આ ગાળા પર સૂક્ષ્મ ખંડો d*l*નો સરવાળો ગાળાના પરિઘ $2\pi R$ જેટલો થાય છે. આથી, સંપૂર્ણ વર્તુળાકાર ગાળા વડે P બિંદુએ ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર

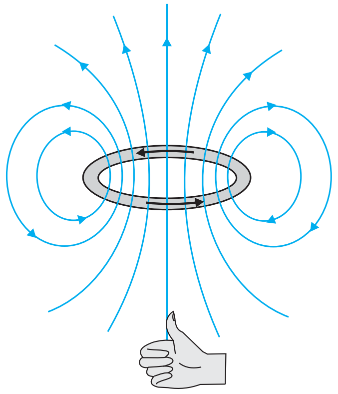
$$\mathbf{B} = B_x \hat{\mathbf{i}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \hat{\mathbf{i}} \tag{4.15}$$

આ પરિણામના વિશિષ્ટ કિસ્સા તરીકે આપણે આ ગાળાના કેન્દ્ર પર ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય મેળવી શકીએ. અહીં $x = 0$ અને તેથી આપણને

$$\mathbf{B}_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \hat{\mathbf{i}} \tag{4.16}$$

મળે છે. વર્તુળાકાર તારને લીધે ઉદ્ભવતી ચુંબકીયક્ષેત્ર રેખાઓ આકૃતિ 4.12માં દર્શાવ્યા મુજબ બંધ ગાળાઓ રચે છે. ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા (બીજા) જમણા-હાથના અંગુઠાના નિયમ વડે દર્શાવાય છે જે નીચે આપેલ છે :

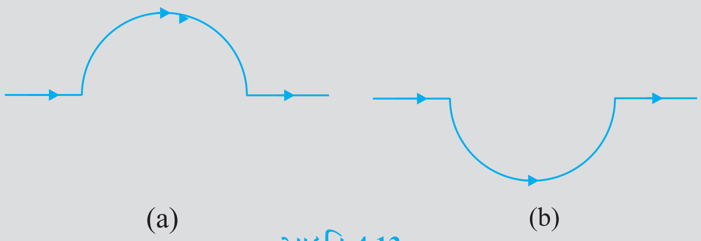
તમારા જમણા હાથની મુઠી વર્તુળાકાર તારની ફરતે એ રીતે વાળો કે જેથી તમારી આંગળીઓ વિદ્યુતપ્રવાહની દિશામાં હોય. જમણા હાથનો અંગુઠો ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા દર્શાવશે.



આકૃતિ 4.12 વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગાળા માટે ચુંબકીયક્ષેત્ર રેખાઓ. ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા જમણા-હાથના અંગુઠાના નિયમ વડે મળે છે જે લખાણમાં દર્શાવ્યું છે. ગાળાની ઉપરની બાજુને ચુંબકનો ઉત્તર ધ્રુવ ગણી શકાય જ્યારે નીચેની બાજુને દક્ષિણ ધ્રુવ ગણી શકાય.

ઉદાહરણ 4.6

ઉદાહરણ 4.6 આકૃતિ 4.13(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ 12 A વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત સીધા તારને 2 cm ત્રિજ્યાના અર્ધ વર્તુળાકાર ચાપમાં વાળ્યો છે. ધારોકે આ ચાપના કેન્દ્ર પર ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** છે. (a) સીધા વિભાગો વડે ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર કેટલું હશે ? (b) અર્ધવર્તુળાકાર ચાપના કારણે મળતા **B** કરતાં, વર્તુળાકાર ગાળા વડે મળતું ચુંબકીયક્ષેત્ર કઈ રીતે જુદું પડે છે અને કઈ રીતે તેને મળતું આવે છે ? (c) આકૃતિ 4.13(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ આ તારને તેટલી જ ત્રિજ્યાના પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાં અર્ધ વર્તુળાકાર ચાપમાં વાળવામાં આવે તો તમારો જવાબ જુદો હશે ?



આકૃતિ 4.13

ઉકેલ

(a) દરેક સીધા ખંડ માટે $d\boldsymbol{l}$ અને r સમાંતર છે. આથી, $d\boldsymbol{l} \times r = 0$. સીધા ખંડ |B|માં કોઈ ફાળો આપતા નથી.

(b) અર્ધવર્તુળાકાર ચાપના દરેક ખંડ માટે દરેક $d\boldsymbol{l} \times r$ એકબીજાને સમાંતર છે (આ પુસ્તકના પાનના સમતલની અંદર જતું. આ દરેકનો ફાળો કુલ માનમાં ઉમેરાય છે. આથી અર્ધવર્તુળાકાર ચાપ માટે Bની દિશા જમણા હાથના અંગુઠાના નિયમ વડે દર્શાવાય છે અને તેનું મૂલ્ય વર્તુળાકાર ગાળા વડે મળતા માન કરતાં અડધું હોય છે. આમ B આ પાનના સમતલને લંબરૂપે અંદરની દિશા તરફ 1.9×10^{-4} T જેટલું છે.

(c) Bનું માન (b)માં મળતા માન જેટલું જ પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાં મળશે.

ઉદાહરણ 4.6

ઉદાહરણ 4.7 10 cm ત્રિજ્યા ધરાવતું અને ખૂબ પાસે રહેલા 100 આંટા ધરાવતું એક ગૂંચળું (Coil) ધ્યાનમાં લો, જેમાંથી 1 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. આ ગૂંચળાના કેન્દ્રમાં ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

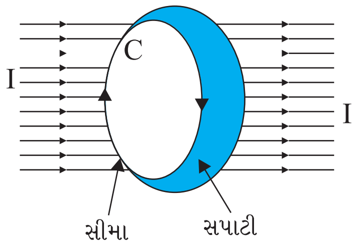
ઉકેલ ગૂંચળુ ખૂબ પાસે આંટા ધરાવતું હોવાથી, આપણે દરેક વર્તુળાકાર ઘટક (અંશ)ની ત્રિજ્યા એક સમાન R = 10 cm = 0.1 m લઈ શકીએ. આંટાઓની સંખ્યા N = 100 ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^2 \times 1}{2 \times 10^{-1}} = 2\pi \times 10^{-4} = 6.28 \times 10^{-4} \text{ T}$$

ઉદાહરણ 4.7

4.7 ઍમ્પિયરનો સર્કીટલ (બંધ ગાળાનો) નિયમ (Ampere's Circuital Law)

બાયૉસાવરના નિયમને વધુ સારી અને સચોટ રીતે દર્શાવવાની બીજી રીત પણ છે. ઍમ્પિયરના સર્કીટલ નિયમમાં સીમા રેખા ધરાવતી મુક્ત (ખૂલ્લી) સપાટી ધ્યાનમાં લેવામાં આવે છે (આકૃતિ 4.14). આ સપાટીમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. આપણે સીમા રેખાને નાના ખંડોમાં વહેંચાયેલી ગણી શકીએ. dl લંબાઈનો આવો એક ખંડ ધ્યાનમાં લો. આ ખંડ માટે આપણે ચુંબકીયક્ષેત્રનો સ્પર્શીય (Tangential) ઘટક B_t લઈ તેની સાથે આ ખંડની લંબાઈ dlનો ગુણાકાર કરીએ (નોંધ : $B_t\, dl = \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{l}$). આવા બધા ગુણાકારોનો સરવાળો કરવામાં આવે છે. આ ખંડો સૂક્ષ્મ થતા જાય અને તેમની સંખ્યા વધતી જાય તે લક્ષ (Limit) વિચારીએ. અહીં સરવાળો સંકલનમાં પરિણમશે. ઍમ્પિયરનો સર્કીટલ નિયમ જણાવે છે કે આ સંકલન આ સપાટીમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ અને μ_0ના ગુણાકાર જેટલું હશે. એટલે કે,



આકૃતિ 4.14

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{l} = \mu_0 I \qquad [4.17(a)]$$

જ્યાં, I એ આ સપાટીમાંથી પસાર થતો કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ છે. સંકલન આ સપાટીને સમાવતી સીમા Cના બંધ ગાળા પર લેવામાં આવે છે. ઉપરનું સમીકરણ, જમણા હાથના નિયમ વડે દર્શાવાતી સંજ્ઞા-પ્રણાલિકા (રુઢિ)નું પાલન કરે છે. જમણા હાથની આંગળીઓને આ સીમા પર જે દિશામાં જવાના હોઈએ તે રીતે વાળો કે જે માટે બંધ ગાળા પર સંકલન $\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{l}$ લીધું છે.

અહીં અંગુઠાની દિશા જે દિશામાં વિદ્યુતપ્રવાહ Iને ધન ગણવામાં આવે છે તે દર્શાવે છે.

કેટલાક ઉપયોગો માટે, સમીકરણ 4.17(a)નું વધુ સરળ સ્વરૂપ પુરતું થઈ રહે છે. આવા કિસ્સાઓમાં આપણે એમ ધારીશું કે, એવો બંધ ગાળો (જેને ઍમ્પિરિયન લૂપ કહે છે) પસંદ કરવાનું શક્ય છે કે જે ગાળાના દરેક બિંદુ માટે, કાં તો

આન્દ્રે ઍમ્પિયર
(Andre Ampere) (1775-1836)
આન્દ્રે મેરી ઍમ્પિયર ફ્રેન્ચ ભૌતિક શાસ્ત્રી, ગણિતજ્ઞ અને રસાયણશાસ્ત્રી હતો જેણે વિદ્યુત ગતિ શાસ્ત્રના વિજ્ઞાનની શોધ કરી. ઍમ્પિયર નાનપણથી વિલક્ષણ હતો, જે 12 વર્ષની ઉંમરે તો વિકસિત (Advanced) ગણિતમાં પારંગત હતો. તેણે ઑર્સ્ટેડે (Oersted's) કરેલી શોધનું મહત્ત્વ સમજ્યું હતું. તેણે વિદ્યુતપ્રવાહ અને ચુંબકત્વ વચ્ચેનો સંબંધ જાણવા માટે ઘણા બધા પ્રયોગોની હારમાળાનો અભ્યાસ કર્યો. આ બધા પ્રયોગોના પરિણામ સ્વરૂપે 1827માં 'ફક્ત પ્રયોગો આધારિત વિદ્યુતગતિ શાસ્ત્રની ઘટનાઓ વિશે ગાણિતીય સિદ્ધાંત' (Mathematical Theory of Electrodynamic Phenomena Deduced Solely from Experiments) પ્રકાશિત થયો. તેણે પૂર્વધારણા કરી કે બધી ચુંબકીય ઘટનાઓ,વર્તુળમાર્ગી (Circulating) વિદ્યુતપ્રવાહોના કારણે હોય છે. ઍમ્પિયર વિનમ્ર અને ભૂલકણા (બેધ્યાન) હતા. એક વખત તે સમ્રાટ નેપોલીયને આપેલ જમણનું આમંત્રણ પણ ભૂલી ગયા હતા. 61 વર્ષની ઉંમરે તે ન્યુમોનિયાના કારણે ગુજરી ગયા. તેમની કબર પરના સમાધી લેખમાં લખ્યું છે : અંતે સુખી *(Tandem Felix - Happy at Last)*.

આન્દ્રે ઍમ્પિયર (Andre Ampere) (1775-1836)

(i) **B** આ ગાળાને સ્પર્શતું (સ્પર્શકની દિશામાં) હોય અને B અશૂન્ય અચળ હોય, અથવા

(ii) **B** આ ગાળાને લંબરૂપે હોય, અથવા

(iii) **B** નાબુદ થતું હોય.

હવે, ધારોકે ગાળા (ના વિભાગ)ની લંબાઈ L માટે **B** સ્પર્શકની દિશામાં છે. ધારોકે આ ગાળા વડે ઘેરાયેલ વિદ્યુતપ્રવાહ I_e છે. આથી સમીકરણ (4.17) પરથી

$$BL = \mu_0 I_e \qquad [4.17(b)]$$

જ્યારે કોઈ સંમિતિ ધરાવતું તંત્ર હોય જેમકે આકૃતિ 4.15 મુજબ વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત અનંત લંબાઈનો સીધો તાર, તો ગૉસનો નિયમ જે રીતે વિદ્યુતક્ષેત્રની ગણતરી માટે મદદરૂપ થાય છે તે જ રીતે, ઍમ્પિયરના નિયમથી ચુંબકીયક્ષેત્રની ગણતરી સહેલાઈથી કરી શકાય છે. આ સ્થિતિ આગળ આપેલ ઉદાહરણ 4.8માં દર્શાવી છે. ધ્યાનમાં લીધેલ ગાળાની સીમા વર્તુળાકાર છે અને ચુંબકીયક્ષેત્ર વર્તુળના પરિઘને સ્પર્શકની દિશામાં છે. સમીકરણ 4.17(b)ની ડાબી બાજુ માટે આ નિયમ મુજબ $B \cdot 2\pi r$ મળે. તારથી r અંતરે ચુંબકીયક્ષેત્ર સ્પર્શકની દિશામાં મળે, જેનું મૂલ્ય

$$B \times 2\pi r = \mu_0 I,$$

$$B = \mu_0 I/(2\pi r) \qquad (4.18)$$

અનંત લંબાઈના તાર માટે ઉપરનું પરિણામ ઘણા દૃષ્ટિકોણથી રસપ્રદ છે.

