્જા દૃશ્યપ્રકાશ કરતા ઓછી પરંતુ તરંગલંબાઈ તેના કરતા વધારે હોય છે. માઇક્રોવેવ ઓવનનો સિદ્ધાંત શું છે અને તે કેવી રીતે કાર્ય કરે છે ?

આપણો હેતુ ખોરાક રાંધવાનો કે ગરમ કરવાનો છે. ખોરાકની દરેક ચીજો જેવી કે ફળ, શાકભાજી, માંસ, એકદળીય અનાજ વગેરેમાં તેના ઘટક તરીકે પાણી હોય છે. હવે જ્યારે આપણે એમ કહીએ કે કોઈ પદાર્થ ગરમ થયો એટલે આપણે શું સમજીએ ? જ્યારે પદાર્થનું તાપમાન વધે છે ત્યારે અસ્તવ્યસ્ત ગતિ કરતા અણુ કે પરમાણુઓની ઊર્જા વધે છે અને આ અણુઓ ઊંચી ઊર્જા સાથે ગતિ કે દોલન કે ભ્રમણ કરે છે. પાણીના અણુઓની ભ્રમણની આવૃત્તિ લગભગ 2.45 ગીગાહર્ટ્ઝ (GHz) છે. જો પાણી આ આવૃત્તિ ધરાવતા માઇક્રોવેવને ગ્રહણ કરે તો તેના અણુઓ આ વિકિરણનું શોષણ કરશે કે જે પાણીને ગરમ કરવા બરાબર છે. આ અણુઓ તેમની ઊર્જા આસપાસ રહેલા ખોરાકના અણુઓને આપશે જેથી ખોરાક ગરમ થશે.

આના માટે આપણે પોર્સેલિન (Porcelain)ના વાસણોનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ અને નહીં કે ધાતુના કારણ કે સંગ્રહિત વિદ્યુતભારને કારણે ઇલેક્ટ્રીક શોક (આંચકો) લાગવાનો ભય રહેલો છે. પોર્સેલિન વાસણો આનાથી સુરક્ષિત અને ઠંડા રહે છે, કારણ કે તેમના મોટા અણુઓ ખૂબ જ ઓછી આવૃત્તિથી દોલન અને ચાકગતિ કરે છે અને તેથી માઇક્રોવેવનું શોષણ કરતા નથી તેથી તેઓ ગરમ થતા નથી.

આમ, માઇક્રોવેવ ઓવનનો મૂળભૂત સિદ્ધાંત ઓવનના જે ભાગમાં ખોરાક મૂકવામાં આવે છે તે ભાગમાં યોગ્ય આવૃત્તિના માઇક્રોવેવ વિકિરણ ઉત્પન્ન કરવાનો છે. આમ કરવાથી, વાસણને ગરમ કરવા ઊર્જા વેડફાતી નથી. ગરમ કરવાની રુઢિગત રીતમાં બર્નર પરનું વાસણ પ્રથમ ગરમ થાય છે અને ત્યારબાદ વાસણમાંથી રૂપાંતરીત ઊર્જાને કારણે તેમાં રહેલ ખોરાક ગરમ થાય છે. માઇક્રોવેવ ઓવનમાં, આનાથી ઉલટું, ખોરાકમાં રહેલા પાણીના અણુઓને સીધે સીધી ઊર્જા મળે છે કે જે પછીથી સમગ્ર ખોરાકને પહોંચે છે.

### 8.4.3 પારરક્ત તરંગો (Infrared Waves)

પારરક્ત (Infrared) તરંગો ગરમ પદાર્થ અને અણુઓ દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે. આ Band દશ્યપ્રકાશ વર્ણપટની ઓછી આવૃત્તિ અથવા લાંબી તરંગલંબાઈના છેડાની નજીક આવેલ છે. પારરક્ત તરંગોને ઘણી વખતે ઉષ્મા તરંગો (Heat Waves) પણ કહેવામાં આવે છે. આમ, કહેવા પાછળનું મુખ્ય કારણ એ છે કે મોટાભાગના દ્રવ્યમાં રહેલા પાણીના અણુઓ સહેલાઈથી પારરક્ત તરંગોનું શોષણ કરે છે. (બીજા ઘણા અણુઓ જેવા કે $CO_2$, $NH_3$ વગેરે પણ પારરક્ત તરંગોનું શોષણ કરે છે.) શોષણ બાદ તેમની ઉષ્મીય ગતિ વધે છે, એટલે કે તેઓ ગરમ થાય છે અને આસપાસના ભાગને પણ ગરમ કરે છે. પારરક્ત બલ્બ (Lamps)નો ઉપયોગ શારીરિક ઉપચાર (Physical Therapy)માં થાય છે. ગ્રીનહાઉસ અસર થકી પારરક્ત વિકિરણો પૃથ્વી પરનો ગરમાવો (હૂંફ) અથવા સરેરાશ તાપમાન જાળવવામાં અગત્યનો ભાગ ભજવે છે. આપાત દશ્ય પ્રકાશ (કે જે વાતાવરણમાંથી સહેલાઈથી પસાર થઈ જાય છે)નું પૃથ્વીની સપાટી દ્વારા શોષણ થાય છે અને ત્યારબાદ (લાંબી તરંગલંબાઈ ધરાવતા) પારરક્ત વિકિરણોમાં ફરીથી ઉત્સર્જન થાય છે. આ વિકિરણ ગ્રીનહાઉસ વાયુઓ જેવાંકે કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અને પાણીના અણુઓ દ્વારા જકડાઈ (Trapped) જાય છે. પૃથ્વીના ઉપગ્રહોમાં પારરક્ત Detectors (પરખકર્તા)નો ઉપયોગ લશ્કરી હેતુઓ અને પાકનો વિકાસ (Growth) જોવા એમ બંનેમાં થાય છે. ઇલેક્ટ્રૉનિક ઉપકરણો (દા.ત., અર્ધવાહકના બનેલા Light Emitting Diode – LED) પણ પારરક્ત વિકિરણનું ઉત્સર્જન કરે છે અને તેમનો ઘરવપરાશની ઇલેક્ટ્રૉનિક વસ્તુઓ જેવી કે ટી.વી., વીડિયો રેકોર્ડર અને hi-fi તંત્રોમાં રીમોટ સ્વીચમાં બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ થાય છે.

### 8.4.4 દશ્ય કિરણો (Visible rays)

તે સૌથી જાણીતું વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું સ્વરૂપ છે. આ વર્ણપટનો એવો ભાગ છે કે જે મનુષ્યની આંખ દ્વારા પરખાય છે. તેની આવૃત્તિ $4 \times 10^{14}$ Hzથી લગભગ $7 \times 10^{14}$ Hz જેટલી અથવા તરંગલંબાઈ લગભગ 700-400 nmની વચ્ચે હોય છે. આપણી આસપાસમાં રહેલ વસ્તુઓ પરથી ઉત્સર્જીત અને પરાવર્તિત દશ્યપ્રકાશની મદદથી આપણને વિશ્વ અંગેની માહિતી મળે છે. આપણી આંખો આ તરંગલંબાઈઓના ગાળા માટે સંવેદનશીલ છે. જુદા-જુદા પ્રાણીઓ જુદી-જુદી તરંગલંબાઈઓ માટે સંવેદનશીલ હોય છે. દા.ત., સાપ પારરક્ત તરંગોને પરખી શકે છે અને ઘણા જંતુઓનો દશ્યગાળો પારજાંબલી વિભાગ સુધી વિસ્તરેલો હોય છે.

### 8.4.5 પારજાંબલી કિરણો (Ultraviolet rays)

આ વિભાગની તરંગલંબાઈ $4 \times 10^{-7}$m (400 nm) થી $6 \times 10^{-10}$m (0.6 nm) સુધી વિસ્તરેલી છે. પારજાંબલી (UV) વિકિરણ ચોક્કસ પ્રકારના બલ્બ (Lamps) અને ખૂબ જ ગરમ પદાર્થો દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે. સૂર્ય પારજાંબલી પ્રકાશનો અગત્યનો સ્રોત છે. પરંતુ, સારા નસીબે, તેમાંના મોટાભાગના વિકિરણનું વાતાવરણમાં લગભગ 40-50 km ઊંચાઈએ આવેલા ઓઝોનના સ્તર દ્વારા શોષણ થાય છે. વધારે પ્રમાણમાં UV પ્રકાશ માણસ પર નુકશાનકારક અસર કરે છે. UV પ્રકાશમાં વધારે પ્રમાણમાં રહેવાથી શરીરમાં મેલેનીન (Melanin) ઉત્પન્ન કરે છે કે જેનાથી ચામડી કાળી પડી જાય છે. UV વિકિરણનું સાદા કાચ વડે શોષણ થાય છે. તેથી, કાચની બારીમાંથી આવતા UV પ્રકાશથી ચામડી કાળી પડી જતી કે તતડી જતી (Sunburn, દાહ થતો) નથી.

વેલ્ડીંગ કામ કરતા લોકો વેલ્ડીંગ ચાપ (Arc) દ્વારા મોટા પ્રમાણમાં ઉદ્ભવતા UVથી આંખને બચાવવા માટે ચોક્કસ પ્રકારના કાચના ગોગલ્સ અથવા કાચની બારી ધરાવતા મહોરા (Face Mask) પહેરે છે. તેની ઓછી તરંગલંબાઈને કારણે UV વિકિરણોને ખૂબ પાતળા કિરણપૂંજ તરીકે કેન્દ્રિત કરી શકાય છે કે જેનો ઉપયોગ ખૂબ ચોકસાઈ ધરાવતા ઉપયોગો જેવા કે આંખના વાઢકાપ (Surgery) LASIK (Laser-Assisted in situ Keratomileusis)માં થાય છે. UV લેમ્પનો ઉપયોગ પાણી શુદ્ધ કરવાના ઉપકરણ (સાધન)માં જંતુ નાશ કરવા માટે થાય છે.

વાતાવરણમાંનું ઓઝોનનું સ્તર સુરક્ષા કવચનું (બચાવનું, Protective) કામ કરે છે અને તેથી તેની ક્લૉરોફ્લૉરો કાર્બન (CFCs) વાયુ (જેવાકે ફ્રીઓન) દ્વારા સર્જાતી અછત (ઊણપ) એક આંતરરાષ્ટ્રીય ચિંતાનો વિષય છે.

### 8.4.6 X-કિરણો (X-rays)

વિદ્યુત ચુંબકીય વર્ણપટના UV વિભાગ પછી આવતા ભાગ (વિભાગ)ને X-કિરણો કહે છે. તેનાં ઔષધીય/દાક્તરી ઉપયોગને કારણે આપણે ક્ષ-કિરણોથી પરિચિત છીએ. તે લગભગ $10^{-8}$ m (10 nm)થી છેક $10^{-13}$ m ($10^{-4}$ nm) સુધીની તરંગલંબાઈ ધરાવે છે. X-કિરણો ઉત્પન્ન કરવાની એક સામાન્ય રીતમાં ખૂબ ઊંચી ઊર્જા ધરાવતા ઇલેક્ટ્રૉનને ધાતુના લક્ષ્ય (Target) પર પ્રતાડિત (Bombard) કરી X-કિરણો ઉત્સર્જીત કરવામાં આવે છે. X-કિરણોનો ઉપયોગ ઔષધીય શાખામાં રોગના નિદાન માટેના એક સાધન તરીકે અને અમુક પ્રકારના કેન્સરના ઉપચારમાં થાય છે. X-કિરણો જીવિત માંસપેશીઓ (Tissue)ને નુકશાન કે નાશ કરી શકતા હોવાથી તેનો વધુ પડતો અને બિનજરૂરી ઉપયોગ ટાળવો જોઈએ.

### 8.4.7 ગામા કિરણો (Gamma rays)

તેઓ વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટની સૌથી વધારે આવૃત્તિવાળા ભાગમાં આવેલા છે અને તેમની તરંગલંબાઈ લગભગ $10^{-10}$ m થી $10^{-14}$ m કરતાંય નાની હોય છે. આવા ઉચ્ચ આવૃત્તિ ધરાવતા વિકિરણો ન્યુક્લિયર પ્રક્રિયાઓમાં અને રેડિયો એક્ટિવ ન્યુક્લિયસોમાંથી ઉત્સર્જીત થાય છે. તેમનો ઉપયોગ ઔષધીય શાખામાં કેન્સરના કોષોને નાબુદ કરવામાં થાય છે.

કોષ્ટક 8.1 જુદા જુદા પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો તેમનું ઉત્સર્જન અને પરખ (Detection) અંગેનો સારાંશ આપે છે. અગાઉ જણાવ્યું તે મુજબ જુદા-જુદા બે વિભાગો વચ્ચે ખૂબ જ ચોક્કસ ભેદરેખા તીક્ષ્ણ નથી અને તેઓ એકબીજા ઉપર સંપાત થયેલા છે.