(i) તે દર્શાવે છે કે (તારને અક્ષ તરીકે ગણીએ તો), r ત્રિજ્યાના વર્તુળના દરેક બિંદુએ ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય એક સરખું હોય છે. બીજા શબ્દોમાં, ચુંબકીયક્ષેત્ર નળાકારીય સંમિતિ ધરાવે છે. ક્ષેત્ર જે સામાન્ય રીતે ત્રણ યામ પર આધાર રાખે છે તે (અહીં) ફક્ત એક યામ r પર આધારિત છે. જ્યાં જ્યારે પણ સંમિતિ હોય ત્યાં ઉકેલો સહેલા હોય છે (સહેલાઈથી મળે છે).

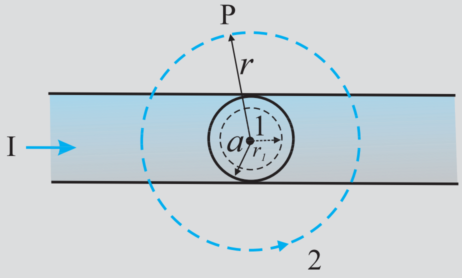
(ii) વર્તુળના દરેક બિંદુએ ચુંબકીયક્ષેત્ર સ્પર્શકની દિશામાં હોય છે. આમ, અચળ માનવાળા ચુંબકીયક્ષેત્રની રેખાઓ સમકેન્દ્રી વર્તુળો રચે છે. હવે યાદ કરો કે, આકૃતિ 4.1(c)માં, લોખંડની ભૂકી સમકેન્દ્રી વર્તુળો રચતી હતી. આ રેખાઓ જે બંધ વક્રો (ગાળા) રચે છે તેમને ચુંબકીયક્ષેત્ર રેખાઓ કહે છે. તે સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર રેખાઓની જેમ ધન વિદ્યુતભારોમાંથી ઉત્પન્ન થઈ ઋણ વિદ્યુતભારમાં સમાઈ જાય તેવી નથી. સીધા તાર વડે ઉદ્ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્રનું સમીકરણ ઑરસ્ટેડે કરેલા પ્રયોગોનું સૈદ્ધાંતિક સમાધાન કરે છે.

(iii) બીજો નોંધવા જેવો મુદ્દો એ છે કે તાર અનંત લંબાઈનો હોવા છતાં, તેનાથી નહિવત્ (પણ Non Zero) અંતરે (અત્યંત નજીક) ચુંબકીયક્ષેત્ર અનંત નથી. તારની ખૂબ નજીક પહોંચીએ ત્યારે જ તે ખૂબ ઝડપથી વધે છે. આ ક્ષેત્ર વિદ્યુતપ્રવાહના સમપ્રમાણમાં અને (અનંત લંબાઈનાં) વિદ્યુતપ્રવાહ ઉદ્ગમથી અંતરના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

(iv) લાંબા (વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત) તાર વડે ઉદ્ભવતા (ચુંબકીય) ક્ષેત્રની દિશા શોધવા માટે એક સીધો નિયમ* છે. જમણા હાથના નિયમ તરીકે ઓળખાતો આ નિયમ નીચે મુજબ છે :
તારને તમારા જમણા હાથથી એવી રીતે પકડો કે જેથી તમારો વિસ્તારેલો અંગૂઠો વિદ્યુતપ્રવાહની દિશામાં રહે. તમારી આંગળીઓ ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશામાં વળેલી હશે.

ઍમ્પિયરનો સર્કિટલ નિયમ બાયૉસાવરના નિયમ કરતાં કઈ પણ નવું કહેતો નથી. બંને ચુંબકીયક્ષેત્ર અને વિદ્યુતપ્રવાહને સાંકળે છે, અને બંને સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહના કારણે મળતા એકસમાન ભૌતિક પરિણામો જ દર્શાવે છે. જે રીતે કુલંબના નિયમ માટે ગૉસનો નિયમ છે, તે જ રીતે બાયૉસાવરના નિયમ માટે ઍમ્પિયરનો નિયમ છે. ઍમ્પિયરનો નિયમ બંને પરિમિતિ/પરિઘ કે સીમા પર આવેલી ભૌતિક રાશિ (ચુંબકીય કે વિદ્યુતક્ષેત્ર)ને અંદર રહેલી બીજી ભૌતિક રાશિ, જેમકે ક્ષેત્રના ઉદ્ગમ (વિદ્યુતપ્રવાહ કે વિદ્યુતભાર) સાથે સાંકળે છે. આપણે એ પણ નોંધીએ કે ઍમ્પિયરનો સર્કીટલ નિયમ સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહો માટે સત્ય છે જે સમય સાથે બદલાતા ન હોય. હવે આપેલું ઉદાહરણ આપણને અંદર રહેલ (ઘેરાયેલા) વિદ્યુતપ્રવાહ શબ્દનો અર્થ સમજવા માટે મદદરૂપ થશે.

ઉદાહરણ 4.8 આકૃતિ 4.15માં વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત, વર્તુળાકાર આડછેદ (ત્રિજ્યા a)નો એક લાંબો સીધો તાર દર્શાવ્યો છે. વિદ્યુતપ્રવાહ I, આડછેદમાં સમાન રીતે પ્રસરેલો છે. $r < a$ અને $r > a$ વિસ્તારોમાં ચુંબકીયક્ષેત્રની ગણતરી કરો.



આકૃતિ 4.15

ઉકેલ

(a) ધારોકે $r > a$. અનુક્રમ 2 વડે દર્શાવેલ ઍમ્પિરિયન ગાળો, આ આડછેદ સાથે સમકેન્દ્રિત વર્તુળ (રચે) છે. આ ગાળા માટે,

$L = 2\pi r$

$I_e =$ ગાળા વડે ઘેરાયેલ વિદ્યુતપ્રવાહ $= I$

પરિણામે, લાંબા સીધા તાર માટેનું જાણીતું સમીકરણ

$B(2\pi r) = \mu_0 I$ છે.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B \propto \frac{1}{r} \quad (r \geq a) \qquad [4.19(a)]$$

(b) ધારોકે $r < a$. ઍમ્પિરિયન ગાળો અનુક્રમ 1 વડે દર્શાવ્યો છે. આ ગાળા માટે, વર્તુળની ત્રિજ્યા r લઈએ તો,

$L = 2\pi r$

ઉદાહરણ 4.8

* **નોંધો કે અહીં બે બિલકુલ અલગ જમણા હાથના નિયમો છે :** એક વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગાળાની અક્ષ પર ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**ની દિશા દર્શાવે છે. જ્યારે બીજો સીધા વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત તાર માટે **B**ની દિશા દર્શાવે છે. બંનેમાં આંગળીઓ અને અંગૂઠો અલગ અલગ ભાગ ભજવે છે.

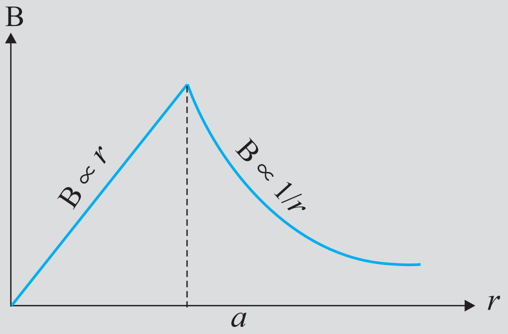
હવે ઘેરાયેલ વિદ્યુતપ્રવાહ I_e, I જેટલો નથી પરંતુ આ મૂલ્યથી ઓછો છે. વિદ્યુતપ્રવાહનું વિતરણ સમાન હોવાથી, ઘેરાયેલો વિદ્યુતપ્રવાહ

$$I_e = I\left(\frac{\pi r^2}{\pi a^2}\right) = \frac{Ir^2}{a^2}$$

ઍમ્પિયરના નિયમ પરથી, $B(2\pi r) = \mu_0 \dfrac{Ir^2}{a^2}$

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

$$B \propto r \qquad (r \le a) \qquad [4.19(b)]$$



આકૃતિ 4.16

આકૃતિ (4.16)માં ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**ના મૂલ્ય વિરુદ્ધ તારના કેન્દ્રથી અંતર rનો આલેખ દર્શાવ્યો છે. ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા અનુરૂપ વર્તુળાકાર ગાળા (1 કે 2) સાથે સ્પર્શકની દિશામાં હોય છે જે આ વિભાગમાં સમજાવેલ જમણા હાથના નિયમ મુજબ મળે છે. આ ઉદાહરણ જરૂરી સંમિતિ ધરાવે છે કે જેથી ઍમ્પિયરનો નિયમ સરળતાથી લગાડી શકાય.

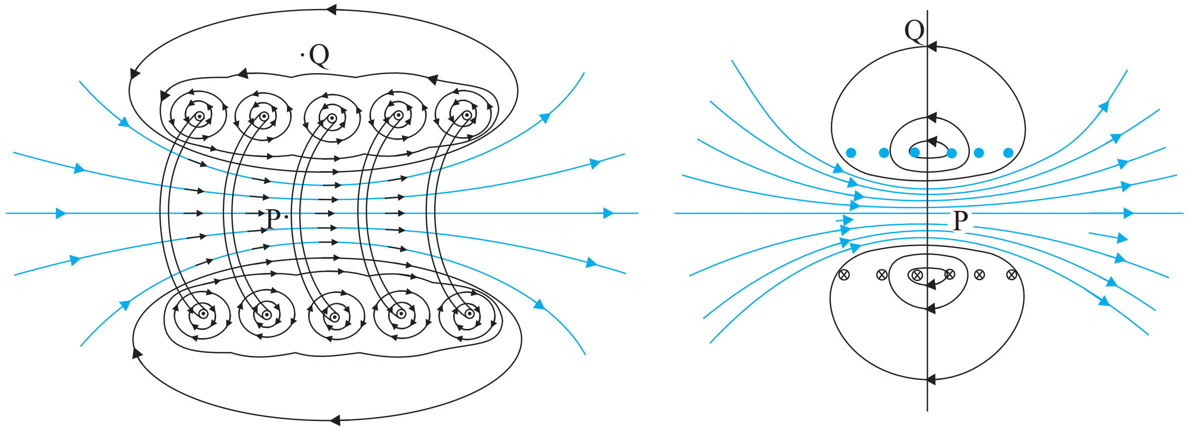
એ નોંધવું જોઈએ કે ઍમ્પિયરનો સર્કિટલ નિયમ કોઈપણ ગાળા માટે સાચો હોવા છતાં, દરેક કિસ્સામાં તેના દ્વારા ચુંબકીયક્ષેત્રની ગણતરી દરેક વખતે શક્ય ન પણ બને. ઉદાહરણ તરીકે, પરિચ્છેદ 4.6માં દર્શાવેલ વર્તુળાકાર ગાળાના કિસ્સામાં, ગાળાના કેન્દ્ર પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર માટેનું સામાન્ય સમીકરણ $B = \mu_0 I/2R$ (સમીકરણ (4.16)) મેળવવા માટે તે (ઍમ્પિયરનો નિયમ) લાગુ ન પાડી શકાય. આમ છતાં, ઊંચી સંમિતિ ધરાવતી એવી ઘણી બધી પરિસ્થિતિઓ છે કે જેના માટે આ નિયમ સહેલાઈથી લાગુ પાડી શકાય. આપણે તેનો ઉપયોગ હવે પછીના પરિશિષ્ટમાં સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતા અને ખૂબ ઉપયોગી એવા બે ચુંબકીય તંત્રો, સૉલેનોઈડ અને ટૉરોઈડ માટે કરીશું.

4.8 સૉલેનોઇડ અને ટૉરોઇડ (The Solenoid and the Toroid)

સૉલેનોઈડ અને ટૉરોઈડ એ એવા બે સાધન છે જે ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. ટેલિવિઝનમાં સૉલેનોઈડનો ઉપયોગ જરૂરી ચુંબકીયક્ષેત્રો ઉત્પન્ન કરવા માટે થાય છે. સિન્ક્રોટ્રોનમાં આ બંનેનો ઉપયોગ સંયુક્ત રીતે, જરૂરી એવા ખૂબ ઊંચા ચુંબકીયક્ષેત્રો ઉત્પન્ન કરવા માટે થાય છે. સૉલેનોઈડ અને ટૉરોઈડ, બંનેમાં ખૂબ ઊંચી સંમિતિ (ની માત્રા) હોવાથી ઍમ્પિયરનો નિયમ સહેલાઈથી લાગુ પાડી શકાય છે.

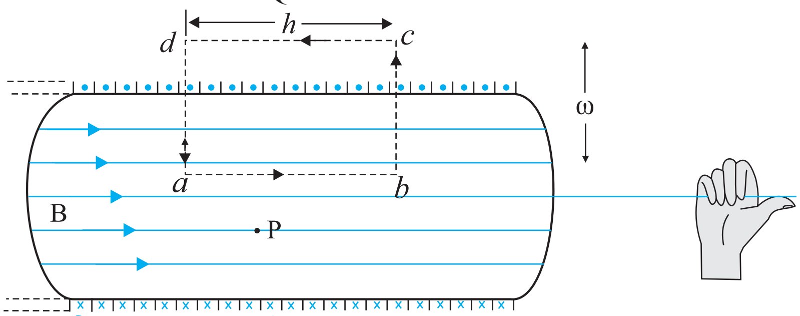
4.8.1 સૉલેનોઈડ (The Solenoid)

આપણે લાંબા સૉલેનોઈડની ચર્ચા કરીશું. લાંબા સૉલેનોઈડનો મતલબ એ કે તેની ત્રિજ્યાની સરખામણીમાં તેની લંબાઈ ઘણી વધુ હોય. તે એક લાંબા તારને ખૂબ પાસે રહેલા આંટાઓમાં હેલીકલ રૂપમાં વિંટાળીને બનાવેલ હોય છે. આથી દરેક આંટાને વર્તુળાકાર ગાળો ગણી શકાય. કુલ ચુંબકીયક્ષેત્ર, દરેક આંટાઓના કારણે ઉદ્ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્રોના સદિશ સરવાળા જેટલું હોય છે. આંટા વિંટવા માટે ઈનેમલવાળા (અવાહક પડ ચઢાવેલા) તારનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે જેથી આ આંટા એક બીજાના સંપર્કમાં અવાહક તરીકે વર્તે.



આકૃતિ 4.17 (a) સૉલેનોઈડના કારણે ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર, જે સ્પષ્ટતા માટે પ્રસરાવીને દર્શાવ્યું છે. ફક્ત બહારનો અર્ધવર્તુળાકાર ભાગ દર્શાવ્યો છે. આજુબાજુના વર્તુળાકાર ગાળાના આંટાઓની અસર એકબીજાને કેવી રીતે નાબુદ કરે છે તે નોંધો. (b) સિમિત (પરિમિત) સૉલેનોઈડનું ચુંબકીયક્ષેત્ર.

આકૃતિ 4.17માં સિમિત સૉલેનોઈડની ચુંબકીયક્ષેત્ર રેખાઓ દર્શાવી છે. આપણે આ સૉલેનોઈડના એક ભાગનું વિવર્ધિત નિરૂપણ આકૃતિ 4.17(a)માં દર્શાવ્યું છે. આકૃતિ 4.17(b)માં સમગ્ર સૉલેનોઈડ તેના ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે દર્શાવ્યો છે. આકૃતિ 4.17(a)માં, વર્તુળાકાર ગાળાઓ પરથી તે દેખીતું છે કે બાજુ બાજુના આંટાઓનું ચુંબકીયક્ષેત્ર નાબુદ થઈ જાય છે. આકૃતિ 4.17(b)માં આપણે જોઈ શકીએ કે સૉલેનોઈડની અંદરની તરફ મધ્યમાં આવેલા બિંદુ P પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર નિયમિત (Uniform), પ્રબળ અને તેની અક્ષની દિશામાં છે. બહારના મધ્યબિંદુ Q પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર નબળું અને મોટાભાગે સૉલેનોઈડની અક્ષને સમાંતર હોય છે. જેનો લંબ ઘટક હોતો નથી. સૉલેનોઈડ જેમ મોટો બનતો જાય તેમ તે જાણે કે લાંબી નળાકાર ધાતુની તક્તિ (Sheet) જેવો લાગે છે. આકૃતિ 4.18માં તેનું આદર્શ નિરૂપણ દર્શાવ્યું છે. સૉલેનોઈડની બહાર ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્યવત્ થતું જાય છે. આપણે ધારીશું કે, બહારની તરફ ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્ય છે. અંદરની તરફ દરેક જગ્યાએ ચુંબકીયક્ષેત્ર અક્ષને સમાંતર બને છે.



આકૃતિ 4.18 ખૂબ લાંબા સૉલેનોઈડનું ચુંબકીયક્ષેત્ર. ચુંબકીયક્ષેત્ર શોધવા માટે આપણે લંબચોરસ ઍમ્પિરિયન ગાળો *abcda* ધ્યાનમાં લઈશું.

એક લંબચોરસ ઍમ્પિરિયન ગાળો *abcda* ધારો. અગાઉ દર્શાવ્યું તેમ *cd* પર ચુંબકીય ક્ષેત્ર શૂન્ય છે. લંબ ખંડો *bc* અને *ad* પર, ચુંબકીયક્ષેત્રનો ઘટક શૂન્ય છે. આથી, આ બંને ખંડો કોઈ ફાળો આપતા નથી. ધારોકે *ab* ને સમાંતર ચુંબકીયક્ષેત્ર B છે.

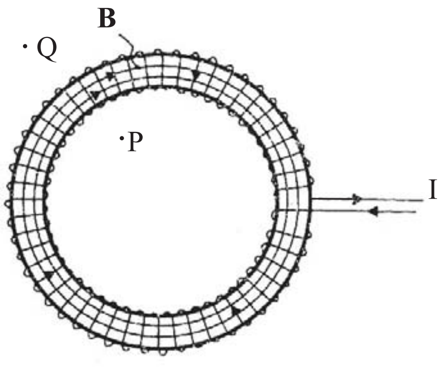
આમ, ઍમ્પિરિયન ગાળાની પ્રસ્તુત લંબાઈ $L = h$ છે. જો એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા n હોય, તો કુલ આંટાઓની સંખ્યા nh હોય. ઘેરાયેલો વિદ્યુતપ્રવાહ, $I_e = I(nh)$ છે. જ્યાં, I એ સૉલેનોઈડમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ. ઍમ્પિયરના સર્કિટલ નિયમ (સમીકરણ 4.17(b)) પરથી,

$$BL = \mu_0 I_e, \quad Bh = \mu_0 I(nh)$$

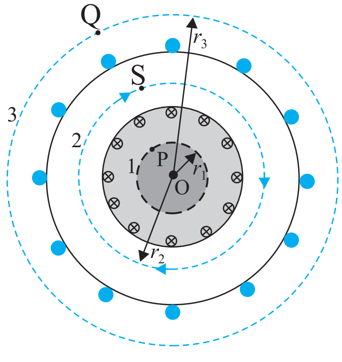
$$B = \mu_0 n I \tag{4.20}$$

ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા જમણા હાથના નિયમ પરથી મળે છે. સૉલેનોઈડનો ઉપયોગ મોટા ભાગે સમાન (નિયમિત) ચુંબકીયક્ષેત્ર મેળવવા માટે થાય છે. હવે પછીના પ્રકરણમાં આપણે જોઈશું કે સૉલેનોઈડમાં અંદર નરમ લોખંડ ગર્ભ દાખલ કરવાથી મોટું ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરી શકાય છે.

4.8.2 ટૉરોઈડ (The Toroid)



(a)



(b)

આકૃતિ 4.19 (a) વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત ટૉરોઈડ. (b) ટૉરોઈડનો આડછેદ. ઍમ્પિયરના સર્કિટલ નિયમનો ઉપયોગ કરીને ટૉરોઈડના કેન્દ્ર Oથી યાદચ્છિક *r* અંતરે ચુંબકીયક્ષેત્ર મેળવી શકાય છે. 1, 2 અને 3 વડે દર્શાવેલ ત્રુટક રેખાઓ ત્રણ ઍમ્પિરિયન ગાળાઓ દર્શાવે છે.

ટૉરોઈડએ પોલી વર્તુળાકાર રીંગ (વલય) છે. જેના પર તારના ઘણા બધા આંટા (અવાહક પડ ચઢાવેલા) પાસપાસે વિંટાળેલા હોય છે. તેને એવા સૉલેનોઈડ તરીકે વિચારી શકાય કે જેને વર્તુળાકારમાં વાળીને એકબીજાને જોડેલ હોય. તેને વિદ્યુતપ્રવાહ I સાથે આકૃતિ 4.19(a)માં દર્શાવ્યો છે. આપણે જોઇશું કે ટૉરોઈડની અંદરની ખુલ્લી જગ્યામાં (P બિંદુએ) અને તેની બહાર (Q બિંદુએ) ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્ય છે. ખૂબ નજીક આંટા ધરાવતા આદર્શ ટૉરોઈડની અંદર ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**નું મૂલ્ય અચળ હોય છે.

આકૃતિ 4.19 (b)માં ટૉરોઈડનો આડછેદ દર્શાવ્યો છે. વર્તુળાકાર ગાળાઓ માટે જમણા હાથના નિયમ મુજબ (ટૉરોઈડની) અંદરના ભાગમાં ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા સમઘડી હોય છે. ત્રણ ઍમ્પિરિયન ગાળાઓ 1, 2 અને 3 ને ત્રુટક રેખાઓ વડે દર્શાવ્યા છે. સંમિતિ મુજબ, ચુંબકીયક્ષેત્ર દરેક ગાળાને સ્પર્શકની દિશામાં હોવું જોઈએ તથા આપેલ ગાળા માટે તેનું મૂલ્ય અચળ હોવું જોઈએ. 2 અને 3 વડે બનતા બંને વર્તુળાકાર વિસ્તારો ટૉરોઈડને એવી રીતે છેદે છે કે જેથી વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત તારનો દરેક આંટો એક વખત ગાળા 2 વડે તથા બે વખત ગાળા 3 વડે છેદાય છે.

ધારોકે, ગાળા 1 પર ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય B_1 છે : આથી ઍમ્પિયરના સર્કિટલ નિયમ [સમીકરણ 4.17(a)]માં, $L = 2\pi r_1$

આમ છતાં, આ ગાળો કોઈ વિદ્યુતપ્રવાહને ઘેરતો (સમાવતો) ન હોવાથી $I_e = 0$. આથી,

$$B_1(2\pi r_1) = \mu_0(0), \qquad B_1 = 0$$

આથી, ટૉરોઈડમાં ખુલ્લી જગ્યામાં આવેલા કોઈ પણ બિંદુ P પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્ય હોય છે.

હવે આપણે દર્શાવીશું કે આ જ રીતે Q પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર શૂન્ય હોય છે. ધારોકે ગાળા 3 પર ચુંબકીયક્ષેત્ર B_3 છે. અહીંયા પણ ઍમ્પિયરના નિયમ પરથી $L = 2\pi r_3$. આમ છતાં, આડછેદ પરથી આપણે જોઈ શકીએ કે પુસ્તકના (પાનાના) સમતલમાંથી બહાર તરફ આવતો વિદ્યુતપ્રવાહ અંદર તરફ જતા તેટલા જ પ્રવાહ વડે નાબુદ થાય છે. આથી, $I_e = 0$ અને $B_3 = 0$. ધારો કે (સૉલેનોઈડ) ટૉરોઈડની અંદર ચુંબકીયક્ષેત્ર B છે. હવે આપણે S પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર ગણીશું. અહીંયા પણ આપણે સમીકરણ [4.17(*a*)] મુજબ ઍમ્પિયરના નિયમનો ઉપયોગ કરીશું. આપણને $L = 2\pi r$ મળશે.

ઘેરાયેલો (સમાયેલો) વિદ્યુતપ્રવાહ I_e (ટૉરોઈડના ગુંચળાના N આંટા માટે), NI જેટલો છે.

$$B_1(2\pi r) = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (4.21)$$

હવે આપણે ટૉરોઈડ અને સૉલેનોઈડ માટેના બે પરિણામોની સરખામણી કરીએ. સૉલેનોઈડ માટે મળેલા સમીકરણ (4.20) સાથે સરખામણી સહેલાઈથી થાય તે માટે આપણે સમીકરણ (4.21)ને બીજી રીતે લખીશું. ધારોકે ટૉરોઈડની સરેરાશ ત્રિજ્યા r છે અને એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા n છે. આથી,

$N = 2\pi r n$ = *ટૉરોઈડનો (સરેરાશ) પરિઘ × એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા*

અને આમ,

$$B = \mu_0 n I \quad (4.22)$$

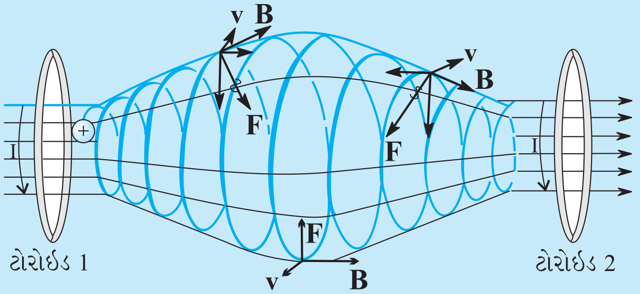
આ, સૉલેનોઈડ માટેનું સમીકરણ છે !