**કોષ્ટક 8.1 જુદા જુદા પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો**

| પ્રકાર | તરંગલંબાઈ ગાળો | ઉત્પાદન | પરખ (Detection) |
|---|---|---|---|
| રેડિયો | $> 0.1$ m | એરીયલમાં ખૂબ જ ઝડપથી પ્રવેગિત અને પ્રતિપ્રવેગિત ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિ | રીસીવરનું એરિયલ |
| માઈક્રોવેવ | 0.1 m થી 1 mm | ક્લીસ્ટ્રૉન વાલ્વ અથવા મેગ્નેટ્રૉન વાલ્વ | Point contact diodes |
| પારરક્ત | 1 mm થી 700 nm | અણુ અને પરમાણુઓનાં કંપનો | થર્મોપાઇલ, બોલોમીટર, પારરક્ત ફોટોગ્રાફિક ફિલ્મ |
| દશ્યપ્રકાશ | 700 nm થી 400 nm | પરમાણુમાં એક સ્તરમાંથી નીચેના ઊર્જાસ્તરમાં થતી સંક્રાંતિ દરમિયાન ઇલેક્ટ્રૉન પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરે છે. | આંખ, ફોટોસેલ, ફોટોગ્રાફિક ફિલ્મ |
| પારજાંબલી | 400 nm થી 1 nm | પરમાણુમાં અંદરની કવચમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની એક ઊર્જા કક્ષામાંથી નીચી ઊર્જા કક્ષામાં થતી સંક્રાંતિ દરમિયાન | ફોટોસેલ, ફોટોગ્રાફિક ફિલ્મ |
| X-કિરણો | 1 nm થી $10^{-3}$ nm | X-કિરણ ટ્યુબ અથવા અંદરની કવચના ઇલેક્ટ્રૉન | ફોટોગ્રાફિક ફિલ્મ, ગાઇગર ટ્યુબ, આયોનાઇઝેશન ચેમ્બર |
| ગામા કિરણો | $< 10^{-3}$ nm | ન્યુક્લિયસનો રેડિયો એક્ટિવ ક્ષય | ઉપર મુજબ |

## સારાંશ

1. મેક્સવેલે ઍમ્પિયરના નિયમમાં એક અસાતત્યતા નોંધી અને આ અસાતત્યતા દૂર કરવા માટે એક વધારાના પ્રવાહ, સ્થાનાંતર પ્રવાહની જરૂરિયાત સૂચવી. આ સ્થાનાંતર પ્રવાહ એ સમય સાથે બદલાતાં વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે છે કે જે નીચે મુજબ આપી શકાય છે.

   $$i_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

   અને આ પ્રવાહ Conduction પ્રવાહ (વહનપ્રવાહ)ની જેમ જ ચુંબકીયક્ષેત્રના ઉદ્‌ગમ તરીકે વર્તે છે.
2. પ્રવેગિત વિદ્યુતભાર વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કરે છે. $v$ આવૃત્તિથી આવર્ત (હાર્મોનિક) દોલનો કરતો વિદ્યુતભાર, $v$ જેટલી જ આવૃત્તિ ધરાવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો ઉત્પન્ન કરે છે. વિદ્યુત દ્વિ-ધ્રુવી એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો માટેનો મૂળભૂત સ્રોત છે.
3. 1887માં હર્ટ્ઝે લેબોરેટરીમાં અમુક મીટરના ક્રમની તરંગલંબાઈ ધરાવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું ઉત્પાદન અને પરખ (Detection) કરી. આમ, તેણે મેક્સવેલના સમીકરણની મૂળભૂત આગાહીની ચકાસણી કરી.
4. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો જયાવર્તી (Sinusoidally) રીતે અવકાશમાં સમય સાથે દોલન કરે છે. આવા દોલનો કરતા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો **E** અને **B** એકબીજાને લંબરૂપે અને વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની પ્રસરણ દિશાને પણ લંબરૂપે હોય છે. $\nu$ આવૃત્તિ, $\lambda$ તરંગલંબાઈ ધરાવતા અને $z$-દિશામાં પ્રસરણ પામતા તરંગ માટે,

   $$E = E_x(t) = E_0 \sin(kz - \omega t)$$
   $$= E_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right)\right] = E_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$
   $$B = B_y(t) = B_0 \sin(kz - \omega t)$$
   $$= B_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right)\right] = B_0 \sin\left[2\pi\left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right]$$

   તેઓ $E_0/B_0 = c$ સંબંધથી સંકળાયેલા છે.
5. શૂન્યાવકાશમાં વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની ઝડપ $c$ એ $\mu_0$ અને $\varepsilon_0$ (મુક્ત અવકાશના પરમીએબિલિટી અને પરમીટીવિટી અચળાંકો) સાથે નીચે મુજબ સંબંધિત છે. $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$. $c$નું મૂલ્ય પ્રકાશીય માપનોથી મળેલ મૂલ્ય જેટલું જ છે.

   પ્રકાશ એક વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ છે, તેથી $c$ એ પ્રકાશની ઝડપ છે. પ્રકાશ સિવાયના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની પણ ઝડપ મુક્તાવકાશમાં $c$ જેટલી જ હોય છે.

   દ્રવ્ય માધ્યમમાં પ્રકાશની કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની ઝડપ $\upsilon = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ વડે અપાય છે. જ્યાં, $\mu$ એ માધ્યમની પરમીએબીલિટી અને $\varepsilon$ એ પરમીટિવીટી છે.
6. જ્યારે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો અવકાશમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે ઊર્જાનું વહન કરે છે અને આ ઊર્જા વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો વચ્ચે સરખે ભાગે વહેંચાયેલી હોય છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો વેગમાનનું પણ વહન કરે છે. જ્યારે આ તરંગો સપાટી પર અથડાય (સંપાત) થાય છે ત્યારે સપાટી પર દબાણ ઉત્પન્ન કરે છે. જો $t$ સમયમાં સપાટી પર આપાત થતી કુલ ઊર્જા U હોય તો આ સપાટીને અપાતું કુલ વેગમાન $p = U/c$ છે.
7. સૈદ્ધાંતિક રીતે, વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનો વર્ણપટ તરંગ લંબાઈઓના અનંત ગાળા પર વિસ્તરેલો છે. તેના જુદા જુદા ભાગ જુદા જુદા નામથી આ મુજબ ઓળખાય છે. $10^{-2}$ Å અથવા $10^{-12}$ m થી

$10^6$ m સુધીના તરંગલંબાઈના ચઢતા ક્રમમાં $\gamma$-કિરણો, X-કિરણો, પારજાંબલી કિરણો, દશ્ય કિરણો, પારરક્ત કિરણો, માઇક્રોવેવ અને રેડિયો તરંગો.

તેઓ તેમનાં વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો છે કે જેઓ દ્રવ્યમાં હાજર વિદ્યુતભારોને દોલન કરાવે છે તેમના દ્વારા દ્રવ્ય સાથે આંતરક્રિયા કરે છે. આવી શોષણ, પ્રકિર્ણન વગેરેની વિસ્તૃત આંતરક્રિયા અને તેથી કાર્યપ્રણાલી/કાર્યવાહી એ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની તરંગલંબાઈ અને માધ્યમમાં રહેલ અણુ અને પરમાણુના પ્રકાર પર આધાર રાખે છે.

## ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. જુદા જુદા પ્રકારના વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો વચ્ચેનો મૂળભૂત તફાવત એ તેમની તરંગલંબાઈ કે આવૃત્તિમાં રહેલો છે કારણ કે તેઓ બધા જ શૂન્યાવકાશમાં સમાન ઝડપથી ગતિ કરે છે. પરિણામ સ્વરૂપ, આ તરંગો દ્રવ્ય સાથેની આંતરક્રિયાની રીતમાં એકબીજાથી ખૂબ જ જુદા પડે છે.
2. પ્રવેગિત વિદ્યુતભારિત કણો વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોનું ઉત્સર્જન કરે છે. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગની તરંગલંબાઈ ઘણીવખત તેને ઉત્સર્જીત કરતા તંત્રના લાક્ષણિક પરિમાણ સાથે સાંકળવામાં આવે છે. આમ $10^{-14}$m થી $10^{-15}$ m તરંગલંબાઈ ધરાવતા ગામા વિકિરણ લાક્ષણિક રીતે ન્યુક્લિયસમાંથી ઉદ્ભવે છે. X-કિરણો ભારે પરમાણુઓ દ્વારા ઉત્સર્જીત થાય છે. રેડિયોતરંગો એ પરિપથમાં પ્રવેગિત ઈલેક્ટ્રૉન દ્વારા ઉત્પન્ન થાય છે. (સિગ્નલ) પ્રસારિત કરતું ટ્રાન્સમીટીંગ ઍન્ટેનાનું પરિમાણ જે તરંગોની તરંગલંબાઈ જેટલું જ હોય તેમને સૌથી વધુ કાર્યક્ષમ રીતે પ્રસારિત કરે છે. દશ્યપ્રકાશ કે જે પરમાણુઓ દ્વારા ઉત્સર્જિત થાય છે તેની તરંગલંબાઈ પરમાણુઓના પરિમાણ કરતાં અલબત્ત ઘણી વધારે હોય છે.
3. વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના દોલિત ક્ષેત્રો વિદ્યુતભારને પ્રવેગિત કરી શકે છે અને દોલન કરતો પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરાવી શકે છે. તેથી વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની પરખ કરવાના સાધનોની રચના આ હકીકત પર આધારિત છે. હટ્ર્ઝનું મૂળ રીસીવર આ જ સિદ્ધાંત પર કાર્ય કરતું હતું. આ સમાન મૂળભૂત સિદ્ધાંત જ લગભગ બધા જ નવા રીસીવર (ગ્રહણ-ઉપકરણો)માં પણ વપરાય છે. ઉચ્ચ આવૃત્તિ ધરાવતા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની પરખ જુદી રીતે તેઓની દ્રવ્ય સાથેની આંતરક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન ભૌતિક અસરને આધારે કરવામાં આવે છે.
4. દશ્ય પ્રકાશ કરતાં જેની આવૃત્તિ ઓછી હોય તેવા પારરક્ત તરંગો ફક્ત ઈલેક્ટ્રૉનને જ નહીં પરંતુ દ્રવ્યના આખા અણુ અને પરમાણુને દોલન કરાવે છે. આ દોલનો પદાર્થની આંતરિક ઊર્જા અને પરિણામે તાપમાન વધારે છે. આ કારણથી પારરક્ત તરંગોને ઘણીવખત ઉષ્મા તરંગો પણ કહેવામાં આવે છે.
5. આપણી આંખની સંવેદનાનું કેન્દ્ર એ સૂર્યમાંથી નીકળતા વિકિરણના તરંગલંબાઈ વિતરણના કેન્દ્ર સાથે સંપાત થાય છે. આનું કારણ એ છે કે સૂર્યમાંથી ઉત્સર્જીત સૌથી પ્રબળ તરંગલંબાઈ પ્રત્યે સૌથી સંવેદી દૃષ્ટિ સાથે મનુષ્યની ઉત્ક્રાંતિ થયેલ છે.

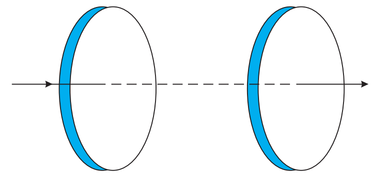
## સ્વાધ્યાય

**8.1** આકૃતિ 8.6માં દરેકની ત્રિજ્યા 12 cm હોય તેવી બે વર્તુળાકાર પ્લેટથી બનેલું એક કેપેસીટર દર્શાવેલ છે. બે પ્લેટો વચ્ચેનું અંતર 5.0 cm છે. બાહ્ય ઉદ્ગમ (આકૃતિમાં દર્શાવેલ નથી) વડે આ કેપેસીટરને (સંધારકને) વિદ્યુતભારિત કરવામાં આવે છે. તેને વિદ્યુતભારિત કરતો પ્રવાહ 0.15 A જેટલો અચળ રહે છે.

(a) કેપેસીટન્સ અને બે પ્લેટો વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતનો દર ગણો.

(b) પ્લેટો વચ્ચે સ્થાનાંતર પ્રવાહ ગણો.

(c) શું કિર્ચોફનો પ્રથમ નિયમ (જંકશન માટેનો નિયમ) સંધારકની દરેક પ્લેટ માટે સાચો છે ? સમજાવો.



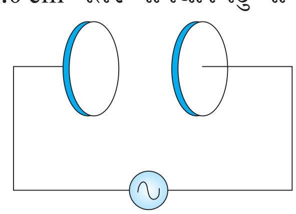
આકૃતિ 8.6

**8.2** દરેકની ત્રિજ્યા R = 6.0 cm હોય તેવી વર્તુળાકાર પ્લેટનું બનેલું એક સમાંતર પ્લેટ કેપેસીટર (આકૃતિ 8.7)નું કેપેસીટન્સ C = 100 pF છે. આ સંધારક 230 V ac ઉદ્‌ગમ સાથે સંકળાયેલ છે કે જેની (કોણીય) આવૃત્તિ 300 rad $s^{-1}$ છે.

(a) વહનપ્રવાહ (Conduction Current)નું rms મૂલ્ય કેટલું હશે ?

(b) શું વહનપ્રવાહ અને સ્થાનાંતર પ્રવાહ સમાન હશે ?

(c) પ્લેટોની વચ્ચે અક્ષથી 3.0 cm અંતરે આવેલા બિંદુ આગળ **B**નો કંપવિસ્તાર શોધો.



આકૃતિ 8.7

**8.3** $10^{-10}$ m તરંગલંબાઈ ધરાવતા X-કિરણો, 6800 Å તરંગલંબાઈ ધરાવતા રાતા પ્રકાશ અને 500 m તરંગલંબાઈ ધરાવતા રેડિયો તરંગો માટે કઈ ભૌતિકરાશિ સમાન છે ?

**8.4** એક સમતલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ $z$-દિશામાં શૂન્યાવકાશમાં ગતિ કરે છે. તેમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર અને ચુંબકીયક્ષેત્ર સદિશો માટે તમે શું કહી શકો ? જો તરંગની આવૃત્તિ 30 MHz હોય તો તેની તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ?

**8.5** એક રેડિયો 7.5 MHz થી 12 MHzની વચ્ચે કોઈ રેડિયો સ્ટેશનને Tune (સુમેળ) કરી શકે છે. આને અનુરૂપ તરંગલંબાઈનો ગાળો કેટલો હશે ?

**8.6** એક વિદ્યુતભાર તેના સરેરાશ સમતોલન સ્થાનની આસપાસ $10^9$ Hzની આવૃત્તિથી દોલન કરે છે. આ દોલક દ્વારા ઉત્પન્ન વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોની આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

**8.7** શૂન્યાવકાશમાં રહેલ હાર્મોનિક વિદ્યુતચુંબકીય તરંગનો ભાગ હોય તેવા ચુંબકીયક્ષેત્રનો કંપવિસ્તાર $B_0 = 510$ nT છે. તરંગનો ભાગ હોય તેવા વિદ્યુતક્ષેત્રનો કંપવિસ્તાર કેટલો હશે ?

**8.8** ધારોકે એક વિદ્યુતચુંબકીય તરંગના વિદ્યુતક્ષેત્રનો કંપવિસ્તાર $E_0$ = 120 N/C અને તેની આવૃત્તિ $\nu = 50.0$ MHz છે.

(a) $B_0$, $\omega$, $k$ અને $\lambda$ શોધો. (b) **E** અને **B** માટેના સૂત્રો શોધો.

**8.9** પુસ્તકમાં વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના જુદા જુદા ભાગની શબ્દાવલિ (Terminology) આપેલ છે. $E = h\nu$ (વિકિરણનો ઊર્જા-જથ્થો : ફોટોન માટે)નો ઉપયોગ કરી વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના જુદા જુદા ભાગની ફોટોન ઊર્જા $e$V એકમમાં મેળવો. તમે જે આ જુદા જુદા ક્રમની ફોટોન-ઊર્જા મેળવો છો તે કેવી રીતે વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણના જુદા-જુદા સ્રોત સાથે સંબંધ ધરાવે છે ?

**8.10** એક સમતલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગમાં વિદ્યુતક્ષેત્રના જ્યાવર્તી દોલનની આવૃત્તિ $2.0 \times 10^{10}$ Hz અને કંપવિસ્તાર 48 V $m^{-1}$ છે.

(a) તરંગની તરંગલંબાઈ કેટલી છે ?
(b) દોલન કરતા ચુંબકીયક્ષેત્રનો કંપવિસ્તાર કેટલો છે?
(c) દર્શાવો કે વિદ્યુતક્ષેત્ર **E**ની સરેરાશ ઊર્જા ઘનતા, ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**ની સરેરાશ ઊર્જા ઘનતા જેટલી છે. ($c = 3 \times 10^8 \, ms^{-1}$)

## વધારાના સ્વાધ્યાય

**8.11** ધારોકે શૂન્યાવકાશમાં રહેલ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગનું વિદ્યુતક્ષેત્ર,
$E = \{(3.1 \, N/C) \cos [(1.8 \, rad/m) \, y + (5.4 \times 10^6 \, rad/s)t)\} \, \hat{\mathbf{i}}$ છે.
(a) પ્રસરણ દિશા કઈ છે ?
(b) તરંગલંબાઈ $\lambda$ કેટલી છે ?
(c) આવૃત્તિ $\nu$ કેટલી છે ?
(d) તરંગના ચુંબકીયક્ષેત્રનો કંપવિસ્તાર કેટલો છે ?
(e) તરંગના ચુંબકીયક્ષેત્ર માટેનું સમીકરણ લખો.

**8.12** એક 100 Wના પ્રકાશ બલ્બની લગભગ 5 % કાર્યક્ષમતાનું દૃશ્ય વિકિરણમાં રૂપાંતરણ થાય છે. દૃશ્ય વિકિરણની સરેરાશ તીવ્રતા નીચેના કિસ્સાઓ માટે કેટલી હશે ?
(a) બલ્બથી 1 m અંતરે (b) બલ્બથી 10 m અંતરે
એવું ધારોકે દરેક વિકિરણ બધી જ દિશામાં સમાન રીતે ઉત્સર્જીત થાય છે અને પરાવર્તન અવગણો.

**8.13** $\lambda_m T = 0.29$ cmK સૂત્રનો ઉપયોગ કરી વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના જુદા જુદા ભાગના લાક્ષણિક તાપમાનગાળા મેળવો. આ માટે મળેલી સંખ્યા શું જણાવે છે ?

**8.14** ભૌતિકશાસ્ત્રમાં જુદા-જુદા પરિપ્રેક્ષ્યમાં વિદ્યુતચુંબકીય વિકિરણો સાથે સંકળાયેલી કેટલીક પ્રચલિત સંખ્યાઓ નીચે દર્શાવેલ છે. તે વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના કયા ભાગમાં આવેલા છે તે જણાવો.
(a) 21 cm (આંતર તારાકીય અવકાશ (Interstellar Space)માં પરમાણ્વિક હાઇડ્રોજન દ્વારા ઉત્સર્જીત તરંગલંબાઈ)
(b) 1057 MHz (લેમ્બ શિફ્ટ (Lamb Shift)થી ઓળખાતી ઘટના કે જેમાં હાઇડ્રોજનમાં ખૂબ જ નજીક આવેલાં બે ઊર્જા સ્તરોમાંથી ઉત્સર્જાતા વિકિરણની આવૃત્તિ)
(c) 2.7 K (એક વિચાર મુજબ, યુનિવર્સના Big-bangના ઉદ્ભવ બાદ અવકાશને સંપૂર્ણ ભરી દેતા સમાન રીતે ફેલાયેલા વિકિરણ સાથે સંકળાયેલ તાપમાન).
(d) $5890 \, \text{Å} - 5896 \, \text{Å}$ (સોડિયમની Double Lines-દ્વિ-રેખાઓ)
(e) 14.4 *ke*V (ખૂબ પ્રચલિત ઉચ્ચ વિભેદનશક્તિ ધરાવતી સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક પદ્ધતિ (Mössbaure Spectroscopy)માં $^{57}Fe$ ન્યુક્લિયસની એક ચોક્કસ સંક્રાંતિ સાથે સંકળાયેલ ઊર્જા)

**8.15** નીચેનાં પ્રશ્નોનાં જવાબ આપો :
(a) દૂર અંતરના રેડિયો પ્રસારણ માટે short-wave band વપરાય છે, શા માટે ?
(b) દૂર અંતરના TV-પ્રસારણ માટે ઉપગ્રહનો ઉપયોગ કરવો જરૂરી છે, શા માટે ?
(c) પ્રકાશીય અને રેડિયો ટેલિસ્કોપ પૃથ્વીની સપાટી પર રચવામાં આવે છે જ્યારે X-કિરણ ખગોળવિજ્ઞાન (Astronomy) એ પૃથ્વીને પરિક્રમણ (Orbiting) કરતાં ઉપગ્રહ પરથી જ થઈ શકે છે, શા માટે ?
(d) વાતાવરણનાં ઉપરના ભાગમાં રહેલ ઓઝોનનું નાનું સ્તર મનુષ્ય જાતિનાં અસ્તિત્વ માટે ખૂબ જ અગત્યનું છે, શા માટે ?
(e) જો પૃથ્વીને વાતાવરણ ના હોય તો તેની સપાટીનું સરારેશ તાપમાન અત્યારે છે તેના કરતા વધારે કે ઓછું હોત ?
(f) અમુક વૈજ્ઞાનિકોનું માનવું છે કે પૃથ્વી પર ગ્લોબલ (વૈશ્વિક) ન્યુક્લિયર યુદ્ધ પછી 'ન્યુક્લિયર-શિયાળા' (Nuclear-winter)ની તીવ્ર અસર દેખાશે કે જેથી પૃથ્વી પરના જીવન પર ખૂબ જ વિનાશકારી અસર હશે. આવી આગાહી માટે કયો આધાર હોઈ શકે ?

# જવાબો (ANSWERS)

## પ્રકરણ 1

**1.1** $6 \times 10^{-3}$ N (અપાકર્ષક)

**1.2** (a) 12 cm (b) 0.2 N (આકર્ષક)

**1.3** $2.4 \times 10^{39}$. આ ઇલેક્ટ્રૉન અને પ્રોટોન વચ્ચેના (સમાન અંતર માટે) વિદ્યુતબળ અને ગુરુત્વબળનો ગુણોત્તર છે.

**1.5** વિદ્યુતભાર ઉત્પન્ન થતો નથી કે નાશ પામતો નથી. તે ફક્ત એક પદાર્થથી બીજા પદાર્થ પર સ્થાનાંતરિત થાય છે.

**1.6** શૂન્ય N

**1.8** (a) $5.4 \times 10^{6}$ N $C^{-1}$ OB તરફ
(b) $8.1 \times 10^{-3}$ N OA તરફ

**1.9** કુલ વિદ્યુતભાર શૂન્ય છે. ડાયપોલ ચાકમાત્રા = $7.5 \times 10^{-8}$ C m $z$-અક્ષની દિશામાં

**1.10** $10^{-4}$ N m

**1.11** (a) $2 \times 10^{12}$, ઊનથી પોલીથીન તરફ
(b) હા, પરંતુ અવગણ્ય જથ્થાનું (દાખલામાં $2 \times 10^{-18}$ kg)

**1.12** (a) $1.5 \times 10^{-2}$ N (b) 0.24 N

**1.13** $5.7 \times 10^{-3}$ N

**1.14** વિદ્યુતભારો 1 અને 2 ઋણ છે, વિદ્યુતભાર 3 ધન છે. કણ 3 માટે વિદ્યુતભાર અને દળનો ગુણોત્તર મહત્તમ છે.

**1.15** (a) 30 N$m^2$/C (b) 15 N$m^2$/C

**1.16** શૂન્ય. ઘનમાં દાખલ થતી રેખાઓની સંખ્યા ઘનમાંથી બહાર જતી રેખાઓની સંખ્યા જેટલી જ છે.

**1.17** (a) 0.07 μC (b) ના, ફક્ત અંદરનો કુલ (net) વિદ્યુતભાર શૂન્ય છે.

**1.18** $2.2 \times 10^{5}$ N $m^2$/C

**1.19** $1.9 \times 10^{5}$ N $m^2$/C

**1.20** (a) $-10^{3}$ N $m^2$/C, કારણ કે બંને કિસ્સામાં ઘેરાયેલો વિદ્યુતભાર એકસમાન જ છે.
(b) −8.8 nC

**1.21** −6.67 nC

**1.22** (a) $1.45 \times 10^{-3}$ C (b) $1.6 \times 10^{8}$ N $m^2$/C

**1.23** 10 μC/m

**1.24** (a) શૂન્ય (b) શૂન્ય (c) 1.9 N/C

**1.25** $9.81 \times 10^{-4}$ mm

**1.26** ફક્ત (c) સાચું છે, બાકીના સ્થિતવિદ્યુત ક્ષેત્રરેખાઓ રજૂ કરી શકે નહિ. (a) ખોટું છે, કારણ કે ક્ષેત્રરેખાઓ સુવાહકને લંબરૂપે જ હોય.(b) ખોટું છે, કારણ કે ક્ષેત્રરેખાઓ ઋણ વિદ્યુતભારથી શરૂ થઈ શકે નહિ. (d) ખોટું છે, કારણ કે ક્ષેત્રરેખાઓ એકબીજાને છેદી શકે નહિ. (e) ખોટું છે, કારણ કે સ્થિતવિદ્યુત ક્ષેત્રરેખાઓ બંધ ગાળો રચી શકે નહિ.

**1.27** બળ $10^{-2}$ N ઋણ $z$-દિશામાં એટલે કે ઘટતા વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશામાં છે. તમે ચકાસી શકો છો કે આ દિશા ડાયપોલની ઘટતી સ્થિતિઊર્જાની દિશા પણ છે; ટૉર્ક શૂન્ય છે.

**1.28** (a) **સૂચન :** પૂરેપૂરી સુવાહકની અંદર હોય અને બખોલ (Cavity)ને ઘેરતી હોય તેવી સપાટીને ગૉસિયન સપાટી તરીકે પસંદ કરો.

(b) (a)ના જેવી જ સપાટી પર ગૉસનો નિયમ દર્શાવે છે કે $q$, સુવાહકની અંદરની સપાટી પર $-q$ પ્રેરિત કરે છે.

(c) ઉપકરણને સંપૂર્ણપણે ધાત્વિક સપાટીથી ઘેરી લો.

**1.29** સૂચન : પુરાયેલા છિદ્રવાળા સુવાહકનો વિચાર કરો. તેમાં તરત બહારના ભાગમાં ક્ષેત્ર $(\sigma/\varepsilon_0)\,\hat{\mathbf{n}}$ છે અને અંદર શૂન્ય છે. આ ક્ષેત્રને, પુરાયેલા છિદ્રને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્ર અને બાકીના વિદ્યુતભારિત સુવાહકને લીધે વિદ્યુતક્ષેત્રના સંપાતપણા સ્વરૂપે જુઓ. સુવાહકની અંદરના ભાગમાં આ ક્ષેત્રો સમાન અને વિરુદ્ધ છે. બહારના ભાગમાં તેઓ મૂલ્યમાં અને દિશામાં સમાન છે. આથી, સુવાહકના બાકીના ભાગ વડે ક્ષેત્ર $\left(\dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}\right)\hat{\mathbf{n}}$ છે.

**1.31** p; uud; n; udd

**1.32** (a) **સૂચન :** વિરોધાભાસથી તે સાબિત કરો. ધારોકે સંતુલન સ્થાયી હોય તો, પરિક્ષણ વિદ્યુતભારને ગમે તે દિશામાં સ્હેજ સ્થાનાંતરિત કરતાં, તટસ્થબિંદુ તરફ પુનઃ સ્થાપક બળ અનુભવશે. એટલે કે તટસ્થબિંદુ નજીક બધી ક્ષેત્રરેખાઓ અંદર તરફ તટસ્થબિંદુ તરફની દિશામાં હોવી જોઈએ. એટલે કે તટસ્થબિંદુની આસપાસની બંધ સપાટીમાંથી અંદર તરફ વિદ્યુતક્ષેત્રનું કંઈક કુલ ફ્લક્સ છે. પરંતુ ગૉસના નિયમ મુજબ કોઈ વિદ્યુતભારને ઘેરતી ન હોય તેવી સપાટીમાંથી વિદ્યુતક્ષેત્રનું ફ્લક્સ શૂન્ય હોય છે. આથી, સંતુલન સ્થાયી ન હોઈ શકે.

(b) બે વિદ્યુતભારોને જોડતી રેખાનું મધ્યબિંદુ તટસ્થ બિંદુ છે. પરિક્ષણ વિદ્યુતભારને તટસ્થ બિંદુએથી તે જ રેખા પર સ્હેજ ખસેડો. તમે જોશો કે કુલ બળ તેને તટસ્થબિંદુથી દૂર તરફ લઈ જાય છે. યાદ રાખો કે, સંતુલનના સ્થાયીપણા માટે બધી દિશામાં પુનઃસ્થાપક બળ જરૂરી છે.

**1.34** 1.6 cm

## પ્રકરણ 2

**2.1** ધન વિદ્યુતભારથી ઋણ વિદ્યુતભારની બાજુએ 10 cm, 40 cm દૂર

**2.2** $2.7 \times 10^{6}$ V

**2.3** (a) ABને લંબ અને તેના મધ્યબિંદુમાંથી પસાર થતા સમતલ પર દરેક સ્થાને શૂન્ય સ્થિતિમાન છે.

(b) સમતલને લંબ અને AB દિશામાં

**2.4** (a) શૂન્ય

(b) $10^{5}$ N C$^{-1}$

(c) $4.4 \times 10^{4}$ N C$^{-1}$

**2.5** 96 pF

**2.6** (a) 3 pF (b) 40 V

**2.7** (a) 9 pF (b) $2 \times 10^{-10}$ C, $3 \times 10^{-10}$ C, $4 \times 10^{-10}$ C

**2.8** 18 pF, $1.8 \times 10^{-9}$ C

**2.9** (a) V = 100 V, C = 108 pF, Q = $1.08 \times 10^{-8}$ C

(b) Q = $1.8 \times 10^{-9}$ C, C = 108 pF, V = 16.6 V

**2.10** $1.5 \times 10^{-8}$ J

**2.11** $6 \times 10^{-6}$ J

**2.12** 1.2 J, R બિંદુને જવાબ સાથે કોઈ સંબંધ નથી.

**2.13** સ્થિતિમાન = $4q/(\sqrt{3}\,\pi\varepsilon_0 b)$; સંમિતિ પરથી અપેક્ષા મુજબ ક્ષેત્ર શૂન્ય છે.

**2.14** (a) $2.4 \times 10^5$ V, 2.5 μC વિદ્યુતભારથી 1.5 μC વિદ્યુતભાર તરફ $4.0 \times 10^5$ V m$^{-1}$.

(b) $2.0 \times 10^5$ V, 2.5 μC અને 1.5 μC વિદ્યુતભારોને જોડતી રેખા સાથે લગભગ $69^o$નો કોણ બનાવતી દિશામાં $6.6 \times 10^5$ V m$^{-1}$.