આદર્શ ટૉરોઈડમાં આંટાઓ વર્તુળાકાર હોય છે.

વાસ્તવમાં ટૉરોઈડના ગુંચળામાં આંટાઓ હેલીક્ષ બનાવે છે જેમાં ટૉરોઈડની બહાર થોડુંક ચુંબકીયક્ષેત્ર તો હોય જ છે.

ચુંબકીય બંધન (ઘેરાવો) (MAGNETIC CONFINEMENT)

પરિચ્છેદ 4.3માં આપણે જોયું (આ પ્રકરણમાં અગાઉ આપેલ, વિદ્યુતભારીત કણોની હેલીકલ ગતિ વિશેના બોક્ષમાં પણ જુઓ) કે વિદ્યુતભારીત કણોની કક્ષાઓ (ચુંબકીયક્ષેત્રમાં) હેલીકલ (પેચ આકારની, સર્પિલ) હોય છે. જો ચુંબકીયક્ષેત્ર નિયમિત ન હોય, પરંતુ એક વર્તુળાકાર કક્ષા દરમિયાન વધુ પડતું બદલાતું ન હોય, તો જ્યારે તે તીવ્ર ચુંબકીયક્ષેત્રમાં પ્રવેશે ત્યારે હેલીક્ષની ત્રિજ્યા ઘટશે અને જ્યારે તે નબળા ચુંબકીયક્ષેત્રમાં પ્રવેશે ત્યારે (હેલીક્ષની ત્રિજ્યા) વધશે. શૂન્યાવકાશિત બંધ પાત્રમાં થોડાક અંતરે રહેલા બે સૉલેનોઈડ ધ્યાનમાં લો (નીચે આપેલ આકૃતિ જુઓ જેમાં આપણે બંધ પાત્ર દર્શાવ્યું નથી). બે સૉલેનોઈડ વચ્ચેના અવકાશમાં વિદ્યુતભારીત કણો નાની ત્રિજ્યા (ના હેલીકલ માર્ગે)થી ગતિ શરૂ કરશે. જેમ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઘટે તેમ આ ત્રિજ્યા વધશે અને બીજા સૉલેનોઈડ પાસે પહોંચતા (ચુંબકીયક્ષેત્ર વધવાથી) ત્રિજ્યા ફરીથી ઘટશે. સૉલેનોઈડ જાણે કે અરિસા (પરાવર્તક) તરીકે વર્તે છે. [આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ જ્યારે (વિદ્યુતભારીત) કણ ગુંચળા 2 પાસે પહોંચે ત્યારે **F**ની દિશા જુઓ. આગળ તરફની (Forward) ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં તેને (**F**ને) સમક્ષિતિજ ઘટક છે]. આ કારણે જ્યારે આ કણો સૉલેનોઈડ પાસે પહોંચે ત્યારે પાછા ફરે છે. આવી રચના ચુંબકીય શીશી (Bottle) કે ચુંબકીય પાત્ર તરીકે વર્તે છે. આ કણો ક્યારેય (બે સૉલેનોઈડને સમાવતા) પાત્રની દિવાલોને સ્પર્શશે નહીં. ફ્યુઝનના પ્રયોગો દરમ્યાન ઊંચી ઊર્જા ધરાવતા પ્લાઝમાને જકડી રાખવા (To Confine, ઘેરી રાખવા) આવી ચુંબકીય બોટલ્સ ખૂબ ઉપયોગી છે. ખૂબ ઊંચા તાપમાનને કારણે આ પ્લાઝમાં બીજા કોઈ પણ પ્રકારના પદાર્થ (દ્રવ્ય)ના પાત્રનો નાશ કરી દેશે. બીજું મહત્વનું (ઉપયોગી) પાત્ર ટૉરોઈડ છે. ટૉકામેક (Tokamak) કે જે ફ્યુઝન પાવર રીએક્ટર્સ માટે પ્લાઝમાને જકડી (ઘેરી) રાખતું ઉપકરણ છે, તેમાં ટોરોઈડ મહત્વનો ભાગ ભજવે તેવું અપેક્ષિત છે. ફ્રાન્સમાં નિયંત્રિત સંલયન (Controlled Fusion) સિદ્ધ કરવા માટે ઈન્ટરનેશનલ થર્મોન્યુકિલઅર એક્સપરીમેન્ટલ રિએક્ટર (ITER)ની રચના આંતર રાષ્ટ્રીય સહયોગથી કરવામાં આવી છે, જેમાં ભારત પણ એક સહયોગી દેશ છે. ITER સહયોગી સંસ્થા અને તેના કાર્ય (Project) વિશે વધુ માહિતી તમે http://www.iter/orgની મુલાકાત લઈ મેળવી શકો.



ઉદાહરણ 4.9

ઉદાહરણ 4.9 1 cm ત્રિજ્યા અને 0.5 m લંબાઈનો સૉલેનોઈડ 500 આંટા ધરાવે છે. તેમાંથી 5 A વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રસાર થાય છે. સૉલેનોઈડની અંદર ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

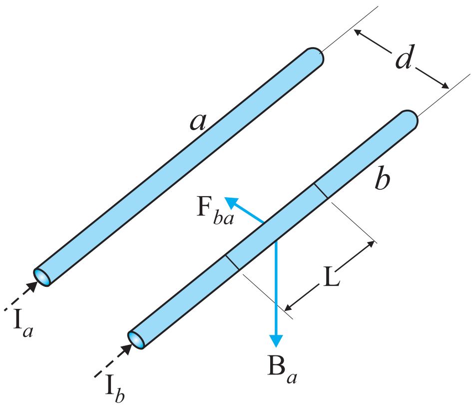
ઉકેલ એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા

$$n = \frac{500}{0.5} = 1000 \text{ turns/m}$$

લંબાઈ $l = 0.5$ m અને ત્રિજ્યા $r = 0.01$ m. આથી $l/a = 50$ એટલે કે $l >> a$. આથી, આપણે લાંબા સૉલેનોઈડના સમીકરણ (4.20)નો ઉપયોગ કરી શકીએ,

$$B = \mu_0 nI$$
$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 10^3 \times 5$$
$$= 6.28 \times 10^{-3} \text{ T}$$

4.9 બે સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહ વચ્ચે લાગતું બળ, ઍમ્પિયર (FORCE BETWEEN TWO PARALLEL CURRENTS, THE AMPERE)



આકૃતિ 4.20 સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ I_a અને I_b ધરાવતા અને એકબીજાથી d અંતરે રહેલા બે સીધા વાહકો (તાર). વાહક 'a' વડે વાહક 'b' પાસે ઉદ્‌ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર $\mathbf{B}_a$ છે.

આપણે શીખ્યા છીએ કે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વાહકના કારણે ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉદ્‌ભવે છે જે બાયૉસાવરના નિયમને અનુસરે છે. ઉપરાંત, આપણે એ પણ શીખ્યા છીએ કે બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્ર, વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વાહક પર બળ લગાડશે. તે લૉરેન્ઝના સમીકરણ પરથી મળે છે. આમ, પાસપાસે મુકેલા બે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વાહકો એકબીજા પર (ચુંબકીય) બળ લગાડશે, એવી અપેક્ષા રાખવી તર્કસંગત છે. 1820–25ના ગાળામાં, ઍમ્પિયરે આ ચુંબકીય બળનો પ્રકાર અને વિદ્યુતપ્રવાહના મૂલ્ય પર, વાહકોના આકાર અને કદ પર તથા બે વાહકો વચ્ચેના અંતર પર તેના આધાર વિશે અભ્યાસ કર્યો. આ પરિચ્છેદમાં આપણે બે સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વાહકોનું ઉદાહરણ જોઈશું, જે આપણને ઍમ્પિયરે કરેલા કષ્ટમય કાર્ય વિશે ખ્યાલ આપશે.

આકૃતિ 4.20માં એકબીજાથી d અંતરે રહેલા બે લાંબા, સમાંતર વાહકો a અને b દર્શાવ્યા છે જેમાંથી અનુક્રમે (સમાંતર) વિદ્યુતપ્રવાહો I_a અને I_b પસાર થાય છે. વાહક 'a' દ્વારા વાહક 'b' પર દરેક બિંદુએ સમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર $\mathbf{B}_a$ ઉત્પન્ન થાય છે. જમણા હાથનો નિયમ દર્શાવે છે કે આ ક્ષેત્રની દિશા (જ્યારે બંને વાહકો સમક્ષિતિજ મુક્યા હોય ત્યારે) નીચે તરફ (અધોદિશામાં) હોય છે. તેનું મૂલ્ય સમીકરણ [4.19(a)] પરથી અથવા ઍમ્પિયરના સર્કીટલ નિયમ પરથી મળે છે,

$$B_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi d}$$

ચુંબકીયક્ષેત્ર $\mathbf{B}_a$ના કારણે વિદ્યુતપ્રવાહ I_b ધરાવતો સુવાહક, બાજુની તરફ (ચુંબકીય) બળ અનુભવશે. $\mathbf{B}_a$ના કારણે લાગતું આ બળ સુવાહક 'a'ની દિશામાં હશે (ચકાસો). આ બળને આપણે $\mathbf{F}_{ba}$ વડે દર્શાવીશું, જે 'b'ના વિભાગ (ખંડ) L પર 'a'ના કારણે લાગતું બળ છે. આ બળનું મૂલ્ય સમીકરણ (4.4) પરથી,

$$F_{ba} = I_b L B_a$$

$$= \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d} L \qquad (4.23)$$

'b'ના કારણે 'a' પર લાગતું બળ શોધવું પણ શક્ય છે. ઉપર કરેલી ધારણાઓ મુજબ આપણે 'a'ના વિભાગ (ખંડ) L પર 'b' વડે લાગતું બળ F_{ab} શોધી શકીએ. તે $\mathbf{F}_{ab}$ના મૂલ્ય જેટલું અને bની તરફ હોય છે. આથી,

$$\mathbf{F}_{ba} = -\mathbf{F}_{ab} \qquad (4.24)$$

નોંધો કે આ ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમ સાથે સુસંગત છે.* આમ, ઓછામાં ઓછું સમાંતર વાહકો અને સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહો માટે આપણે દર્શાવ્યું કે બાયૉસાવરનો નિયમ અને લૉરેન્ઝ બળનું પરિણામ ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમ મુજબ મળે છે.

ઉપર આપણે જોયું કે, એક જ દિશામાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહો એક બીજાને આકર્ષે છે. કોઈ એ પણ દર્શાવી શકે કે વિરુદ્ધ દિશામાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહો એકબીજાને અપાકર્ષે છે. આમ,

સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહો આકર્ષી અને પ્રતિસમાંતર પ્રવાહો અપાકર્ષી હોય છે.

સ્થિત વિદ્યુતના નિયમ કરતાં આ નિયમ ઉલટો છે. સમાન (સજાતિય) વિદ્યુતભારો એકબીજાને અપાકર્ષે છે, જ્યારે સમાન (સમાંતર) વિદ્યુતપ્રવાહો એકબીજાને આકર્ષે છે.

ધારો કે, બળ $\mathbf{F}_{ba}$નું એકમ લંબાઈ દીઠ મૂલ્ય f_{ba} વડે દર્શાવીએ તો સમીકરણ (4.23) પરથી,

$$f_{ba} = \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d} \qquad (4.25)$$

આ સમીકરણનો ઉપયોગ ઍમ્પિયર (A)ને વ્યાખ્યાયિત કરવા માટે થાય છે, જે સાત મૂળભૂત SI એકમોમાંનો એક છે.

ઍમ્પિયર એ સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહનું એવું મૂલ્ય છે, જે બે ખૂબ લાંબા, સીધા અને નહીંવત (અવગણ્ય) આડછેદ ધરાવતા તથા શૂન્યાવકાશમાં એકબીજાથી એક મીટર અંતરે સમાંતર મુકેલા, વાહકોમાંથી પસાર થતો હોય, ત્યારે બંને વાહકો પર એક મીટર લંબાઈ દીઠ 2×10^{-7} ન્યૂટન બળ લગાડે (ઉત્પન્ન કરે).

ઍમ્પિયરની આ વ્યાખ્યા 1946માં સ્વીકારવામાં આવી. આ સૈદ્ધાંતિક વ્યાખ્યા છે. વ્યવહારમાં આપણે પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્રની અસર નાબુદ કરવી જોઈએ તથા ખૂબ લાંબા તારની જગ્યાએ યોગ્ય ભૌમિતિક આકારના ઘણા આંટા ધરાવતા ગુંચળાઓનો ઉપયોગ કરવો પડે. વિદ્યુતપ્રવાહ તુલા (કાંટા, Balance) નામના સાધનનો ઉપયોગ આ યાંત્રિક બળ માપવા માટે થાય છે.

વિદ્યુતભારનો SI એકમ, જે કુલંબ કહેવાય છે, તેને હવે ઍમ્પિયરના સંદર્ભમાં વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

જ્યારે સુવાહકમાંથી 1 A જેટલો સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે, ત્યારે તેના આડછેદમાંથી 1 sમાં પસાર થતો વિદ્યુતભાર એક કુલંબ (1 C) જેટલો હોય છે.

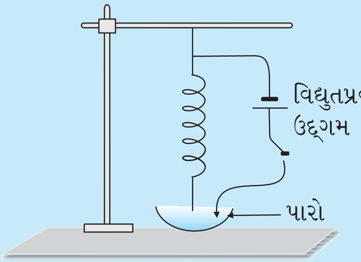
---

* એ જણાયું છે કે જ્યારે વિદ્યુતપ્રવાહો અને/અથવા ગતિમાન વિદ્યુતભારો સમય પર આધારિત હોય, ત્યારે વિદ્યુતભારો અને/અથવા (વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત) સુવાહકો વચ્ચે લાગતા બળો માટે ન્યૂટનનો ત્રીજો નિયમ લાગુ પડતો નથી. યંત્રશાસ્ત્રમાં ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમ પરથી, અલગ કરેલા તંત્ર માટે વેગમાનના સંરક્ષણનો નિયમ, સીધો તરી આવે છે. જો (વિદ્યુત કે ચુંબકીય) ક્ષેત્ર વડે ધારણ કરાતું વેગમાન ધ્યાનમાં લેવામાં આવે તો આ બાબત વિદ્યુતચુંબકીયક્ષેત્રોની સમય-આધારિત પરિસ્થિતિઓમાં પણ લાગુ પડે છે.

સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહો વચ્ચેના આકર્ષણ માટે રોગેટનું સર્પિલ ગૂંચળું
(ROGET'S SPIRAL FOR ATTRACTION BETWEEN PARALLEL CURRENTS)

સામાન્ય રીતે ચુંબકીય અસરો, વિદ્યુતીય અસરો કરતાં નાની હોય છે. પરિણામે, વિદ્યુતિ પ્રવાહો વચ્ચેનું બળ સામાન્યતઃ ઓછું હોય છે, કારણ કે ગુણાંક μ નાનો હોય છે. આથી વિદ્યુતપ્રવાહો વચ્ચેનું આકર્ષણ કે અપાકર્ષણ દર્શાવવું અઘરું પડે છે. આમ, 1 cm અંતરે રહેલા 5 A વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત તાર માટે, એક મીટર લંબાઈ દીઠ બળ 5×10^{-4} N જેટલું હોય, જે લગભગ 50 mg વજન જેટલું છે. તે ગરગડી પરથી પસાર થતી દોરી પર 50 mg વજન લટકાવીને તારને ઉપર ખેંચવા જેટલું છે. તારનું સ્થાનાંતર નોંધપાત્ર ન હોય તેવું હોય છે.

નરમ સ્પ્રિંગનો ઉપયોગ કરીને, આપણે સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહની અસરકારક લંબાઈ વધારી શકીએ અને પારાનો ઉપયોગ કરીને આપણે થોડા મિમિ (mm) જેટલું સ્થાનાંતર દૃશ્યમાન બનાવી શકીએ. આ માટે આપણને અચળ 5 A વિદ્યુતપ્રવાહ આપી શકે તેવા વિદ્યુતપ્રવાહ ઉદ્‌ગમની જરૂર પડશે.



જેનો પ્રાકૃતિક દોલન આવર્તકાળ 0.5 – 1 s હોય તેવું નરમ સર્પિલ ગૂંચળુ (સ્પ્રિંગ) લો. તેને લંબરૂપે લટકાવો. તથા આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ તેનો નીચેનો છેડો અણીદાર રાખો. એક પાત્રમાં પારો લો અને સ્પ્રિંગને એવી રીતે ગોઠવો કે જેથી તેનો અણીદાર છેડો પારાની સપાટીને (ફક્ત) સ્હેજ અડકે. DC વિદ્યુતપ્રવાહ ઉદ્‌ગમ લો, તેના એક છેડાને સ્પ્રિંગના ઉપરના છેડા સાથે જોડો તથા બીજા છેડાને પારામાં ડૂબે તે રીતે રાખો. જ્યારે સ્પ્રિંગનો અણીદાર છેડો પારાના સંપર્કમાં આવે ત્યારે પારા દ્વારા પરિપથ પૂર્ણ થાય છે.

શરૂઆતમાં ધારોકે DC ઉદ્‌ગમને બંધ રાખવામાં આવે છે. સ્પ્રિંગની અણી એ રીતે ગોઠવેલી છે કે જેથી તે પારાને ફક્ત સ્હેજ અડકે. અચળ વિદ્યુતપ્રવાહના ઉદ્‌ગમને ચાલુ કરો અને અદ્‌ભુત નજારો જુઓ. સ્પ્રિંગ ઝાટકા સાથે સંકોચાશે, અણીદાર છેડો પારામાંથી બહાર આવશે (ફક્ત એકાદ મીમી જેટલો), પરિપથ તૂટશે જેથી વિદ્યુતપ્રવાહ અટકી જશે. સ્પ્રિંગ પાછી તેના મૂળ સ્થાને આવવા પ્રયત્ન કરશે, તેનો અણીદાર છેડો ફરીથી પારાને અડશે જેથી પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ વહેવા લાગશે અને આ રીતે આવર્તનો ટીક, ટીક, ટીક... કરતાં ચાલુ રહેશે. શરૂઆતમાં, સારી અસર ઉત્પન્ન કરવા માટે તમારે થોડીક નાની ફેરગોઠવણી કરવી પડે.

પારાની વરાળ ઝેરી હોય છે આથી તમારો ચહેરો તેનાથી દુર રાખો. પારાની વરાળને લાંબા સમય સુધી શ્વાસમાં ન લો.

ઉદાહરણ 4.10 કોઈ સ્થળે પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક 3.0×10^{-5} T છે અને આ ક્ષેત્રની દિશા ભૌગોલિક દક્ષિણથી ભૌગોલિક ઉત્તર તરફ છે. એક લાંબો સીધો વાહક 1 A જેટલો સ્થાયી વિદ્યુતપ્રવાહ ધરાવે છે. તેને સમક્ષિતિજ ટેબલ પર મુકવામાં આવે અને તેમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા (a) પૂર્વથી પશ્ચિમ તરફ, (b) દક્ષિણથી ઉત્તર તરફ હોય, ત્યારે તેની એકમ લંબાઈ દીઠ તેના પર લાગતું બળ કેટલું હશે ?

ઉકેલ $\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$

$F = IlB \sin\theta$

એકમ લંબાઈ દીઠ બળ

$f = F/l = IB \sin\theta$

(a) જ્યારે વિદ્યુતપ્રવાહ પૂર્વથી પશ્ચિમ તરફ વહેતો હોય ત્યારે $\theta = 90^\circ$

આથી, $f = IB$

$= 1 \times 3 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-5}$ N m^{-1}

ઉદાહરણ 4.10

જે ઍમ્પિયરની વ્યાખ્યામાં દર્શાવેલ મૂલ્ય 2×10^{-7} N m^{-1} કરતાં વધુ છે. આથી અહીંયા ઍમ્પિયરને પ્રમાણભૂત કરવા માટે પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્ર અને બીજા ક્ષેત્રોની અસર નાબુદ કરવી જોઈએ.

બળની દિશા નીચે તરફ છે. સદિશ ગુણાકારના દિશા ગુણધર્મ મુજબ આ દિશા મેળવી શકાય.

(b) જ્યારે વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્તરથી દક્ષિણ તરફ વહેતો હોય ત્યારે

$\theta = 0^{\circ}$

$f = 0$

આથી વાહક પર કોઈ બળ લાગતું નથી.

ઉદાહરણ 4.10

4.10 વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળા (પ્રવાહગાળા) પર લાગતું ટૉર્ક, ચુંબકીય ડાઈપોલ (Torque on Current Loop, Magnetic Dipole)

4.10.1 નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં રાખેલ વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત લંબચોરસ ગૂંચળા (પ્રવાહગાળા) પર લાગતું ટૉર્ક (Torque on a Ractangular Current Loop in a Uniform Magnetic Field)

હવે આપણે દર્શાવીએ કે સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત લંબચોરસ ગૂંચળાને નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં મુકતાં તે ટૉર્ક અનુભવે છે. તે કોઈ પરિણામી (ચોખ્ખું) બળ અનુભવતું નથી. જે વિદ્યુત ડાઈપોલને નિયમિત વિદ્યુતક્ષેત્રમાં મુકતાં (વિભાગ 1.10) થતી વર્તણુંક સાથે મળતું આવે છે.

પહેલાં આપણે સાદો કિસ્સો ધ્યાનમાં લઈશું કે જ્યારે લંબચોરસ ગૂંચળું એ રીતે મુકવામાં આવેલ હોય કે જેથી નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** આ ગૂંચળાના સમતલમાં હોય. જે આકૃતિ 4.21(a)માં દર્શાવેલ છે.

આ ચુંબકીયક્ષેત્ર ગૂંચળાની AD અને BC બાજુઓ પર કોઈ બળ લગાડતું નથી. તે ગૂંચળાની AB બાજુને લંબરૂપે છે અને તેના પર $\mathbf{F}_1$ જેટલું બળ લગાડે છે, જે ગૂંચળાના સમતલ (પૃષ્ઠ)માં અંદર તરફ હોય છે. તેનું મૂલ્ય

$F_1 = I b B$

આ જ રીતે તે CD બાજુ પર બળ $\mathbf{F}_2$ લગાડે છે અને $\mathbf{F}_2$ પૃષ્ઠના સમતલમાંથી બહાર તરફની દિશામાં હોય છે.

$F_2 = I b B = F_1$

આમ, ગૂંચળા પરનું પરિણામી (ચોખ્ખું) બળ શૂન્ય છે. $\mathbf{F}_1$ અને $\mathbf{F}_2$ બળોની જોડને કારણે ગૂંચળા પર ટૉર્ક લાગે છે. આકૃતિ 4.21(b)માં AD બાજુના છેડા તરફથી દેખાતું દૃશ્ય દર્શાવ્યું છે. તે દર્શાવે છે કે ગુંચળા પર લાગતું ટૉર્ક તેને વિષમઘડી રીતે ઘૂમાવવાનો પ્રયત્ન કરે છે. આ ટૉર્ક (નું મૂલ્ય),

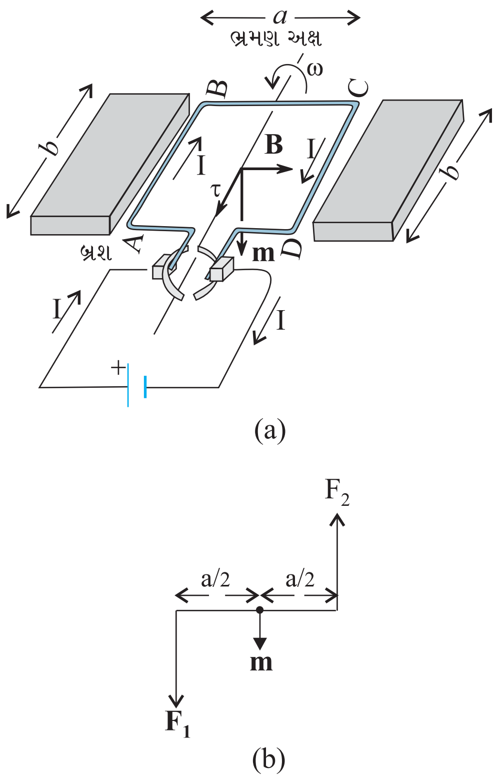
$$\tau = F_1 \frac{a}{2} + F_2 \frac{a}{2}$$

$$= IbB \frac{a}{2} + IbB \frac{a}{2} = I(ab)B$$

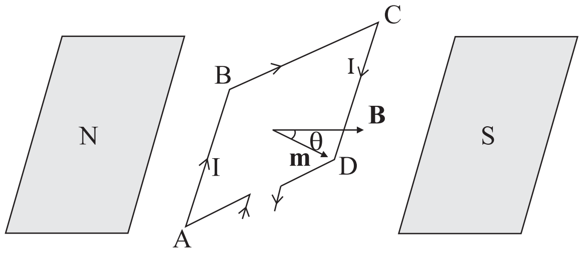
$$= IAB \qquad (4.26)$$

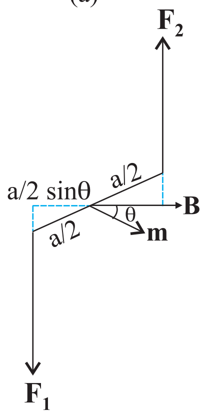
જ્યાં $A = ab$ એ લંબચોરસનું ક્ષેત્રફળ છે.