**2.15** (a) $-q/(4\pi r_1^{\,2})$, $(Q+q)/(4\pi r_2^{\,2})$

(b) ગૉસના નિયમ પરથી, બખોલ (જેમાં કોઈ વિદ્યુતભાર નથી)ને ઘેરતી અંદરની સપાટી પર, કુલ (net) વિદ્યુતભાર શૂન્ય હોવો જોઈએ. યાદચ્છિક આકારની બખોલ માટે, અંદરના ભાગમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર શૂન્ય હોવું જોઈએ એમ કહેવું પૂરતું નથી. બખોલમાં ધન અને ઋણ વિદ્યુતભારો હોઈ શકે છે, જેમનો કુલ વિદ્યુતભાર શૂન્ય થાય. આ શક્યતાનો નિકાલ કરવા માટે, એક બંધ ગાળો લો, જેનો એક ભાગ બખોલની અંદર ક્ષેત્રરેખા પર હોય અને બાકીનો વાહકની અંદર હોય. વાહકની અંદર ક્ષેત્ર શૂન્ય હોવાથી આ ક્ષેત્ર વડે પરિક્ષણ વિદ્યુતભારને બંધ ગાળા પર લઈ જવામાં થતું કંઈક પરિણામી કાર્ય આપે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર માટે આ અશક્ય છે. આમ, ગમે તેવા આકાર માટે બખોલની અંદર કોઈ ક્ષેત્રરેખા હોતી નથી (એટલે કે ક્ષેત્ર નથી) અને વાહકની અંદરની સપાટી પર કોઈ વિદ્યુતભાર હોતો નથી.

**2.17** $\lambda/(2\pi\varepsilon_0 r)$, જ્યાં $r$ એ નળાકારોની સામાન્ય અક્ષથી બિંદુનું અંતર છે. ક્ષેત્ર ત્રિજ્યાવર્તી અને અક્ષને લંબરૂપે છે.

**2.18** (a) −27.2 eV

(b) 13.6 eV

(c) −13.6 eV, 13.6 eV. એ નોંધો કે બીજી પસંદગીમાં હાઇડ્રોજન પરમાણુની કુલ ઊર્જા શૂન્ય છે.

**2.19** −19.2 eV, સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય અનંત અંતરે લીધેલ છે.

**2.20** પ્રથમના વિદ્યુતક્ષેત્ર અને બીજાના વિદ્યુતક્ષેત્રનો ગુણોત્તર (b/a) છે. સપાટ વિભાગને મોટી ત્રિજ્યાની ગોળાકાર સપાટી અને અણીદાર વિભાગને નાની ત્રિજ્યાની ગોળાકાર સપાટી સાથે સરખાવી શકાય.

**2.21** (a) ડાયપોલની અક્ષ પર સ્થિતિમાન $(\pm 1/4\pi\varepsilon_0)\, p/(x^2 - a^2)$ છે, જ્યાં $p = 2qa$ ડાયપોલ ચાકમાત્રાનું માન છે. જ્યારે બિંદુ $+q$ની નજીક હોય ત્યારે + ચિહ્ન અને જ્યારે $-q$ની નજીક હોય ત્યારે – ચિહ્ન અક્ષને લંબરૂપે $(x, y, 0)$ બિંદુઓએ સ્થિતિમાન શૂન્ય છે.

(b) $1/r^2$ પ્રકારે $r$ પર આધારિત છે.

(c) શૂન્ય. ના, કારણ કે સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર વડે બે બિંદુઓ વચ્ચે થતું કાર્ય, તે બે બિંદુઓને જોડતા માર્ગ પર આધારિત નથી.

**2.22** $r$ના મોટા મૂલ્ય માટે ચતુર્ધ્રુવીનું સ્થિતિમાન $1/r^3$ મુજબ બદલાય છે, ડાયપોલનું સ્થિતિમાન $1/r^2$ મુજબ બદલાય છે અને એક ધ્રુવીનું સ્થિતિમાન $1/r$ મુજબ બદલાય છે.

**2.23** 1 $\mu$Fના અઢાર કેપેસીટરો, દરેક હરોળમાં ત્રણ કેપેસીટરો શ્રેણીમાં હોય તેવી 6 હરોળોને સમાંતરમાં જોડવી.

**2.24** 1130 $km^2$

**2.25** સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ = (200/3) pF, $Q_1 = 10^{-8}$ C, $V_1 = 100$ V, $Q_2 = Q_3 = 10^{-8}$ C,
$V_2 = V_3 = 50$ V,
$Q_4 = 2.55 \times 10^{-8}$ C, $V_4 = 200$ V

**2.26** (a) $2.55 \times 10^{-6}$ J
(b) $u = 0.113$ J $m^{-3}$, $u = (1/2)\varepsilon_0 E^2$

**2.27** $2.67 \times 10^{-2}$ J

**2.28** **સૂચના :** ધારોકે આપણે બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર $\Delta x$ જેટલું વધારીએ છીએ. (બાહ્ય પરિબળે) કરેલું કાર્ય = $F\Delta x$. આનાથી કેપેસીટરની સ્થિતિઊર્જા $ua\Delta x$ જેટલી વધે છે. જ્યાં $u$ ઊર્જા ઘનતા છે. આથી, $F = ua$. જે $u = (1/2)\varepsilon_0 E^2$નો ઉપયોગ કરતાં (1/2)QE જેટલું હોવાનું જોઈ શકાય છે. બળના સૂત્રમાં (1/2) અવયવ આવવાનું ભૌતિક કારણ એ છે કે સુવાહકની તરત બહાર ક્ષેત્ર E છે અને અંદર ક્ષેત્ર શૂન્ય છે. આથી, સરેરાશ મૂલ્ય (E/2) બળમાં ફાળો આપે છે.

**2.30** (a) $5.5 \times 10^{-9}$ F
(b) $4.5 \times 10^2$ V
(c) $1.3 \times 10^{-11}$ F

**2.31** (a) ના, કારણ કે ગોળાઓ પર વિદ્યુતભારનાં વિતરણો નિયમિત (Uniform) નહિ હોય.
(b) ના.
(c) આવું હંમેશ જરૂરી નથી. (જો ક્ષેત્રરેખા સુરેખા હોય તો જ સત્ય છે). ક્ષેત્રરેખા પ્રવેગની દિશા આપે છે, પણ વ્યાપકરૂપે, વેગની દિશા નહિ.
(d) શૂન્ય, પૂર્ણ કક્ષાનો આકાર કોઈ પણ હોય તો પણ ફેર પડતો નથી.
(e) ના, સ્થિતિમાન સતત છે.
(f) એક જ સુવાહક પણ કેપેસીટર છે, જેની બીજી પ્લેટ અનંત અંતરે છે.
(g) પાણીના અણુને કાયમી ડાયપોલ ચાકમાત્રા હોય છે. આમ છતાં, ડાયઈલેક્ટ્રીક અચળાંકના મૂલ્યની વિગતવાર સમજૂતિ માટે માઈક્રોસ્કોપીક સિદ્ધાંતની જરૂર પડે છે અને તે આ પુસ્તકની મર્યાદાની બહાર છે.

**2.32** $1.2 \times 10^{-10}$ F, $2.9 \times 10^4$ V

**2.33** 19 $cm^2$

**2.34** (a) $x$-$y$ સમતલને સમાંતર સમતલો
(b) (a)ની જેમજ, સિવાય કે જેમ ક્ષેત્ર વધે છે તેમ નિશ્ચિત સ્થિતિમાનનો તફાવત ધરાવતાં સમતલો એકબીજાની નજીક આવે છે.
(c) જેમનું કેન્દ્ર ઉગમબિંદુ પર હોય તેવા સમકેન્દ્રિય ગોળાઓ.
(d) ગ્રીડની નજીકમાં આવર્ત રીતે બદલાતા આકારો જે દૂરના અંતરોએ ધીરે ધીરે ગ્રીડને સમાંતર સમતલ આકારો બને છે.

**2.35** **સૂચના :** ગૉસના નિયમ મુજબ, ગોળા અને કવચ વચ્ચેનું ક્ષેત્ર માત્ર $q_1$ વડે નિર્ધારિત થાય છે. આથી, ગોળા અને કવચ વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત $q_2$ પર આધારિત નથી. જો $q_1$ ધન હોય તો સ્થિતિમાનનો આ તફાવત હંમેશાં ધન હોય છે.

**2.36** (a) આપણું શરીર અને પૃથ્વી સમસ્થિતિમાન પૃષ્ઠ રચે છે. જ્યારે આપણે ખુલ્લામાં પગ મૂકીએ છીએ ત્યારે ખુલ્લી હવાનાં મૂળ સમસ્થિતિમાન પૃષ્ઠો એવી રીતે બદલાય છે, જેમાં આપણું માથું અને પૃથ્વી એક જ સ્થિતિમાને રહે છે.

(b) હા, વાતાવરણમાં વિદ્યુતવિભાર (Discharging)નો સ્થિર પ્રવાહ ઍલ્યુમિનિયમના પતરાને ધીરે ધીરે વિદ્યુતભારિત કરે છે અને (પતરું, ચોસલું (Slab) અને પૃથ્વી)થી રચાતા કેપેસીટરના કેપેસીટન્સ પર આધાર રાખે તેવી માત્રા સુધી તેનું સ્થિતિમાન વધારે છે.

(c) સમગ્ર પૃથ્વી પર મેઘગર્જનાઓ અને વીજળીઓ થવાથી વાતાવરણ સતત વિદ્યુતભારિત થતું રહે છે અને સામાન્ય હવામાનના વિભાગોમાં થઈ વિદ્યુતવિભારિત (Discharge) થતું રહે છે. આ બે વિરોધી પ્રવાહો, સરેરાશ રીતે સંતુલનમાં હોય છે.

(d) વીજળી થવા દરમિયાન પ્રકાશઊર્જા અને તેની સાથે થતી ગર્જનાઓમાં ઉષ્મા અને ધ્વનિઊર્જા.

## પ્રકરણ 3

**3.1** 30 A

**3.2** 17 Ω, 8.5 V

**3.3** (a) 6 Ω, (b) 2 V, 4 V, 6 V

**3.4** (a) (20/19) Ω

(b) 10 A, 5 A, 4 A, 19 A

**3.5** 1027 $^{\circ}$C

**3.6** $2.0 \times 10^{-7}$ Ωm

**3.7** 0.0039 $^{\circ}C^{-1}$

**3.8** 867 $^{\circ}$C

**3.9** AB ભુજામાં પ્રવાહ = (4/17) A, BC ભુજામાં = (6/17) A, CD ભુજામાં = (–4/17) A, ADમાં = (6/17) A, BDમાં = (–2/17) A, કુલ પ્રવાહ = (10/17) A

**3.10** (a) X = 8.2 Ω, બ્રીજ-સૂત્રમાં જેમની ગણના થતી ના હોય તેવા જોડાણ અવરોધોને લઘુત્તમ કરવા માટે

(b) A થી 60.5 cm

(c) ગૅલ્વેનોમીટર શૂન્ય પ્રવાહ દર્શાવશે.

**3.11** 11.5 V, શ્રેણી અવરોધ એ બાહ્ય ઉદ્‌ગમમાંથી ખેંચાતા (મળતા) પ્રવાહને સીમીત કરે છે. તેની ગેરહાજરીમાં, પ્રવાહ ભયજનક વધારે હશે.

**3.12** 2.25 V

**3.13** $2.7 \times 10^{4}$ s (7.5 h)

**3.14** પૃથ્વીની ત્રિજ્યા $6.37 \times 10^{6}$ m જેટલી લો અને (પૃથ્વીના) ગોળા પરનો કુલ વિદ્યુતભાર ગણો. તેને પ્રવાહથી ભાગો જેથી સમય = 283 s મળે છે. આ રીત પણ તમને અંદાજીત કિંમત જ આપશે, તે તદ્દન સાચી નથી. શા માટે ?

**3.15** (a) 1.4 A, 11.9 V

(b) 0.005 A, તે શક્ય નથી, કારણ કે સ્ટાર્ટર (Starter) મોટરને અમુક સેકન્ડ માટે મોટો પ્રવાહ (~ 100 A) જોઈએ છે.

**3.16** કૉપર અને ઍલ્યુમિનિયમ તારના દળ (કે વજન)નો ગુણોત્તર (1.72/2.63) × (8.9/2.7) ≅ 2.2 છે. ઍલ્યુમિનિયમ હલકો હોવાને કારણે કેબલના લાંબા Suspension માટે તેનો ઉપયોગ થાય છે.

**3.17** વધુ ચોકસાઈ સુધી ઓહ્‌મનો નિયમ સાચો છે, મિશ્રધાતુ મેન્ગેનીનની અવરોધકતા તાપમાનથી લગભગ સ્વતંત્ર છે.

**3.18** (a) ફક્ત પ્રવાહ (કારણ કે તે સ્થાયી હોવાનું આપેલ છે !) બાકીનું બધું આડછેદના ક્ષેત્રફળના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.
(b) ના, ઓહ્‌મના નિયમનું પાલન ના કરતા હોય તેવા ઉદાહરણો : નિર્વાત ડાયોડ (Vacuum Diode), અર્ધવાહક ડાયોડ.
(c) કારણ કે ઉદ્‌ગમમાંથી ખેંચાતો મહત્તમ પ્રવાહ $= \varepsilon/r$.
(d) કારણ કે જો પરિપથ (આકસ્મિક રીતે) લઘુપથિત (Short Circuit) કરવામાં આવે તો ખેંચાતો પ્રવાહ જો આંતરિક અવરોધ મોટો ના હોય તો સુરક્ષા-સીમા (Limits)થી વધી જશે.

**3.19** (a) વધારે,
(b) નાના,
(c) લગભગ સ્વતંત્ર,
(d) $10^{22}$

**3.20** (a) (i) શ્રેણીમાં,
(ii) બધાં જ સમાંતરમાં, $n^2$
(b) (i) 1 Ω અને 2 Ωને સમાંતરમાં અને આ સંયોજનને 3 Ω સાથે શ્રેણીમાં જોડો,
(ii) 2 Ω અને 3 Ωનું સમાંતર જોડાણ 1 Ω અવરોધ સાથે શ્રેણીમાં,
(iii) બધાં જ શ્રેણીમાં, (iv) બધા જ સમાંતરમાં.
(c) (I (16/3) Ω,
(ii) 5 R

**3.21** **સૂચન :** ધારોકે અનંત નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ X છે. સ્પષ્ટ છે કે $2 + X/(X + 1) = X$ કે જે $X = (1 + \sqrt{3})\ \Omega$ આપે છે, તેથી પ્રવાહ 3.7 A છે.