હવે આપણે એવો કિસ્સો ધ્યાનમાં લઈએ કે જેમાં ગૂંચળાનું સમતલ, ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશામાં ન હોય, પરંતુ તેની સાથે કોઈ ખૂણો બનાવે. આપણે



આકૃતિ 4.21 (a) નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં રહેલું વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત લંબચોરસ ગૂંચળું. ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) **m** નીચે તરફની દિશામાં છે. ટૉર્ક τ અક્ષ પર છે અને તે ગૂંચળાને વિષમઘડી દિશામાં ઘૂમાવવાનો પ્રયત્ન કરે છે. (b) ગૂંચળા પર લાગતું બળ યુગ્મ





આકૃતિ 4.22 (a) ગૂંચળાનો ક્ષેત્રફળ સદિશ ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે θ ખૂણો બનાવે છે. (b) ઉપરથી જોતાં ગૂંચળાનો દેખાવ. AB અને CD બાજુઓ પર લાગતાં બળ F_1 અને F_2 દર્શાવ્યા છે.

(ચુંબકીય) ક્ષેત્ર અને ગૂંચળાને દોરેલ લંબ સાથેનો ખૂણો θ લઈએ(આગળના કિસ્સા માટે $\theta = \pi/2$ હતું). આકૃતિ 4.22માં આ વ્યાપક કિસ્સો દર્શાવ્યો છે.

BC અને DA બાજુઓ પર લાગતા બળો સમાન (મૂલ્યના), વિરુદ્ધ દિશામાં, તથા BC અને DAના દ્રવ્યમાન કેન્દ્રોને જોડતી અક્ષ પર લાગે છે. આ બળો અક્ષ પર એક રેખસ્થ હોવાથી આ બળો એકબીજાને નાબુદ કરે છે જેથી પરિણામી બળ કે ટૉર્ક લાગતું નથી. AB અને CD બાજુઓ પરના બળ $\mathbf{F_1}$ અને $\mathbf{F_2}$ છે. તે પણ સમાન અને વિરુદ્ધ દિશામાં છે, જેમનું મૂલ્ય

$$F_1 = F_2 = IbB$$

પરંતુ તેઓ (આ બળો) એક રેખા પર (એક રેખસ્થ) નથી ! આથી અગાઉની જેમ બળ યુગ્મ ઉદ્ભવે છે. આમ છતાં, આ ટૉર્ક અગાઉના કિસ્સા, જેમાં ગૂંચળાનું સમતલ ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશામાં હતું તે કરતાં ઓછું છે. આનું કારણ એ છે કે, આ બળોની જોડ (યુગ્મ) વચ્ચેનું લંબ અંતર ઘટ્યું છે. આકૃતિ 4.22(b)માં AD છેડા તરફથી જોતાં દેખાતું દૃશ્ય દર્શાવ્યું છે અને તે જોડ (યુગ્મ) રચતાં બે બળો દર્શાવે છે. ગૂંચળા પર લાગતા ટૉર્કનું મૂલ્ય,

$$\tau = F_1 \frac{a}{2}\sin\theta + F_2 \frac{a}{2}\sin\theta$$
$$= I\,ab\,B\sin\theta$$
$$= IAB\sin\theta \qquad (4.27)$$

જેમ $\theta \to 0$, તેમ બળોની જોડ (યુગ્મ) વચ્ચેનું લંબ અંતર પણ શૂન્ય થતું જાય છે. તે બળોને એક રેખસ્થ કરે છે અને પરિણામી બળ તથા ટૉર્ક શૂન્ય થાય છે. સમીકરણો (4.26) અને (4.27)માં દર્શાવેલા ટૉર્કને ગૂંચળાની ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) અને ચુંબકીયક્ષેત્રના સદિશ ગુણાકાર વડે દર્શાવી શકાય. આપણે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળાની ચુંબકીય મોમેન્ટ આ રીતે વ્યાખ્યાયીત કરીએ છીએ,

$$\mathbf{m} = I\mathbf{A} \qquad (4.28)$$

જ્યાં (ગૂંચળાના) ક્ષેત્રફળ સદિશની દિશા જમણા હાથના અંગુઠાના નિયમ પરથી મળે છે. જે આકૃતિ 4.21માં પૃષ્ઠના સમતલમાં અંદરની તરફ જતી દર્શાવી છે. **m** અને **B** વચ્ચેનો ખૂણો પણ θ હોવાથી, સમીકરણો (4.26) અને (4.27)ને એક સમીકરણ વડે આ મુજબ દર્શાવી શકાય.

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \qquad (4.29)$$

જે સ્થિત વિદ્યુતના કિસ્સા (વિદ્યુતક્ષેત્ર Eમાં રહેલા ડાઈપોલ મોમેન્ટ $\mathbf{p}_e$ ધરાવતા ડાઈપોલ) જેવું છે.

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p}_e \times \mathbf{E}$$

સમીકરણ (4.28) પરથી જોઈ શકાય કે ચુંબકીય મોમેન્ટના પરિમાણ $[A][L^2]$ અને તેનો એકમ Am^2 છે.

સમીકરણ (4.29) પરથી આપણે જોઈ શકીએ કે જ્યારે **m**, ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** ને સમાંતર કે પ્રતિસમાંતર દિશામાં હોય ત્યારે ટૉર્ક τ નાબુદ (શૂન્ય) થાય છે. આ સંતુલન સ્થિતિ દર્શાવે છે, કારણ કે ગૂંચળા પર કોઈ ટૉર્ક લાગતું નથી (આ હકીકત ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) **m** ધરાવતા કોઈ પણ પદાર્થ માટે લાગુ પડે છે). જ્યારે **m** અને **B** સમાંતર હોય ત્યારે સંતુલન સ્થિર હોય છે. ગૂંચળાનું થોડુંક પણ

ભ્રમણ ટૉર્ક ઉત્પન્ન કરે છે, જે તેને મૂળ સ્થિતિમાં લાવે છે. જ્યારે તેઓ પ્રતિસમાંતર હોય, ત્યારે સંતુલન અસ્થિર હોય છે કારણ કે કોઈ પણ કોણાવર્તન (ભ્રમણ) ટૉર્ક ઉત્પન્ન કરે છે અને તે, કોણાવર્તનનું મૂલ્ય વધે તેમ વધે છે. આ ટૉર્કના કારણે જ કોઈ નાના ચુંબક કે કોઈ ચુંબકીય ડાઈપોલને બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્રમાં મુકતાં તેની (આ ક્ષેત્રની) દિશામાં ગોઠવાઈ જાય છે.

જો ગૂંચળાને પાસપાસે વિંટાળેલા N આંટા હોય, તો પણ ટૉર્ક માટેનું સમીકરણ (4.29) સાચું રહે છે, કે જેથી

$$\mathbf{m} = N I \mathbf{A} \tag{4.30}$$

ઉદાહરણ 4.11 પાસપાસે વિંટાળેલા 100 આંટાવાળું, 10 cm ત્રિજ્યાનું એક વર્તુળાકાર ગૂંચળું 3.2 A વિદ્યુતપ્રવાહ ધરાવે છે. (a) આ ગૂંચળાના કેન્દ્રમાં કેટલું (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર હશે ? (b) ગૂંચળાની ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) કેટલી હશે ?

ગૂંચળાને શિરોલંબ સમતલમાં એવી રીતે રાખેલું છે કે જેથી તે તેના વ્યાસ સાથે એક રેખસ્થ એવી સમક્ષિતિજ અક્ષ પર મુક્ત રીતે ભ્રમણ કરી શકે. 2 T જેટલું નિયમિત સમક્ષિતિજ ચુંબકીયક્ષેત્ર એવી રીતે પ્રવર્તે (રહેલું) છે કે જેથી શરૂઆતમાં ગૂંચળાની અક્ષ આ ક્ષેત્રની દિશામાં (એક રેખસ્થ) હોય. ચુંબકીયક્ષેત્રની અસર હેઠળ આ ગૂંચળું 90° કોણ જેટલું ભ્રમણ કરે છે. (c) ગૂંચળાની પ્રારંભિક અને અંતિમ સ્થિતિઓમાં તેના પર લાગતા ટૉર્કના મૂલ્યો કેટલા હશે ? (d) જ્યારે ગૂંચળું 90° કોણ પાસે પહોંચે ત્યારે તેણે કેટલી કોણીય ઝડપ પ્રાપ્ત કરી હશે ? ગૂંચળાની જડત્વની ચાકમાત્રા 0.1 kg m^2 છે.

ઉકેલ

(a) સમીકરણ (4.16) પરથી

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

અહીંયા, N = 100 ; I = 3.2 A અને R = 0.1 m. આથી,

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^{2} \times 3.2}{2 \times 10^{-1}} = \frac{4 \times 10^{-5} \times 10}{2 \times 10^{-1}}, \ (\pi \times 3.2 = 10 \text{ લેતાં})$$

$$= 2 \times 10^{-3}\ T$$

જમણા હાથના અંગૂઠાના નિયમ પરથી દિશા મેળવી શકાય.

(b) સમીકરણ (4.30) પરથી ચુંબકીય મોમેન્ટ,

$$m = NIA = N I \pi r^2 = 100 \times 3.2 \times 3.14 \times 10^{-2} = 10\ A m^2$$

અહીંયા પણ દિશા, જમણા-હાથના અંગૂઠાના નિયમ પરથી મેળવી શકાય.

(c) $\tau = |\mathbf{m} \times \mathbf{B}|$ [સમીકરણ (4.29) પરથી]

$$= m B \sin\theta$$

શરૂઆતમાં $\theta = 0$. આથી, શરૂઆતનું ટૉર્ક $\tau_i = 0$

અંતમાં, $\theta = \pi/2$ (અથવા 90°)

આથી, અંતિમ ટૉર્ક $\tau_f = mB = 10 \times 2 = 20\ N m$

(d) ન્યૂટનના બીજા નિયમ પરથી,

$$\mathcal{I} \frac{d\omega}{dt} = m B \sin\theta$$

જ્યાં, $\mathcal{I}$ એ ગુંચળાની જડત્વની ચાકમાત્રા છે. શૃંખલા (Chain)ના નિયમ મુજબ

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta}\omega$$

જેનો ઉપયોગ કરીને,

$$\mathcal{I} \omega d\omega = m B \sin\theta\, d\theta$$

ઉદાહરણ 4.11

ઉદાહરણ 4.11

$\theta = 0$ થી $\theta = \pi/2$ સુધી સંકલન કરતાં,

$$\mathcal{I}\int_0^{\omega_f} \omega d\omega = mB \int_0^{\pi/2} \sin\theta \, d\theta$$

$$\mathcal{I}\frac{\omega_f^2}{2} = -mB\cos\theta\Big|_0^{\pi/2} = mB$$

$$\omega_f = \left(\frac{2mB}{\mathcal{I}}\right)^{1/2} = \left(\frac{2\times 20}{10^{-1}}\right)^{1/2} = 20\, s^{-1}$$

ઉદાહરણ 4.12

ઉદાહરણ 4.12

(a) વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત એક વર્તુળાકાર ગૂંચળું, લીસા સમક્ષિતિજ સમતલ પર રહેલું છે. એવું કોઈ નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરી શકાય કે જેથી ગૂંચળું જાતે (શિરોલંબ અક્ષને અનુલક્ષીને) ભ્રમણ કરવા લાગે ?

(b) વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત એક વર્તુળાકાર ગૂંચળુ બાહ્ય નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં રહેલું છે. જો ગૂંચળુ મુક્ત ભ્રમણ કરી શકે એવું હોય, તો સ્થિર (સ્થાયી) સંતુલનમાં તે કઈ દિશામાં ગોઠવાયું હશે ? દર્શાવો કે આ ગોઠવણીમાં કુલ ક્ષેત્ર (બાહ્યક્ષેત્ર + ગૂંચળા વડે ઉદ્ભવેલું ક્ષેત્ર)નું ફ્લક્સ મહત્તમ હશે.

(c) અનિયમિત આકાર ધરાવતું વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળું બાહ્ય નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં રહેલું છે. જો તાર નરમ (વળી શકે તેવો ઢીલો, લચીલો) હોય, તો શા માટે તે વર્તુળ આકાર ધારણ કરે છે ?

ઉકેલ

(a) ના, કારણ કે તે માટે τ શિરોલંબ દિશામાં હોવું જોઈએ. પરંતુ $\tau = I\,\mathbf{A}\times\mathbf{B}$, અને સમક્ષિતિજ ગૂંચળા માટે A શિરોલંબ દિશામાં હોવાથી, કોઈપણ **B** માટે τ ગૂંચળાના સમતલમાં હશે.

(b) સ્થિર સંતુલનમાં ગોઠવાવાનો અર્થ એ કે ગૂંચળાનો ક્ષેત્રફળ સદિશ **A** બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશામાં ગોઠવાયેલ હોય. આ સ્થિતિમાં, ગૂંચળા વડે ઉદ્ભવેલું ચુંબકીયક્ષેત્ર, બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશામાં હોય અને બંને ગૂંચળાના સમતલને લંબ રૂપે હોય, જેથી કુલ (ચુંબકીય) ક્ષેત્રનું ફ્લક્સ મહત્તમ થાય.

(c) આપેલ પરિમિતિ માટે, બીજા આકાર કરતાં વર્તુળ આકાર મહત્તમ ક્ષેત્રફળ ધરાવતો હોવાથી, જ્યારે તે (ગૂંચળુ) ચુંબકીયક્ષેત્રને લંબરૂપે હોય ત્યારે મહત્તમ ફ્લક્સ આવરી લેવા તે વર્તુળ આકાર ધારણ કરે છે.

4.10.2 ચુંબકીય ડાયપોલ તરીકે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વર્તુળાકાર ગૂંચળું (Circular Current Loop as a Magnetic Dipole)

આ પરિચ્છેદમાં આપણે સાદો ચુંબકીય ઘટક : એટલે કે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળું, ધ્યાનમાં લઈશું. આપણે દર્શાવીશું કે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વર્તુળાકાર ગૂંચળાના કારણે (લાંબા અંતરે) ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર, વિદ્યુત ડાયપોલના વિદ્યુતક્ષેત્ર જેવું જ છે. પરિચ્છેદ 4.6માં આપણે વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત, R ત્રિજ્યાના, વર્તુળાકાર ગૂંચળા વડે તેની અક્ષ પર ઉદ્ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્રની ગણતરી કરી હતી. આ (ચુંબકીય) ક્ષેત્રનું મૂલ્ય [સમીકરણ (4.15)],

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

છે અને તેની દિશા જમણા-હાથના અંગુઠાના નિયમ [આકૃતિ 4.12] મુજબ અક્ષ પર હોય છે. અહીં, x એ ગૂંચળાના કેન્દ્રથી તેની અક્ષ પર (આપેલ બિંદુનું) અંતર છે. $x >> R$ માટે આપણે છેદમાં આવેલ R^2 પદ અવગણી શકીએ. આથી,

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2x^3}$$

નોંધો કે ગૂંચળાનું ક્ષેત્રફળ $A = \pi R^2$. આથી,

$$B = \frac{\mu_0 I A}{2\pi x^3}$$

અગાઉની જેમ, આપણે IA મૂલ્ય ધરાવતી ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા)ને $\mathbf{m} = I\,\mathbf{A}$ વડે વ્યાખ્યાયિત કરી શકીએ. આથી,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi x^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{m}}{x^3} \qquad [4.31(a)]$$

સમીકરણ [4.31(a)] વડે દર્શાવેલું સૂત્ર, અગાઉ ડાયપોલના વિદ્યુતક્ષેત્ર માટે મેળવેલ સૂત્ર જેવું જ છે. જો આપણે

$\mu_0 \rightarrow 1/\varepsilon_0$

$\mathbf{m} \rightarrow \mathbf{p}_e$ (સ્થિત વિદ્યુત ડાયપોલ)

$\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{E}$ (સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર)

મુકીએ તો આપણને આ સમાનતા જોવા મળે છે. આ પરથી આપણને,

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}_e}{4\pi\varepsilon_0 x^3}$$

જે પ્રકરણ-1 વિભાગ 1.10 [સમીકરણ (1.20)]માં વિદ્યુતડાયપોલ વડે તેની અક્ષ પરના કોઈ બિંદુએ મળતા વિદ્યુતક્ષેત્ર જેવું જ છે.

ઉપરની સામ્યતા હજી આગળ વધારી શકાય. પ્રકરણ-1માં આપણે જોયું હતું કે ડાયપોલના લંબ દ્વિભાજક પર વિદ્યુતક્ષેત્ર

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{p}_e}{4\pi\varepsilon_0 x^3}$$

વડે આપી શકાય [જુઓ સમીકરણ (1.21)], જ્યાં x એ ડાયપોલથી અંતર છે. ઉપરના સમીકરણમાં જો આપણે $\mathbf{p} \rightarrow \mathbf{m}$ અને $\mu_0 \rightarrow 1/\varepsilon_0$ બદલીએ, તો આપણને ગૂંચળાના સમતલમાં તેના કેન્દ્રથી x અંતરે આવેલા બિંદુ પાસે **B**નું મૂલ્ય મળે. $x >> R$ માટે,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{m}}{x^3} \qquad x >> R \qquad [4.31(b)]$$

સમીકરણો [(4.31(a)) અને [4.31(b)] વડે મળતા પરિણામો બિંદુવત ચુંબકીય ડાઈપોલ માટે એકદમ ચોક્કસ મળે.

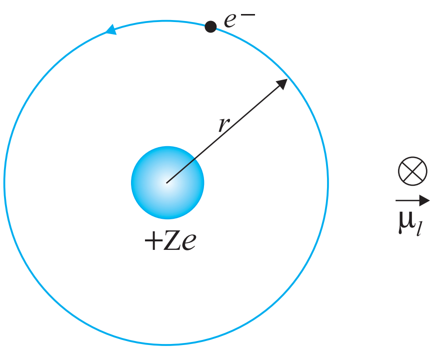
ઉપર મેળવેલા સમીકરણો કોઈ પણ સમતલ ગૂંચળા પર લાગુ પાડી શકાય. વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત સમતલ ગૂંચળુ એ $\mathbf{m} = I\,\mathbf{A}$ જેટલી ડાયપોલ મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) ધરાવતા ચુંબકીય ડાયપોલને સમતુલ્ય છે, જ્યાં **m** વિદ્યુત ડાયપોલ મોમેન્ટ **p** સાથે સામ્યતા ધરાવે છે. આમ છતાં, એક પાયાનો તફાવત નોંધવો જોઈએ કે વિદ્યુત ડાયપોલ એ બે મૂળભૂત એકમો વિદ્યુતભારો (અથવા વિદ્યુત એકધ્રુવીઓ-Monopoles)નો બનેલો છે. ચુંબકત્વમાં, ચુંબકીય ડાયપોલ (અથવા વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળુ) એ સૌથી મૂળભૂત (પ્રાથમિક) ઘટક છે. વિદ્યુતભારોને સમતુલ્ય એટલે કે ચુંબકીય એક ધ્રુવીઓ, અસ્તિત્વમાં હોવાનું માલુમ પડ્યું નથી.

આપણે દર્શાવ્યું છે કે, વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળુ (i) ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે (જુઓ આકૃતિ 4.12) અને મોટા અંતરો માટે ચુંબકીય ડાયપોલ તરીકે વર્તે છે, અને (ii) ચુંબકીય સોયની માફક ટૉર્ક અનુભવે છે.

આ હકીકતને લીધે ઍમ્પિયરે એવું સૂચન કર્યું કે, બધું જ ચુંબકત્વ ભ્રમણ કરતા (વર્તુળમાર્ગી) વિદ્યુતપ્રવાહોને આભારી છે. આ થોડા અંશે સાચું પણ લાગે છે અને હજી સુધી કોઈ પણ ચુંબકીય એક ધ્રુવીઓ જોવામાં આવી નથી. આમ છતાં, ઈલેક્ટ્રૉન કે પ્રોટોન જેવા પ્રાથમિક કણો જે આંતરિક (આગવી) ચુંબકીય મોમેન્ટ ધરાવે છે, જે ભ્રમણ કરતા (વર્તુળમાર્ગી) વિદ્યુતપ્રવાહ પર આધારિત નથી.

4.10.3 પરિભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનની ચુંબકીય ડાયપોલ મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) (The Magnetic Dipole Moment of a Revolving Electron)

પ્રકરણ-12માં આપણે હાઈડ્રોજન પરમાણુના બોહ્‌ર મૉડેલ વિશે ભણીશું. તમે કદાચ આ મોડેલ વિશે સાંભળ્યુ હશે કે જે ડૅનિશ (Danish) ભૌતિકવિજ્ઞાની નિલ્સ બોહ્‌રે (Niels Bohr) 1911માં રજુ કર્યું હતું અને તે નવા પ્રકારના યંત્રશાસ્ત્ર, એટલે કે ક્વૉન્ટમ યંત્રશાસ્ત્રની દિશામાં પહેલું પગથિયું હતું. બોહ્‌ર મૉડેલમાં, ઈલેક્ટ્રૉન (ઋણ વિદ્યુતભારિત કણ) ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિઅસની આજુ બાજુ ભ્રમણ કરે છે, જે રીતે સૂર્યની આસપાસ ગ્રહ ભ્રમણ કરે છે. પ્રથમ કિસ્સામાં આ બળ સ્થિત વિદ્યુતીય (કુલંબ બળ) છે જ્યારે ગ્રહ-સૂર્યના કિસ્સામાં તે ગુરુત્વાકર્ષી છે. ઈલેક્ટ્રૉનનું બોહ્‌ર નિરૂપણ આકૃતિ 4.23માં દર્શાવ્યું છે.



આકૃતિ 4.23 હાઈડ્રોજન જેવા પરમાણુઓ માટે બોહ્‌ર મૉડેલમાં ઋણ વિદ્યુતભાર ધારિત ઈલેક્ટ્રૉન નિયમિત ઝડપથી કેન્દ્રમાં રહેલા ધન વિદ્યુતભાર (+Z e) ધારિત ન્યુક્લિઅસની આસપાસ ભ્રમણ કરે છે. ઈલેક્ટ્રૉનની વર્તુળાકાર માર્ગે નિયમિત ગતિ વિદ્યુતપ્રવાહ રચે છે. ચુંબકીય મોમેન્ટની દિશા પૃષ્ઠના સમતલમાં અંદરની તરફ છે જે બાજુમાં અલગથી ⊗ વડે દર્શાવી છે.

વિદ્યુતભાર $(-e)$ $(e = +1.6 \times 10^{-19}$ C) ધરાવતો ઈલેક્ટ્રૉન, $+Ze$ વિદ્યુતભાર ધરાવતા સ્થિર અને ભારે ન્યુક્લિઅસની આસપાસ નિયમિત વર્તુળાકાર ગતિ કરે છે. તે વિદ્યુતપ્રવાહ I રચે છે, જ્યાં

$$I = \frac{e}{T} \tag{4.32}$$

અને T એ એક પરિભ્રમણ માટેનો સમય (આવર્તકાળ) છે. ધારોકે r એ ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષાની ત્રિજ્યા, તથા υ એ તેની કક્ષીય ઝડપ છે. આથી,

$$T = \frac{2\pi r}{\upsilon} \tag{4.33}$$

સમીકરણ (4.32)માં મુકતાં, આપણને $I = e\upsilon/2\pi r$ મળે.

આ પરિભ્રમણ કરતા વિદ્યુતપ્રવાહ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) પણ મળે જેને સામાન્ય રીતે μ_l વડે દર્શાવાય છે. સમીકરણ (4.28) પરથી તેનું મૂલ્ય, $\mu_l = I\pi r^2 = e\upsilon r/2$.

આ ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા)ની દિશા આકૃતિ 4.23 મુજબ પૃષ્ઠના સમતલમાં અંદરની તરફ છે. [ઋણ વિદ્યુતભાર ધારિત ઈલેક્ટ્રૉન વિષમ ઘડી ગતિ કરતો હોય તો તે સમઘડી વિદ્યુતપ્રવાહ દર્શાવે છે અને તેથી અગાઉ દર્શાવ્યું હતું તે મુજબ જમણા હાથના નિયમ મુજબ આ દિશા મળે છે]. ઉપરના સમીકરણની જમણી બાજુને ઈલેક્ટ્રૉનના દળ m_e સાથે ગુણી અને ભાગતાં

$$\mu_l = \frac{e}{2m_e}(m_e \upsilon r)$$

$$= \frac{e}{2m_e} l \qquad [4.34(a)]$$

અહીં, l એ કેન્દ્રમાં રહેલા ન્યુક્લિઅસની સાપેક્ષે ઈલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાન (''કક્ષીય'' કોણીય વેગમાન) નું મૂલ્ય છે. સદિશની રીતે,

$$\boldsymbol{\mu}_l = -\frac{e}{2m_e}\mathbf{l} \qquad [4.34(b)]$$

ઋણ ચિહ્‌ન દર્શાવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉનનું કોણીય વેગમાન ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા)ની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે.