**3.22** (a) $\varepsilon = 1.25$ V
(b) જ્યારે ખસેડી શકાય તેવો સંપર્ક સમતોલન બિંદુથી દૂર હોય તે સંજોગોમાં ગૅલ્વેનોમીટરમાંથી પસાર થતા પ્રવાહમાં ઘટાડો કરવા.
(c) ના.
(d) ના. જો ε એ પોટેન્શીયોમીટરના ચાલક વિદ્યુત કોષના *emf* કરતા વધારે હોય તો તાર AB પર સમતોલન બિંદુ મળશે નહીં.
(e) આ જ સ્થિતિમાં પરિપથ અનુકૂળ નહીં બને કારણ કે (જ્યારે ε એ અમુક mVના ક્રમનો હશે ત્યારે) સમતોલન બિંદુ છેડા Aની ખૂબ જ નજીક આવેલું હશે અને અવલોકનમાં પ્રતિશત ત્રુટિ ખૂબ જ મોટી હશે. યોગ્ય અવરોધ Rને તાર ABના શ્રેણીમાં મૂકી આ પરિપથમાં ફેરફાર કરી શકાય કે જેથી ABને સમાંતર વોલ્ટેજ તફાવત એ જે *emf* માપવાનું છે, તેના કરતા સ્હેજ જ વધારે હોય પછી, સમતોલન બિંદુ તારની મોટી લંબાઈ માટે મળશે અને પ્રતિશત ત્રુટિ ઘણી નાની થશે.

**3.23** 1.7 Ω

## પ્રકરણ 4

**4.1** $\pi \times 10^{-4}$ T  $3.1 \times 10^{-4}$ T

**4.2** $3.5 \times 10^{-5}$ T

**4.3** $4 \times 10^{-6}$ T, શિરોલંબ ઉપર (ઉર્ધ્વ) તરફ

**4.4** $1.2 \times 10^{-5}$ T, દક્ષિણ તરફ

**4.5** $0.6\ \text{N m}^{-1}$

**4.6** $8.1 \times 10^{-2}$ N, બળની દિશા ફ્લેમિંગના ડાબા હાથના નિયમ મુજબ અપાય છે.

**4.7** $2 \times 10^{-5}$ N, Aને લંબરૂપે B તરફ આકર્ષી બળ

**4.8** $8\pi \times 10^{-3}$ T $\simeq 2.5 \times 10^{-2}$ T

**4.9** 0.96 N m

**4.10** (a) 1.4,
(b) 1

**4.11** 4.2 cm

**4.12** 18 MHz

**4.13** (a) 3.1 Nm,
(b) ના. જવાબ બદલાતો નથી, કારણ કે કોઈપણ આકારના સમતલ ગુંચળા (Loop) માટે સૂત્ર $\tau = N I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$ સાચું છે.

**4.14** $5\pi \times 10^{-4}$ T $= 1.6 \times 10^{-3}$ T પશ્ચિમ તરફ

**4.15** લંબાઈ આશરે 50 cm, ત્રિજ્યા આશરે 4 cm, આંટાની સંખ્યા આશરે 400, વિદ્યુતપ્રવાહ આશરે 10 A. આ વિગતો અનન્ય નથી. અમુક મર્યાદામાં થોડાક ફેરફાર શક્ય છે.

**4.16** (b) ગુંચળાઓ વચ્ચેના મધ્યબિંદુ પાસે 2d જેટલી લંબાઈના નાના વિસ્તાર માટે

$$B = \frac{\mu_0 I R^2 N}{2} \times \left[\left\{\left(\frac{R}{2}+d\right)^2 + R^2\right\}^{-3/2} + \left\{\left(\frac{R}{2}-d\right)^2 + R^2\right\}^{-3/2}\right]$$

$$= \frac{\mu_0 I R^2 N}{2} \times \left(\frac{5R^2}{4}\right)^{-3/2} \times \left[\left(1+\frac{4d}{5R}\right)^{-3/2} + \left(1-\frac{4d}{5R}\right)^{-3/2}\right]$$

$$= \frac{\mu_0 I R^2 N}{2} \times \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \times \left[1-\frac{6d}{5R}+1+\frac{6d}{5R}\right]$$

જ્યાં, ઉપરના બીજા અને ત્રીજા પદનાં, $d^2/R^2$ તથા d/Rના મોટા ઘાત ધરાવતા પદો અવગણ્યા છે. કારણ કે, $d/R << 1$. d/R ધરાવતા રેખીય પદો એકબીજાને નાબૂદ કરે છે અને નાના વિસ્તારમાં નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર B આપે છે.

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 I N}{R} = 0.72 \frac{\mu_0 I N}{R}$$

**4.17** **સૂચન :** ટોરોઈડ માટે Bનું સૂત્ર સૉલેનૉઈડ માટેનું સૂત્ર જ છે : $B = \mu_0 n I$, જ્યાં આપણા કિસ્સામાં $n = \frac{N}{2\pi r}$. આંટાઓની વચ્ચે રહેલા ગર્ભ (core)માં ક્ષેત્ર શૂન્ય નથી.
(a) શૂન્ય, (b) $3.0 \times 10^{-2}$ T, (c) શૂન્ય. નોંધો કે, ટોરોઈડમાં જેમ $r$નું મૂલ્ય અંદરથી બહારની ત્રિજ્યા તરફ બદલાય તેમ તેના આડછેદમાં ક્ષેત્ર થોડુંક બદલાય છે. જવાબ (b) સરેરાશ ત્રિજ્યા $r = 25.5$ cmને અનુરૂપ છે.

**4.18** (a) પ્રારંભિક **υ** કાં તો **B**ને સમાંતર અથવા પ્રતિસમાંતર (વિરુદ્ધ) છે.
(b) હા, કારણ કે ચુંબકીય બળ **υ** ની દિશા બદલી શકે, પરંતુ તેનું માન નહીં.
(c) **B**ની દિશા શિરોલંબ નીચે (નિમ્ન) તરફ હોવી જોઈએ.

**4.19** (a) **B**ને લંબ 1.0 cm ત્રિજ્યાનો વર્તુળાકાર ગતિપથ.
(b) 0.5 mm ત્રિજ્યાનો સર્પિલ (helical) ગતિપથ જેનો **B**ની દિશામાં વેગ ઘટક $2.3 \times 10^7$ m $s^{-1}$ છે.

**4.20** ડ્યુટેરીયમ આયનો કે ડ્યુટેરોન, જવાબ અનન્ય નથી, કારણ કે ફક્ત વિદ્યુતભાર અને દ્રવ્યમાનનો ગુણોત્તર ગણવામાં આવ્યો છે. બીજા શક્ય જવાબો $He^{++}$, $Li^{+++}$ વગેરે છે.

**4.21** (a) વાહકને લંબરૂપે 0.26 Tનું સમક્ષિતિજ ચુંબકીયક્ષેત્ર એવી દિશામાં કે જેથી ફ્લેમિંગના ડાબા હાથના નિયમ મુજબ ચુંબકીય બળ ઉપર તરફ મળે.

(b) 1.176 N

**4.22** $1.2\ \mathrm{N\ m^{-1}}$, અપાકર્ષી, નોંધ, તાર પર લાગતું કુલ બળ $1.2 \times 0.7 = 0.84$ N મેળવવું એ લગભગ સાચું છે, કારણ કે એકમ લંબાઈ દીઠ લાગતા બળ માટેનું સૂત્ર $F = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_1 I_2$, ફક્ત અનંત લંબાઈના તાર માટે સાચું છે.

**4.23** (a) 2.1 N શિરોલંબ ઉપર તરફ

(b) 2.1 N શિરોલંબ નીચે તરફ (વિદ્યુત પ્રવાહની દિશા અને **B** વચ્ચેના કોઈ પણ ખૂણા માટે સાચું છે કારણ કે $l \sin\theta$, 20 cm જેટલું અચળ રહે છે).

(c) 1.68 N શિરોલંબ નીચે તરફ.

**4.24** $\boldsymbol{\tau} = I\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ અને $\mathbf{F} = I\boldsymbol{l} \times \mathbf{B}$નો ઉપયોગ કરો.

(a) $1.8 \times 10^{-2}$ N m, $-y$ દિશામાં

(b) (a) મુજબ

(c) $1.8 \times 10^{-2}$ N m, $-x$ દિશામાં

(d) $1.8 \times 10^{-2}$ N m, $+x$ દિશા સાથે $240^{\circ}$ના કોણે.

(e) શૂન્ય

(f) શૂન્ય

દરેક કિસ્સામાં બળ શૂન્ય છે. કિસ્સો

(e) સ્થાયી સંતુલન અને કિસ્સો

(f) અસ્થાયી સંતુલન ને અનુરૂપ છે.

**4.25** (a) શૂન્ય,

(b) શૂન્ય,

(c) દરેક ઇલેક્ટ્રૉન પરનું બળ $evB = IB/(nA) = 5 \times 10^{-25}$ N છે.

***નોંધ*** : જવાબ (c) ફક્ત ચુંબકીય બળ દર્શાવે છે.

**4.26** 108 A

**4.27** શ્રેણી અવરોધ = 5988 Ω

**4.28** શન્ટ અવરોધ = 10 mΩ

## પ્રકરણ 5

**5.1** (a) મેગ્નેટીક ડેક્લીનેશન, ડીપ (નમન) કોણ, પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક.

(b) બ્રિટનમાં વધુ (લગભગ $70^{\circ}$ જેટલું), કારણ કે બ્રિટન ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવથી વધુ નજીક છે.

(c) પૃથ્વીના ચુંબકત્વના કારણે **B**ની ક્ષેત્રરેખાઓ જમીનમાંથી બહાર નીકળતી દેખાશે.

(d) ચુંબકીય કંપાસ સમક્ષિતિજ સમતલમાં ફરવા માટે મુક્ત છે, જ્યારે ચુંબકીય ધ્રુવો પાસે પૃથ્વીનું ક્ષેત્ર બરાબર શિરોલંબ છે. આથી, ત્યાં કંપાસ કોઈ પણ દિશા દર્શાવશે.

(e) ડાઈપોલ મોમેન્ટ **m** વાળા ડાયપોલના લંબદ્વિભાજક (વિષુવરેખા) પર ક્ષેત્ર **B** માટેના સૂત્રનો ઉપયોગ કરો,

$$B_E = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{m}}{r^3}$$

$m = 8 \times 10^{22}\ \mathrm{J\ T^{-1}}$, $r = 6.4 \times 10^{6}$ m લો. જેથી, B = 0.3 G મળશે, જેનો માનનો ક્રમ પૃથ્વી પરના ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે મળતો આવે છે.

(f) શા માટે નહીં ? પૃથ્વીનું ચુંબકીયક્ષેત્ર ફક્ત સંનિકટ રીતે જ ડાઈપોલનું ક્ષેત્ર છે. સ્થાનિક N–S ધ્રુવો કદાચ ચુંબકીય ખનિજ જથ્થાને કારણે ઉદ્‌ભવી શકે છે.

**5.2** (a) હા, તે સમય સાથે બદલાય છે જ. માપી શકાય તેવા ફેરફાર માટે સમયગાળો લગભગ અમુક સેંકડો વર્ષનો છે. પરંતુ તેનાથી ઘણા નાના એવા થોડાંક જ વર્ષોના ગાળા માટે તેના ફેરફારો સંપૂર્ણપણે અવગણી શકાય તેવા નથી.

(b) કારણ કે પિગળેલું લોખંડ (જે પૃથ્વીના ગર્ભમાં ખૂબ ઊંચા તાપમાને લોખંડની એક અવસ્થા છે તે) ફેરોમેગ્નેટીક નથી.

(c) એક શક્યતા, પૃથ્વીની અંદરના ભાગમાંની રેડિયો એક્ટિવીટી છે. પરંતુ હકીકત કોઈ જાણતું નથી. આ સવાલના સાચા જવાબ માટે તમારે ભૂ-ચુંબકત્વ (Geomagnetism) માટેના કોઈ સારા પુસ્તકનો અભ્યાસ કરવો જોઈએ.

(d) ઘનીકરણ (ઠારણ) પ્રક્રિયા દરમિયાન પૃથ્વીનું ચુંબકીયક્ષેત્ર ખૂબ નબળા પ્રમાણમાં ખડકોમાં સંગ્રહિત થઈ જાય છે. ખડકોના આ ચુંબકત્વનું વિશ્લેષણ કરતાં ભૂ-ચુંબકીય ઇતિહાસ વિશે માહિતી મળે છે.

(e) મોટા અંતરો એ આ ક્ષેત્રમાં (પૃથ્વીના આયનોસ્ફીયરમાંના) ગતિમાન આયનોના ક્ષેત્રને કારણે ફેરફાર થાય છે, જે (આયનોસ્ફીયર) પૃથ્વીની બહાર ઉદ્‌ભવતા તોફાનો, જેવા કે સૌર પવનો પ્રત્યે સંવેદી છે (તેમનાથી બદલાતું રહે છે).

(f) સમીકરણ $R = \frac{mv}{eB}$ પરથી, ખૂબ ઓછું ક્ષેત્ર પણ વિદ્યુતભારિત કણોને ખૂબ મોટી ત્રિજ્યાના વર્તુળાકાર માર્ગ પર વાળે છે. નાના અંતર માટે, ખૂબ મોટી ત્રિજ્યા Rના કારણે મળતું કોણાવર્તન કદાચ નોંધનીય ન હોય, પરંતુ તારાઓ વચ્ચેના અવકાશમાં અતિશય મોટા અંતરો માટે, આ કોણાવર્તન પસાર થતા વિદ્યુતભારીત કણો દા. ત., કોસ્મિક કિરણોની ગતિ પર નોંધનીય અસર કરી શકે.

**5.3** $0.36\ J\,T^{-1}$

**5.4** (a) **B**ને સમાંતર **m**, $U = -mB = -4.8 \times 10^{-2}$ J સ્થાયી સંતુલન

(b) **B**ને પ્રતિસમાંતર **m**, $U = +mB = +4.8 \times 10^{-2}$ J, અસ્થાયી સંતુલન

**5.5** સૉલેનૉઇડની અક્ષ પર $0.60\ J\,T^{-1}$, જે વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા દ્વારા નિર્ધારિત થાય છે.

**5.6** $7.5 \times 10^{-2}$ J

**5.7** (a) (i) 0.33 J, (ii) 0.66 J

(b) (i) 0.33 J જેટલો ટૉર્ક લાગશે જે મેગ્નેટીક મોમેન્ટ સદિશને **B**ની દિશા સાથે એક રેખસ્થ કરવા પ્રયત્ન કરશે.

(ii) શૂન્ય.

**5.8** (a) અક્ષ પર $1.28\ A\,m^2$, જેની દિશા જમણા હાથના સ્ક્રૂના નિયમ મુજબ વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા પરથી મળશે.

(b) નિયમિત ક્ષેત્રમાં બળ શૂન્ય છે, ટૉર્ક = 0.048 Nm જે સૉલેનૉઇડની અક્ષને (એટલે કે તેના મેગ્નેટીક મોમેન્ટ સદિશને) **B** સાથે એક રેખસ્થ કરવાનો પ્રયત્ન કરે તે દિશામાં લાગશે.

**5.9** $I = mB/(4\pi^2\upsilon^2)$ અને $m = NIA$ નો ઉપયોગ કરો, તે પરથી $\mathcal{I} = 1.2 \times 10^{-4}\ kgm^2$ મળશે.

**5.10** $B = 0.35 \sec 22^{\circ} = 0.38$ G

**5.11** પૃથ્વીનું ક્ષેત્ર ભૌગોલિક મેરીડિયનથી પશ્ચિમ તરફ $12^{\circ}$ એ શિરોલંબ સમતલમાં હશે, જે સમક્ષિતિજ (ચુંબકીય દક્ષિણથી ચુંબકીય ઉત્તર તરફની) દિશા સાથે (ઉપરની તરફ) $60^{\circ}$ કોણ બનાવશે. માન = 0.32 G

**5.12** (a) S–N દિશામાં 0.96 G

(b) N–S દિશામાં 0.48 G

**5.13** પૃથ્વીના ક્ષેત્રની દિશામાં 0.54 G

**5.14** લંબદ્વિભાજક પર $14 \times 2^{-1/3} = 11.1$ cm અંતરે

**5.15** (a) $(\mu_0 m)/(4\pi r^3) = 0.42 \times 10^{-4}$ જે પરથી $r = 5.0$ cm મળશે.

(b) $(2\mu_0 m)/(4\pi r_1^3) = 0.42 \times 10^{-4}$ એટલે કે $r_1 = 2^{1/3} r = 6.3$ cm

**5.16** (a) (ચુંબકન (magnetising) ક્ષેત્રની સાથે) એક રેખસ્થ થતા ડાયપોલોની ગોઠવણીમાં અનિયમિત તાપીય ગતિ દ્વારા છિન્નભિન્ન કરવાનું ભંગાણ સર્જવાનું વલણ નીચા તાપમાનોએ ઘટે છે.

(b) ડાયામેગ્નેટીક પદાર્થમાં પ્રેરિત ડાયપોલ મોમેન્ટ હંમેશા ચુંબકન (magnetising) ક્ષેત્રથી વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે, પછી ભલેને પરમાણુઓની આંતરીક ગતિ ગમે તે હોય.

(c) બિસ્મથ ડાયામેગ્નેટીક હોવાથી, થોડુંક ઓછું.

(d) ના, મેગ્નેટાઇઝેશન વક્ર પરથી દેખીતું છે. મેગ્નેટાઇઝેશન વક્રના ઢાળ પરથી એ સ્પષ્ટ છે કે નાના ક્ષેત્રો માટે *m* મોટી હોય છે.

(e) આ અગત્યની હકીકતની સાબિતી (જે ઘણી પ્રાયોગિક અગત્યતા ધરાવે છે) બે માધ્યમોને જોડતી સપાટી પાસે ચુંબકીય ક્ષેત્રો (**B** અને **H**)ની સીમા શરતો પર આધારિત છે. (જ્યારે એક માધ્યમ માટે $\mu >> 1$ હોય ત્યારે, ક્ષેત્રરેખાઓ આ માધ્યમને લગભગ લંબરૂપે મળે છે.) વધુ માહિતી આ પુસ્તકની મયાર્દા બહાર છે.

(f) હા. બે જુદા જુદા દ્રવ્યોના પરમાણ્વિક ડાયપોલની પ્રબળતામાં થોડોક જ તફાવત હોવા ઉપરાંત સંતૃપ્ત મેગ્નેટાઇઝેશન ધરાવતા પેરામેગ્નેટીક પદાર્થનું મેગ્નેટાઇઝેશન સમાન ક્રમનું હશે. પરંતુ, સંતૃપ્ત થવા માટે પ્રાયોગિક રીતે અશક્ય એવા ઊંચા ચુંબકીયક્ષેત્રોની જરૂર પડે છે.

**5.17** (b) કાર્બન સ્ટીલનો ટુકડો, કારણ કે એક ચક્ર દરમિયાન ઉષ્માનો વ્યય હીસ્ટરીસીસ લૂપ (ગાળા)ના ક્ષેત્રફળના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

(c) ફેરોમેગ્નેટનું મેગ્નેટાઇઝેશન, ચુંબકીય (Magnetising) ક્ષેત્રનું એક મૂલ્ય વિધેય નથી. આપેલ ક્ષેત્ર માટે તેનું મૂલ્ય, ક્ષેત્ર અને તેના મેગ્નેટાઇઝેશનના ઇતિહાસ બંને પર આધાર રાખે છે (એટલે કે મેગ્નેટાઇઝેશનના કેટલા ચક્રમાંથી તે પસાર થયો છે, વગેરે). બીજા શબ્દોમાં, મેગ્નેટાઇઝેશનનું મૂલ્ય એ મેગ્નેટાઇઝેશન ચક્રોનો સંગ્રહ (સ્મૃતિ) કે રેકોર્ડ છે. જો માહિતીના વિભાગો (bits) આ ચક્રોને અનુરૂપ કરવામાં આવે, તો હીસ્ટરીસીસ લૂપ દર્શાવતું આવું તંત્ર માહિતી સંગ્રહ કરવાના સાધન તરીકે કાર્ય કરી શકે.

(d) સિરામીક્સ (વિશિષ્ટ રીતે પ્રક્રિયા કરેલ બેરીયમ આયર્ન એક્સાઇડ) જે ફેરાઇટ પણ કહેવાય છે.

(e) આ વિસ્તારની આસપાસ નરમ લોખંડની રીંગો રાખો. ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ આ રીંગોમાંથી પસાર થશે અને આ રીંગો વડે ઘેરાયેલો વિસ્તાર ચુંબકીયક્ષેત્રથી મુક્ત રહેશે. પરંતુ આ શિલ્ડીંગ, બાહ્ય વિદ્યુતક્ષેત્રમાં મૂકેલ વાહકમાંની બખોલમાં બનતા સંપૂર્ણ વિદ્યુતક્ષેત્રના શિલ્ડીંગ જેવું સંપૂર્ણ નથી માત્ર આશરા પડતું છે.

**5.18** તાર (cable)ને સમાંતર અને તેની ઉપર 1.5 cm અંતરે.

**5.19** તાર (cable)ની નીચે,

$$R_h = 0.39\cos 35^\circ - 0.2 = 0.12\ \text{G}$$

$$R_v = 0.39\sin 35^\circ = 0.22\ \text{G}$$

$$R = \sqrt{R_h^2 + R_v^2} = 0.25\ \text{G}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R_v}{R_h} = 62^\circ$$

તારની ઉપર

$$R_h = 0.39\cos 35^\circ + 0.2 = 0.52\ \text{G}$$

$$R_v = 0.224\ \text{G}$$

$$R = 0.57\ \text{G},\ \theta \simeq 23^\circ$$

**5.20** (a) $B_h = (\mu_0 IN/2r)\cos 45^\circ = 0.39$ G

(b) પૂર્વથી પશ્ચિમ (એટલે કે, ચુંબકીય સોય તેની મૂળ દિશા ઉલટાવશે.)

**5.21** બીજા ક્ષેત્રનું માન

$$= \frac{1.2 \times 10^{-2} \times \sin 15^\circ}{\sin 45^\circ}$$

$$= 4.4 \times 10^{-3}\ \mathrm{T}$$

**5.22** $R = \dfrac{meV}{eB}$

$$= \frac{\sqrt{2m_e \times \text{ગતિઊર્જા}}}{eB}$$

$= 11.3$ m

ઉપર કે નીચે આવર્તન $= R(1 - \cos\theta)$. જ્યાં, $\sin\theta = (0.3/11.3)$

આથી, મળતું આવર્તન $\simeq 4$ mm

**5.23** શરૂઆતમાં, કુલ ડાયપોલ મોમેન્ટ $= 0.15 \times 1.5 \times 10^{-23} \times 2.0 \times 10^{24}$

$= 4.5\ \mathrm{J\,T^{-1}}$

ક્યુરીના નિયમનો ઉપયોગ કરો $m \propto B/T$

જેના પરથી અંતિમ ડાયપોલ મોમેન્ટ $= 4.5 \times (0.98/0.84) \times (4.2/2.8)$

$= 7.9\ \mathrm{J\,T^{-1}}$

**5.24** $B = \dfrac{\mu_r \mu_0 NI}{2\pi R}$ સમીકરણનો ઉપયોગ કરો, જ્યાં $\mu_r$ સાપેક્ષ પરમિએબિલીટી, જેના પરથી

$B = 4.48$ T

**5.25** બંનેમાંથી સમીકરણ $\mu_l = -(e/2m)\boldsymbol{l}$ એ પ્રચલિત ભૌતિકશાસ્ત્ર મુજબ છે. $\mu_l$ અને $l$ની વ્યાખ્યાઓ પરથી એ સ્પષ્ટ છે કે,

$\mu_l = IA = (e/T)\pi r^2$

$$l = mvr = m\frac{2\pi r^2}{T}$$

જ્યાં, $r$ એ વર્તુળાકાર કક્ષાની ત્રિજ્યા છે. જેમાં, $m$ દ્રવ્યમાન અને $(-e)$ વિદ્યુતભારવાળો ઇલેક્ટ્રૉન T સમયમાં એક પરિભ્રમણ કરે છે. આથી, $\mu_l / l = e/2m$. ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર $(= -e)$ ઋણ હોવાથી, એ જોઈ શકાય કે $\mu$ અને $l$ વિરુદ્ધ દિશામાં છે અને બંને ભ્રમણ કક્ષાના સમતલને લંબ છે. આથી, $\mu_l = -(e/2m)\,\boldsymbol{l}$. નોંધો કે $\mu_s/S$નું મૂલ્ય $\mu_l / l$ થી વિપરિત $e/m$ છે, એટલે કે, પ્રચલિત રીતે અપેક્ષિત મૂલ્ય કરતાં બમણું. આ પરિણામ (પ્રાયોગિક રીતે પણ ચકાસાયેલ છે) એ આધુનિક ક્વૉન્ટમ સિદ્ધાંતનું અગત્યનું પરિણામ છે, જે પ્રચલિત ભૌતિકશાસ્ત્ર વડે મેળવી શકાતું નથી.

## પ્રકરણ 6

**6.1** (a) *qrpq* માર્ગે,

(b) *prq* માર્ગે, *yzx* માર્ગે,

(c) *yzx* માર્ગે,

(d) *zyx* માર્ગે,

(e) *xry* માર્ગે,

(f) ગાળા (લૂપ)ના સમતલમાં ક્ષેત્ર રેખાઓ આવેલ હોવાથી પ્રવાહ પ્રેરિત થતો નથી.

**6.2** (a) abcd માર્ગે (આકાર પરિવર્તન દરમિયાન સપાટીમાંથી ફ્લક્સ વધે છે. તેથી પ્રેરિત પ્રવાહ વિરોધ કરતું ફ્લક્સ ઉત્પન્ન કરે છે.)

(b) a'b'c'd 'માર્ગે (પ્રક્રિયા દરમિયાન ફ્લક્સ ઘટે છે.)

**6.3** $7.5 \times 10^{-6}$ V

**6.4** (a) $2.4 \times 10^{-4}$ V, 2 s સુધી રહેશે

(b) $0.6 \times 10^{-4}$ V, 8 s સુધી રહેશે.

**6.5** 100 V

**6.6** ગાળા (લૂપ)ના દરેક આંટામાંથી ફ્લક્સ $= \pi r^2 B \cos(\omega t)$

$\varepsilon = -N\omega\pi r^2 B\sin(\omega t)$

$\varepsilon_{max} = -N\omega\pi r^2 B$

$= 20 \times 50 \times \pi \times 64 \times 10^{-4} \times 3.0 \times 10^{-2} = 0.603$ V

એક ચક્ર પરનું $\varepsilon_{avg}$ શૂન્ય છે.

$I_{max} = 0.0603$ A

$P_{average} = \frac{1}{2}\, \varepsilon_{max} I_{max} = 0.018$ W

પ્રેરિત પ્રવાહ કોઇલ (ગૂંચળા) ના પરિભ્રમણનો વિરોધ કરતું ટૉર્ક ઉત્પન્ન કરે છે. આ કોઇલને નિયમિત રીતે ફેરવવા માટે એક બાહ્ય એજન્ટ (રોટર) દ્વારા આ ટૉર્કનો સામનો કરતું ટૉર્ક પુરું પાડવું જ જોઈએ. (કાર્ય થવું જોઈએ). આમ, ગુંચળામાં ગરમી (ઉષ્મા) તરીકે વ્યય પામતી ઊર્જાનો સ્રોત બાહ્ય રોટર છે.

**6.7** (a) $1.5 \times 10^{-3}$ V,

(b) પશ્ચિમથી પૂર્વ

(c) પૂર્વ છેડે

**6.8** 4H

**6.9** 30 Wb

**6.10** **B** નો ઉર્ધ્વ ઘટક

$= 5.0 \times 10^{-4} \sin 30^{o}$

$= 2.5 \times 10^{-4}$ T

$\varepsilon = Blv$

$\varepsilon = 2.5 \times 10^{-4} \times 25 \times 500$

$= 3.125$ V

પ્રેરિત *emf* 3.1 V છે (સાર્થક અંકોનો ઉપયોગ કરીને)

આ જવાબ માટે પાંખની દિશા અગત્યની નથી (જ્યાં સુધી તે સમક્ષિતિજ છે).

**6.11** પ્રેરિત *emf* $= 8 \times 2 \times 10^{-4} \times 0.02 = 3.2 \times 10^{-5}$ V

પ્રેરિત પ્રવાહ $= 2 \times 10^{-5}$ A

પાવર વ્યય $= 6.4 \times 10^{-10}$ W

આ પાવરનો સ્રોત સમય સાથે ચુંબકીયક્ષેત્રને બદલવા માટે જવાબદાર એવો બાહ્ય એજન્ટ છે.

**6.12** Bમાં સમય સાથેના સ્પષ્ટ ફેરફારને કારણે ફ્લક્સના ફેરફારનો દર

$= 144 \times 10^{-4}\, m^2 \times 10^{-3}$ T $s^{-1}$

$= 1.44 \times 10^{-5}$ Wb $s^{-1}$

અનિયમિત Bમાં લૂપની ગતિને લીધે ફ્લક્સમાં ફેરફારનો દર

$= 144 \times 10^{-4}\, m^2 \times 10^{-3}$ T $cm^{-1} \times 8$ cm $s^{-1}$

$= 11.52 \times 10^{-5}$ Wb $s^{-1}$

આ બંને અસરો ધન $z$-દિશામાં ફ્લક્સમાં ઘટાડો કરતી હોવાથી ઉમેરાય છે. તેથી, પ્રેરિત $emf = 12.96 \times 10^{-5}$ V, પ્રેરિત પ્રવાહ $= 2.88 \times 10^{-2}$ A. પ્રેરિત પ્રવાહની દિશા એવી છે કે, જે ધન $z$-દિશામાં લૂપમાં ફ્લક્સમાં વધારો કરે છે. જો નિરીક્ષક માટે લૂપ જમણી બાજુ ગતિ કરે, તો પ્રવાહ ઘડિયાળના કાંટાની ગતિની દિશાની વિરુદ્ધમાં દેખાતી હશે. ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાની યોગ્ય સાબિતી નીચે પ્રમાણે છે :

$$\Phi(t) = \int_0^a a\mathrm{B}(x, t)\mathrm{d}x$$

$$\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = a\int_0^a dx\frac{\mathrm{d}B(x, t)}{\mathrm{d}t}$$

$$\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial \mathrm{B}}{\partial t} + \frac{\partial \mathrm{B}}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial t}$$

$$= \left[\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial t} + \upsilon\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial x}\right]$$ નો ઉપયોગ કરતાં, આપણને

$$\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = a\int_0^a dx\left[\frac{\partial \mathrm{B}(x,t)}{\partial t} + \upsilon\frac{\partial \mathrm{B}(x,t)}{\partial x}\right]$$

$$= \mathrm{A}\left[\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial t} + \upsilon\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial x}\right]$$

મળે, જ્યાં, $\mathrm{A} = a^2$

$\left(\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial t}\right)$, $\left(\frac{\partial \mathrm{B}}{\partial x}\right)$ અને $\upsilon$ આ કોયડામાં અચળ આપવામાં આવેલ હોવાથી છેલ્લું પદ મળેલ છે.

જો તમે આ ઔપચારિક પુરાવા (જ્યાં, કલનશાસ્ત્રનું સારું જ્ઞાન જરૂરી છે)ને સમજી શકતા ન હોવ તો પણ તમે હજુ પણ તે માની શકો છો કે ચુંબકીયક્ષેત્રમાં સમયના બદલાવને કારણે તેમજ લૂપની ગતિને કારણે એમ બંનેને લીધે ફ્લક્સમાં ફેરફાર થઈ શકે છે.

**6.13** $$\mathrm{Q} = \int_{t_1}^{t_f} I\mathrm{d}t$$

$$= \frac{1}{\mathrm{R}}\int_{t_1}^{t_f} \varepsilon \mathrm{d}t$$

$$= -\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{R}}\int_{\Phi_1}^{\Phi_f} \mathrm{d}\Phi$$

$$= \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{R}}(\Phi_i - \Phi_f)$$

$\mathrm{N} = 25,\ \mathrm{R} = 0.50\,\Omega,\ \mathrm{Q} = 7.5\,10^{-3}\,\mathrm{C}$

$\Phi_f = 0,\ \mathrm{A} = 2.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$ માટે $\Phi_I = 1.5 \times 10^{-4}\,\mathrm{Wb}$

$\mathrm{B} = \Phi_I/\mathrm{A} = 0.75\,\mathrm{T}$

**6.14** (a) $|\varepsilon| = \upsilon Bl = 0.12 \times 0.50 \times 0.15 = 9.0$ mV; P ધન છેડો અને Q ઋણ છેડો.

(b) હા. જ્યારે K બંધ હોય, ત્યારે પ્રવાહના સતત વહન દ્વારા વધારાના વિદ્યુતભારને જાળવવામાં આવે છે.

(c) સળિયાના છેડામાં વિરુદ્ધ ચિહ્નોવાળા વધારાના વિદ્યુતભારને કારણે રચાતા વિદ્યુત બળ દ્વારા ચુંબકીય બળને નાબૂદ કરવામાં આવે છે.

(d) ગતિ વિરોધક બળ $= \text{I}bl$

$$= \frac{9\ \text{mV}}{9\ \text{m}\Omega} \times 0.5\,\text{T} \times 0.15\,\text{m}$$

$$= 75 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

(e) સળિયાને 12 cm $s^{-1}$ ની નિયમિત ગતિમાં ચાલુ રાખવા માટે ઉપરના ગતિ વિરોધક બળ સામે બાહ્ય એજન્ટ દ્વારા ખર્ચાતો પાવર $= 75 \times 10^{-3} \times 12 \times 10^{-2} = 9.0 \times 10^{-3}$ W છે. જ્યારે K ખુલ્લું છે, ત્યારે કોઈ પાવર ખર્ચાતો નથી.

(f) $I^2R = 1 \times 1 \times 9 \times 10^{-3} = 9.0 \times 10^{-3}$ W

આ પાવરનો સ્રોત ઉપરોક્ત ગણતરી મુજબ બાહ્ય એજન્ટ દ્વારા પ્રદાન કરેલો પાવર છે.

(g) શૂન્ય, સળિયાની ગતિ ક્ષેત્ર રેખાઓને કાપતી નથી. (નોંધ : PQની લંબાઈ રેલ વચ્ચેના અંતર જેટલી હોવાનું માનેલ છે.)

**6.15** $B = \dfrac{\mu_0 NI}{l}$

(સોલેનાઈડની અંદર છેડાઓથી દૂર)

$$\Phi = \frac{\mu_0 NI}{l}\ A$$

સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ $= N\Phi$

$$= \frac{\mu_0 N^2 A}{l}\ I$$

(છેડા પાસે **B** ના ફેરફારને અવગણતાં)

$$|\varepsilon| = \frac{d}{dt}(N\Phi)$$

$$|\varepsilon|_{av} = \frac{\text{ફ્લક્સમાં કુલ ફેરફાર}}{\text{કુલ સમય}}$$

$$|\varepsilon|_a = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 25 \times 10^{-4}}{0.3 \times 10^{-3}} \times (500)^2 \times 2.5$$

$$= 6.5\ \text{V}$$

**6.16** $M = \dfrac{\mu_0 a}{2\pi}\ \ln\left(1 + \dfrac{a}{x}\right)$

$\varepsilon = 1.7 \times 10^{-5}$ V

**6.17** $-\dfrac{B\pi a^2 \lambda}{MR}\hat{\mathbf{k}}$

## પ્રકરણ 7

**7.1** (a) 2.20 A
(b) 484 W

**7.2** (a) $\frac{300}{\sqrt{2}} = 212.1$ V
(b) $10\sqrt{2} = 14.1$ A

**7.3** 15.9 A

**7.4** 2.49 A

**7.5** દરેક કિસ્સામાં શૂન્ય

**7.6** 125 $s^{-1}$, 25

**7.7** $1.1 \times 10^{3} s^{-1}$

**7.8** 0.6 J, પછીના સમયે પણ એટલું જ (સમાન)

**7.9** 2000 W

**7.10** $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ , એટલે કે $C = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 L}$
L = 200 μH, $\nu$ = 1200 kHz માટે C = 87.9 pF.
L = 200 μH, $\nu$ = 800 kHz માટે C = 197.8 pH.
ચલ કેપિસીટરની રેન્જ 88 pF થી 198 pF રાખવી જોઈએ.

**7.11** (a) 50 rad $s^{-1}$
(b) 40 Ω, 8.1 A
(c) $V_{Lrms} = 1437.5$ V, $V_{Crms} = 1437.5$ V, $V_{Rrms} = 230$ V

$$V_{LCrms} = I_{rms}\left(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}\right) = 0$$

**7.12** (a) 1.0 J, જો R = 0 હોય તો L અને Cમાં સંગ્રહીત ઊર્જાના સરવાળાનું સંરક્ષણ થશે.
(b) $\omega = 10^3$ rad $s^{-1}$, $\nu = 159$ Hz
(c) $q = q_0 \cos \omega t$

(i) $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3T}{2}, \ldots$ સમયે ઊર્જા સંપૂર્ણ વિદ્યુતઊર્જા સ્વરૂપે સંગ્રહીત છે.

(ii) $t = \frac{T}{4}, \frac{3T}{4}, \frac{5T}{4}, \ldots$ જ્યાં, $T = \frac{1}{\nu} = 6.3$ ms, સમયે ઊર્જા સંપૂર્ણ ચુંબકીયઊર્જા સ્વરૂપે સંગ્રહીત છે. (એટલે કે વિદ્યુતઊર્જા શૂન્ય છે.)

(d) $t = \frac{T}{8}, \frac{3T}{8}, \frac{5T}{8}, \ldots$ સમયે, કારણ કે $q = q_0 \cos \frac{\omega T}{8} = q_0 \cos \frac{\pi}{4} = \frac{q_0}{\sqrt{2}}$.
તેથી વિદ્યુતઊર્જા $\frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2}\left(\frac{q_0^2}{2C}\right)$ જે કુલ ઊર્જાનું અડધું મૂલ્ય છે.

(e) છેવટે LC દોલનો Rને કારણે મંદ પડી નાબુદ થશે. તમામ પ્રારંભિક ઊર્જા (= 1.0 J) છેવટે ઉષ્મા સ્વરૂપે વ્યય થશે.

**7.13** LR પરિપથ માટે, જો $V = V_0 \sin\omega t$ હોય તો

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \phi). \text{ જ્યાં, } \tan\phi = (\omega L / R)$$

(a) $I_0 = 1.82$ A

(b) $t = 0$ સમયે, V મહત્તમ છે. $t = (\phi/\omega)$ સમયે I મહત્તમ છે.

હવે, $\tan\phi = \frac{2\pi\nu L}{R} = 1.571$ અથવા $\phi \approx 57.5^\circ$

તેથી, સમય તફાવત $= \frac{57.5\pi}{180} \times \frac{1}{2\pi \times 50} = 3.2$ ms

**7.14** (a) $I_0 = 1.1 \times 10^{-2}$ A

(b) $\tan\phi = 100\pi$. $\phi$, એ $\pi/2$ની નજીક છે.

નીચી આવૃત્તિના કિસ્સામાં $I_0$ એ (સ્વાધ્યાય 7.13)માં હોય તે કરતાં ખૂબ જ નાનો છે અને તે દ્વારા એમ દર્શાવે છે કે ઊંચી આવૃત્તિઓએ L લગભગ ઓપન સરકીટ છે. dc પરિપથમાં (સ્થિર અવસ્થા પછી) $\omega = 0$ તેથી અહીં L શુદ્ધ વાહક તરીકે વર્તે છે.

**7.15** RC પરિપથ માટે, જો $V = V_0 \sin\omega t$ હોય તો,

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}} \sin(\omega t + \phi), \text{ જ્યાં, } \tan\phi = \frac{1}{\omega CR}$$

(a) $I_0 = 3.23$ A

(b) $\phi = 33.5^\circ$

સમય તફાવત $= \frac{\phi}{\omega} = 1.55$ ms

**7.16** (a) $I_0 = 3.88$ A

(b) $\phi \approx 0.2$ અને ઊંચી આવૃત્તિએ લગભગ શૂન્ય છે. આમ, ઊંચી આવૃત્તિએ C સુવાહક તરીકે વર્તે છે. dc પરિપથ માટે સ્થિર અવસ્થા પછી $\omega = 0$ અને C ઓપન સરકીટ તરીકે વર્તે છે.

**7.17** સમાંતર LCR પરિપથ માટે અસરકારક ઇમ્પિડન્સ નીચે મુજબ અપાય છે.

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

જે $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ માટે લઘુત્તમ છે.

આથી, $|Z|$, $\omega = \omega_0$ એ મહત્તમ થશે અને કુલ પ્રવાહ કંપવિસ્તાર લઘુત્તમ થશે.

R શાખામાં, $I_{Rrms} = 5.75$ A

L શાખામાં, $I_{Lrms} = 0.92$ A

C શાખામાં, $I_{Crms} = 0.92$ A

**નોંધ :** કુલ પ્રવાહ $I_{rms} = 5.75$ A, કારણ કે L અને C શાખામાં પ્રવાહ $180^\circ$ના કળા તફાવતે છે અને ચક્રની દરેક ક્ષણે તેમનો સરવાળો શૂન્ય થાય છે.

**7.18** (a) $V = V_0 \sin\omega t$ માટે

$$I = \frac{V_0}{\left|\omega L - \frac{1}{\omega C}\right|} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$ ; જો R = 0

જો $\omega L > 1/\omega C$ હોય તો − નિશાની આવશે અને જો $\omega L < 1/\omega C$ હોય તો + નિશાની આવશે.

$I_0 = 11.6$ A, $I_{rms} = 8.24$ A

(b) $V_{Lrms} = 207$ V, $V_{Crms} = 437$ V

(**નોંધ :** 437 V − 207 V = 230 V લાગુ પાડેલ rms વોલ્ટેજ બરાબર છે અને એમ જ હોવું જોઈએ. L અને Cના બે છેડા વચ્ચેના વોલ્ટેજની બાદબાકી થાય છે. કારણ કે તેમની વચ્ચેનો કળા તફાવત $180^{\circ}$ છે.)

(c) Lમાં કોઈ પણ પ્રવાહ I હોય, પણ ખરેખરો વોલ્ટેજ પ્રવાહ કરતાં $\pi/2$ જેટલો આગળ છે માટે L દ્વારા ખર્ચાતો સરેરાશ પાવર શૂન્ય છે.

(d) કેપેસીટરમાં વોલ્ટેજ $\pi/2$ જેટલો પાછળ છે, તેથી C દ્વારા ખર્ચાતો સરેરાશ પાવર શૂન્ય છે.

(e) શોષાતો કુલ સરેરાશ પાવર શૂન્ય છે.

**7.19** $I_{rms} = 7.26$ A

Rને સરેરાશ પાવર = $I^2_{rms}R = 791$ W

L ને સરેરાશ પાવર = C ને સરેરાશ પાવર = 0

શોષાતો કુલ પાવર = 791 W

**7.20** (a) $\omega_0 = 4167$ rad $s^{-1}$, $\nu_0 = 663$ Hz

$I_0^{max} = 14.1$ A

(b) $\bar{P} = (1/2)\, I_0^2 R$ , $I_0$ જે આવૃત્તિ (663 Hz) માટે મહત્તમ છે, તે જ આવૃત્તિએ $\bar{P}$ પણ મહત્તમ છે.

$\bar{P}_{max} = (1/2)(I_{max})^2 R = 2300$ W

(c) $\omega = \omega_0 \pm \Delta\omega$ [જો $(R/2L) << \omega_0$ હોય તો સંનિકટતા વધુ સારી છે.]

$\Delta\omega = R/2L = 95.8$ rad $s^{-1}$; $\Delta\nu = \Delta\omega/2\pi = 15.2$ Hz

$\nu = 648$ Hz અને 678 Hz માટે શોષાતો પાવર મહત્તમ પાવર કરતાં અડધો છે. આ આવૃત્તિઓ એ પ્રવાહ કંપવિસ્તાર $I_0^{max}$ કરતાં $(1/\sqrt{2})$ ગણું થશે. એટલે કે, પ્રવાહ કંપવિસ્તાર (મહત્તમ પાવર કરતાં અડધો પાવર થાય તે બિંદુઓએ) 10 A છે.

(d) Q = 21.7

**7.21** $\omega_0 = 111$ rad $s^{-1}$, Q = 45

$\omega_0$માં ફેરફાર કર્યા વગર Q બમણો કરવા માટે Rનું મૂલ્ય ઘટાડીને 3.7 Ω કરો.

**7.22** (a) હા. આવું જ પરિણામ rms વોલ્ટેજ માટે સાચું નથી. કારણ કે, જુદા જુદા ઘટકોમાં બે છેડા વચ્ચેના વોલ્ટેજ સમાન કળામાં ન પણ હોય. ઉદાહરણ માટે સ્વાધ્યાય 7.18નો જવાબ જુઓ.

(b) પરિપથમાં જોડાણ તૂટે છે ત્યારે પ્રેરિત થતો ઊંચો વોલ્ટેજ કેપિસીટરને વિદ્યુતભારિત કરવામાં (Chargingમાં) વપરાય છે અને આમ સ્પાર્કને (Sparks) નિવારી શકાય છે.

(c) dc માટે Lનો ઇમ્પિડન્સ (અસરકારક અવરોધ) અવગણ્ય હોય છે અને Cનો ખૂબ જ મોટો (અનંત) હોય છે. તેથી Cના બે છેડા વચ્ચે dc સિગ્નલ મળે છે. ઊંચી આવૃત્તિવાળા ac વોલ્ટેજ માટે Lનો અસરકારક અવરોધ વધુ અને Cનો ખૂબ જ ઓછો હોય છે. તેથી Lનાં બે છેડા વચ્ચે ac સિગ્નલ મળે છે.

(d) dcની સ્થાયી સ્થિતિ માટે, Lની કોઈ જ અસર હોતી નથી પછી ભલે તેમાં આયર્ન ગર્ભ (Core) દ્વારા વધારો થાય. ac માટે ચોકના વધારાના ઇમ્પિડન્સને કારણે બલ્બ ઓછો પ્રકાશિત (ઝાંખો) થશે. જ્યારે આયર્ન ગર્ભ (Core) દાખલ કરવામાં આવે છે ત્યારે ચોકના ઇમ્પિડન્સમાં વધારો થાય છે. જેથી બલ્બ હજી વધુ ઝાંખો થશે.

(e) ચૉક કોઇલ ઊર્જાનો વ્યય કર્યા વગર ટ્યુબ બે છેડા વચ્ચે વોલ્ટેજ ઘટાડે છે જ્યારે અવરોધ ઉષ્મા સ્વરૂપે ઊર્જાનો વ્યય કરે છે.

**7.23** 400

**7.24** હાઇડ્રો ઈલેક્ટ્રીક પાવર $= h\rho g \times A \times \upsilon = h\rho g\beta$

જ્યાં, $\beta = A\upsilon$ પ્રવાહ (આડછેદમાંથી પ્રતિ સેકન્ડે વહેતા પાણીનું કદ) છે.

મળતો ઈલેક્ટ્રીક પાવર $= 0.6 \times 300 \times 10^3 \times 9.8 \times 100\,W$

$= 176\,W$

**7.25** પાવર લાઈનનો અવરોધ $= 30 \times 0.5 = 15\,\Omega$

પાવર લાઈનમાં પ્રવાહનું rms મૂલ્ય $= \dfrac{800 \times 1000W}{4000V} = 200A$

(a) લાઈન પાવર વ્યય $= (200\,A)^2 \times 15\,\Omega = 600\,kW$

(b) પ્લાન્ટ દ્વારા પુરો પડતો પાવર $= 800\,kW + 600\,kW = 1400\,kW$

(c) પાવર લાઈન પર થતો વોલ્ટેજ ડ્રોપ $= 200\,A \times 15\,\Omega = 3000\,V$

પાવર પ્લાન્ટ માટે સ્ટેપઅપ ટ્રાન્સફોર્મર 440 V − 7000 V છે.

**7.26** પ્રવાહ $= \dfrac{800 \times 1000W}{40{,}000V} = 20\,A$

(a) લાઈનમાં પાવર વ્યય $= (20\,A)^2 \times (15\,\Omega) = 6\,kW$

(b) પ્લાન્ટ દ્વારા પુરો પડતો પાવર $= 800\,kW + 6\,kW = 806\,kW$

(c) પાવર લાઈન પર થતો વોલ્ટેજ ડ્રોપ $= 20\,A \times 15\,\Omega = 300\,V$

સ્ટેપઅપ ટ્રાન્સફોર્મર 440V − 40,300 V છે. અહીં, સ્પષ્ટ છે કે હાઇ વોલ્ટેજ ટ્રાન્સમિશન દ્વારા પાવર વ્યયની ટકાવારી ખૂબ મોટા પ્રમાણમાં ઘટી જાય છે.

સ્વાધ્યાય (7.25)માં આ પાવર વ્યય $(600/1400) \times 100 = 43\,\%$ છે.

આ સ્વાધ્યાયમાં તે ફક્ત $(6/806) \times 100 = 0.74\,\%$ છે.

## પ્રકરણ 8

**8.1** (a) $C = \varepsilon_0 A/d = 80.1\,pF$

$$\frac{dQ}{dt} = C\frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{0.15}{80.1 \times 10^{-12}} = 1.87 \times 10^9\,V\,s^{-1}$$

(b) $i_d = \varepsilon_0 \dfrac{d}{dt}\Phi_E$. હવે, કેપેસીટરને સમાંતર $\Phi_E = EA$,

અંત્ય સુધારાને અવગણતાં,

તેથી, $i_d = \varepsilon_0 A \dfrac{d\Phi_E}{dt}$

હવે, $E = \dfrac{Q}{\varepsilon_0 A}$ તેથી, $\dfrac{dE}{dt} = \dfrac{i}{\varepsilon_0 A}$, જે દર્શાવે છે કે, $i_d = i = 0.15\,A$.

(c) હા, જો 'પ્રવાહ'નો અર્થ વહન (Conduction) પ્રવાહ અને સ્થાનાંતર (Displacement) પ્રવાહનો સરવાળો એમ કરીએ તો.

**8.2** (a) $I_{rms} = V_{rms}\ \omega C = 6.9\ \mu A$

(b) હા. સ્વાધ્યાય 8.1(b)માં દર્શાવેલ તારવણી જો પ્રવાહ સમય સાથે દોલન કરતો હોય તો પણ સાચી છે.

(c) સૂત્ર $B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{r}{R^2}\, i_d$, જો $i_d$ (અને તેથી B) સમય સાથે દોલન કરતો હોય તો પણ સાચું છે. સૂત્ર દર્શાવે છે કે, તેઓ એકબીજા સાથે કળામાં દોલન કરે છે. $i_d = i$ હોવાથી આપણને $B_0 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{r}{R^2}\, i_0$ મળે છે. જ્યાં, $B_0$ અને $i_0$ અનુક્રમે દોલિત થતા ચુંબકીયક્ષેત્ર અને પ્રવાહના કંપવિસ્તાર છે. $i_0 = \sqrt{2}\, I_{rms} = 9.76\ \mu A$. $r = 3$ cm, R = 6 cm માટે $B_0 = 1.63 \times 10^{-11}$ T.

**8.3** શૂન્યાવકાશમાં બધાની ઝડપ સમાન : $c = 3 \times 10^8\ m\,s^{-1}$ છે.

**8.4** **E** અને **B** એ XY-સમતલમાં અને એકબીજાને લંબ છે, 10 m.

**8.5** તરંગલંબાઈ ગાળો : 40 m – 25 m

**8.6** $10^9$ Hz

**8.7** 153 N/C

**8.8** (a) 400 *n*T, $3.14 \times 10^8$ rad/s, 1.05 rad/m, 6.00 m

(b) $\mathbf{E} = \{(120\ N/C)\sin[(1.05\ rad/m)]x - (3.14 \times 10^8\ rad/s)t)\}\hat{\mathbf{j}}$

$\mathbf{B} = \{(400\ nT)\sin[(1.05\ rad/m)]x - (3.14 \times 10^8\ rad/s)t)\}\hat{\mathbf{k}}$.

**8.9** ફોટોનની ઊર્જા ($\lambda = 1$ m માટે)

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19}}\ eV = 1.24 \times 10^{-6}\ eV$$

વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટની આકૃતિમાં દર્શાવેલી બીજી તરંગલંબાઈઓ માટે ફોટોન ઊર્જા, દસના સન્નિકટ ઘાતાંક વડે ગુણી મેળવી શકાય. ફોટોનની ઊર્જા તેને ઉત્પન્ન કરતા ઉદ્‌ગમના સંબંધિત ઊર્જા સ્તરો વચ્ચેનો તફાવત (Spacings) દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, $\lambda = 10^{-12}$ m એ ફોટોન ઊર્જા $= 1.24 \times 10^6\ eV = 1.24$ MeVને અનુરૂપ છે. આ ન્યુક્લિયર ઊર્જા સ્તરો (કે જેમની વચ્ચેની સંક્રાંતિ γ-કિરણ ઉત્સર્જિત કરે છે) વચ્ચેનો લાક્ષણિક તફાવત 1 MeV અથવા તેની નજીકનો છે. તે જ રીતે, દૃશ્ય તરંગલંબાઈ $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m એ ફોટોન ઊર્જા = 2.5 *e*Vને અનુરૂપ છે. આનો અર્થ એ કે ઊર્જા સ્તરો (કે જેમની વચ્ચેની સંક્રાંતિ દૃશ્ય વિકિરણ આપે છે) એ અમુક *e*V જેટલો તફાવત ધરાવે છે.

**8.10** (a) $\lambda = (c/\nu) = 1.5 \times 10^{-2}$ m

(b) $B_0 = (E_0/c) = 1.6 \times 10^{-7}$ T

(c) **E** ક્ષેત્રમાં ઊર્જા ઘનતા : $u_E = (1/2)\varepsilon_0 E^2$

**B** ક્ષેત્રમાં ઊર્જા ઘનતા : $u_B = (1/2\mu_0)B^2$

E = cBનો અને $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ નો ઉપયોગ કરતાં $u_E = u_B$.

**8.11** (a) $-\hat{\mathbf{j}}$, (*b*) 3.5 m, (*c*) 86 MHz, (*d*) 100 *n*T,

(e) $\{(100\ nT)\cos[(1.8\ rad/m)y + (5.4 \times 10^6\ rad/s)t]\}\ \hat{\mathbf{k}}$

**8.12** (a) 0.4 $W/m^2$, (*b*) 0.004 $W/m^2$

**8.13** T તાપમાને રહેલ પદાર્થ તરંગલંબાઈઓનો સતત વર્ણપટ આપે છે. કાળા પદાર્થ માટે મહત્તમ તીવ્રતા ધરાવતા વિકિરણને અનુરૂપ તરંગલંબાઈ પ્લાન્કના સૂત્ર $\lambda_m = 0.29$ cm K/T વડે અપાય છે. $\lambda_m = 10^{-6}$ m, માટે T = 2900 K. બીજી તરંગલંબાઈઓ માટે તાપમાન શોધી શકાય. આ રીતે મળેલ સંખ્યાઓ વિદ્યુતચુંબકીય વર્ણપટના જુદા-જુદા ભાગમાંના વિકિરણો મેળવવા જરૂરી તાપમાનનો ગાળો દર્શાવે છે. આમ, દૃશ્ય વિકિરણ (ધારોકે $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m) મેળવવા માટે ઉદ્‌ગમનું તાપમાન લગભગ 6000 K જેટલું હોવું જોઈએ.

(**નોંધ :** આનાથી નીચું તાપમાન પણ આ તરંગલંબાઈને ઉત્પન્ન કરશે પણ તે મહત્તમ તીવ્રતા ધરાવતી નહિ હોય.

**8.14** (a) રેડિયો (ટૂંકી તરંગલંબાઈના છેડા તરફ)

(b) રેડિયો (ટૂંકી તરંગલંબાઈના છેડા તરફ)

(c) માઇક્રોવેવ

(d) દૃશ્યપ્રકાશ (પીળો)

(e) X-કિરણો (અથવા મૃદુ (soft) $\gamma$-કિરણો)નો વિભાગ.

**8.15** (a) આયનોસ્ફિયર આ ગાળાઓમાંનાં તરંગોનું પરાવર્તન કરે છે.

(b) ટેલિવિઝન સિગ્નલોનું આયનોસ્ફિયર દ્વારા યોગ્ય રીતે પરાવર્તન થતું નથી (પાઠ્યમાંનું લખાણ જુઓ). તેથી પરાવર્તન ઉપગ્રહ (સેટેલાઈટ)ની મદદથી કરાય છે.

(c) વાતાવરણ X-કિરણોનું શોષણ કરે છે, જ્યારે દૃશ્યપ્રકાશ અને રેડિયોતરંગો તેને ભેદીને પસાર થાય છે.

(d) તે સૂર્યમાંથી ઉત્સર્જિત પારજાંબલી વિકિરણોનું શોષણ કરે છે અને તેને પૃથ્વીની સપાટી સુધી પહોંચતા અને (પૃથ્વી પરના) જીવનને નુકશાન થતું અટકાવે છે.

(e) પૃથ્વીનું તાપમાન નીચું હોત, કારણ કે વાતાવરણની ગ્રીનહાઉસ અસર ગેરહાજર હોત.

(f) વૈશ્વિક ન્યુક્લિયર યુદ્ધ (War)થી ઉત્પન્ન થયેલ વાદળો કદાચ આકાશના ઘણાં મોટાભાગને ઢાંકી દેત, કે જે સૂર્યપ્રકાશને પૃથ્વીના ગોળા પરના ઘણાં બધા ભાગ સુધી પહોંચતો અટકાવત. આ એક 'શિયાળા'માં પરિણમત.