જો વિદ્યુતભાર ($-e$) ધરાવતા ઈલેક્ટ્રૉનની જગ્યાએ આપણે ($+q$) વિદ્યુતભાર ધરાવતો કણ લીધો હોત, તો કોણીય વેગમાન અને ચુંબકીય મોમેન્ટ એક જ દિશામાં હોત. તેમના ગુણોત્તર

$$\frac{\mu_l}{l} = \frac{e}{2m_e} \tag{4.35}$$

ને ગાયરોમૅગ્નેટીક (Gyromagnetic) ગુણોત્તર કહે છે અને તે અચળ હોય છે. ઈલેક્ટ્રૉન માટે તેનું મૂલ્ય 8.8×10^{10} C/kg છે, જે પ્રયોગો દ્વારા ચકાસવામાં આવ્યું છે.

પરમાણુ કક્ષાએ પણ ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) હોય છે. એ હકીકત ઍમ્પિયરના, પરમાણુઓની ચુંબકીય મોમેન્ટ વિશેના સાહસિક અધિતર્કને અનુમોદન આપે છે. ઍમ્પિયરે દર્શાવ્યા મુજબ, આ (પરમાણુની ચુંબકીય મોમેન્ટ) આપણને દ્રવ્યોના ચુંબકીય ગુણધર્મો સમજાવવા માટે ઉપયોગી છે. શું આપણે પરમાણ્વિક ડાઈપોલ મોમેન્ટ સાથે કોઈ સંખ્યા સાંકળી શકીએ ? એનો જવાબ હા છે. બોહ્ર મૉડેલમાં આપણે આવું કરી શકીએ. બોહ્રે અધિતર્ક આપ્યો કે કોણીય વેગમાન અમુક વિભિન્ન (પૃથક) મૂલ્યોનો સમૂહ (Set) ધરાવે છે, જે

$$l = \frac{nh}{2\pi} \tag{4.36}$$

છે, જ્યાં, n એ પ્રાકૃતિક સંખ્યા છે. $n = 1, 2, 3, ...$ અને h એ અચળાંક છે જેને મેક્સ પ્લાન્કના માનમાં (પ્લાન્કનો અચળાંક) નામ અપાયું છે. તેનું મૂલ્ય $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s છે. આ પૃથકતાના નિયમને બોહ્રની ક્વૉન્ટમીકરણની શરત કહે છે. તેને વિસ્તૃત રૂપમાં આપણે પ્રકરણ-12માં સમજીશું. અહીં, આપણો હેતુ ફક્ત પ્રાથમિક ડાઈપોલ મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) શોધવાનો જ છે. $n = 1$ લઈએ તો, સમીકરણ (4.34) પરથી,

$$(\mu_l)_{\min} = \frac{e}{4\pi m_e} h$$

$$= \frac{1.60 \times 10^{-19} \times 6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 9.11 \times 10^{-31}}$$

$$= 9.27 \times 10^{-24}\ \text{A m}^2 \tag{4.37}$$

જ્યાં, 'min' એ લઘુત્તમ મૂલ્ય દર્શાવે છે. આ મૂલ્યને બોહ્ર મેગ્નેટોન (Bohr Magneton) કહે છે.

નિયમિત વર્તુળમય ગતિ કરતા કોઈપણ વિદ્યુતભાર સાથે ચુંબકીય મોમેન્ટ સંકળાયેલી હોય છે, જે સમીકરણ (4.34) જેવા સૂત્ર વડે આપી શકાય છે. આ ડાયપોલ ચાકમાત્રાને કક્ષીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા કહે છે આથી, μ_lમાં 'l' આવે છે. કક્ષીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) ઉપરાંત, ઈલેક્ટ્રૉનને આંતરિક (પ્રાકૃતિક) ચુંબકીય મોમેન્ટ પણ હોય છે, જેનું મુલ્ય સમીકરણ (4.37) વડે મળતા મૂલ્ય જેટલું જ હોય છે. તેને સ્પિન ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) કહે છે. પરંતુ આપણે એ ત્વરિત ઉમેરીએ છીએ કે ઈલેક્ટ્રૉન પોતાનામાંથી પસાર થતી ધરી આસપાસ ભ્રમણ કરે છે એવું નથી. ઈલેક્ટ્રૉન પ્રાથમિક કણ છે અને તેને ભમરડા કે પૃથ્વીની જેમ ફરવા માટે કોઈ અક્ષ હોતી નથી. આમ છતાં તે આંતરિક ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) ધરાવે છે. લોખંડ અને બીજી (તેવી) ધાતુઓમાં અતિસૂક્ષ્મ કક્ષાએ ચુંબકીય ગુણધર્મોના મૂળ આ આંતરિક સ્પિન ચુંબકીય મોમેન્ટ સુધી દોરી જાય છે.

4.11 ચલિત ગૂંચળાવાળું ગૅલ્વેનોમીટર (THE MOVING COIL GALVANOMETER)

પરિપથોમાં વિદ્યુતપ્રવાહો અને વીજદબાણની વિસ્તૃત ચર્ચા પ્રકરણ-3માં કરેલ હતી. પરંતુ આપણે તેમનું માપન કેવી રીતે કરી શકીએ ? આપણે કેવી રીતે દાવો કરી શકીએ કે કોઈ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ 1.5 A અથવા કોઈ અવરોધના બે છેડા વચ્ચે વીજદબાણ તફાવત 1.2 V છે ? આકૃતિ 4.24માં આ હેતુ

PHYSICS

Conversion of galvanometer into ameter and voltmeter :
http://www.citycollegiate.com/galvanometer_XIIa.htm

માટે ખૂબ જ ઉપયોગી સાધનની રૂપરેખા દર્શાવી છે : જે ચલિત ગુંચળાવાળું ગૅલ્વેનોમીટર (MCG) છે. વિભાગ 4.10માં આપેલ સમજૂતીના આધારે આ સાધનનો સિદ્ધાંત સમજી શકાય.

ગૅલ્વેનોમીટર ઘણા આંટાવાળા ગુંચળાનું બનેલું છે, જે નિયમિત ત્રિજ્યાવર્તી ચુંબકીયક્ષેત્રમાં, તેની સ્થિર અક્ષની સાપેક્ષે મુક્ત ભ્રમણ કરી શકે છે. તેમાં એક નરમ લોખંડનો નળાકાર કેન્દ્રમાં હોય છે, જે આ ચુંબકીયક્ષેત્રને ત્રિજ્યાવર્તી તો કરે જ છે પણ સાથે ક્ષેત્રની તિવ્રતા પણ વધારે છે. જ્યારે ગૂંચળામાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ વહન થાય, ત્યારે તેના પર ટૉર્ક લાગે છે. સમીકરણ (4.26) પરથી આ ટૉર્કનું મૂલ્ય

$$\tau = NIAB$$

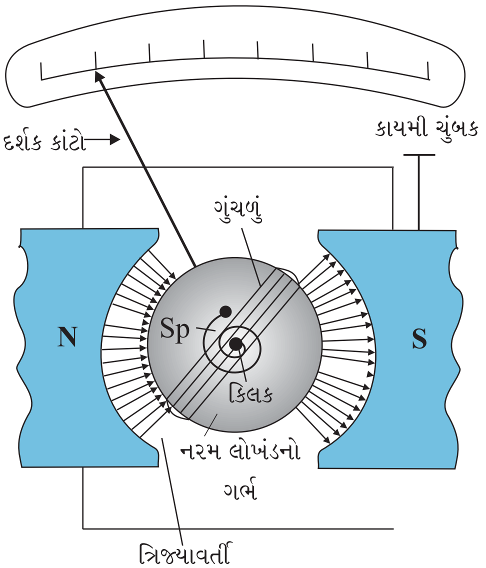
જ્યાં, સંજ્ઞાઓને તેમના પ્રચલિત અર્થ છે. અહીં (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર ત્રિજ્યાવર્તી હોવાથી આપણે ઉપર દર્શાવેલ ટૉર્કના સમીકરણમાં $\sin\theta = 1$ લીધું છે. ચુંબકીય ટૉર્ક NIABના કારણે ગૂંચળુ કોણાવર્તન અનુભવે છે. સ્પ્રિંગ S_p વડે વિરુદ્ધ ટૉર્ક $k\phi$ લાગે છે જે ચુંબકીય ટૉર્ક NIABને સમતોલે છે; જેથી સ્થિર કોણાવર્તન ϕ મળે. સંતુલન સ્થિતિમાં

$$k\phi = NIAB$$

જ્યાં k એ સ્પ્રિંગનો બળ અચળાંક છે, એટલે કે, એકમ વળ દીઠ લાગતું પુનઃસ્થાપક ટૉર્ક. સ્પ્રિંગ સાથે જોડાયેલ દર્શક (પોઈન્ટર) કોણાવર્તન ϕ દર્શાવે છે. આમ,

$$\phi = \left(\frac{NAB}{k}\right) I \tag{4.38}$$

આપેલ ગૅલ્વેનોમીટર માટે કૌંસમાંનું પદ અચળ હોય છે.



આકૃતિ 4.24 ચલિત ગુંચળાવાળું ગૅલ્વેનોમીટર. તેના ઘટકોનું વર્ણન લખાણમાં/પુસ્તકમાં કર્યું છે. જરૂરીયાત મુજબ, આ સાધનનો ઉપયોગ વિદ્યુતપ્રવાહની હાજરીની નોંધ લેવા માટે અથવા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય માપવા (એમીટર) કે વીજદબાણ માપવા માટે (વોલ્ટમીટર) તરીકે થઈ શકે છે.

ગૅલ્વેનોમીટરનો ઉપયોગ ઘણી રીતે થઈ શકે છે. તેનો ઉપયોગ કોઈ પરિપથમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતો હોય તો તેની હાજરીની નોંધ લેવા માટે થઈ શકે છે. વ્હિસ્ટન બ્રીજની ગોઠવણીમાં તટસ્થ સ્થાન (Neutral Position) પાસે (જ્યારે ગૅલ્વેનોમીટરમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ ન વહેતો હોય ત્યારે) દર્શક (ગૅલ્વેનોમીટરનું પોઈન્ટર) માપન આંક સ્કેલ પર મધ્યમાં હોય છે અને આકૃતિ 4.24માં બતાવ્યા મુજબ ડાબી બાજુના છેડે હોતો નથી. વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા મુજબ, દર્શકનું કોણાવર્તન જમણી કે ડાબી બાજુ થાય છે.

ગૅલ્વેનોમીટરને વિદ્યુતપ્રવાહ માપવા માટે સીધું જ એમીટર તરીકે પરિપથમાં જોડી ન શકાય. આ માટે બે કારણો છે : (i) ગૅલ્વેનોમીટર ખૂબ જ સંવેદનશીલ સાધન છે, μAના ક્રમના વિદ્યુતપ્રવાહ માટે પણ તે પૂર્ણ સ્કેલ આવર્તન દર્શાવે છે. (ii) વિદ્યુતપ્રવાહ માપવા માટે, ગૅલ્વેનોમીટરના શ્રેણીમાં જોડવું પડે, પરંતુ તેનો અવરોધ વધુ હોય છે, જેથી તે પરિપથમાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય બદલી નાખે છે. આ તકલીફો દૂર કરવા માટે, આપણે નાના અવરોધ r_s, જેને શંટ અવરોધ કહે છે, તે ગૅલ્વેનોમીટરના ગૂંચળાને સમાંતર જોડવો પડે જેથી મોટા ભાગનો વિદ્યુતપ્રવાહ આ શન્ટમાંથી પસાર થઈ જાય. આ વ્યવસ્થાનો અવરોધ

$R_G r_s / (R_G + r_s) \simeq r_s$ થાય, જો $R_G >> r_s$

જો r_sનું મૂલ્ય બાકીના પરિપથના અવરોધ R_G કરતાં પ્રમાણમાં નાનું હોય, તો માપન માટે જોડેલા આ સાધનની અસર ઓછી થાય છે જે અવગણી શકાય. આ વ્યવસ્થાની રૂપરેખા આકૃતિ 4.25માં દર્શાવી છે. આ ઍમીટરનો

સ્કેલ અંકન કરીને દર્શાવેલ છે. જેથી વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય સહેલાઈથી વાંચી શકાય. આપણે ગૅલ્વેનોમીટરની પ્રવાહ સંવેદિતાને એકમ પ્રવાહ દીઠ મળતા આવર્તન વડે વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ. સમીકરણ (4.38) પરથી આ પ્રવાહ સંવેદિતા,

$$\frac{\phi}{I} = \frac{NAB}{k} \qquad (4.39)$$

તેના ઉત્પાદક માટે આ સંવેદિતા વધારવા માટેનો સહેલો ઉપાય એ છે કે આંટાઓની સંખ્યા N વધારવી. આપણે આપણા પ્રયોગમાં જરૂરીયાત મુજબની સંવેદિતાવાળું ગૅલ્વેનોમીટર પસંદ કરીએ છીએ.

ગૅલ્વેનોમીટરનો ઉપયોગ પરિપથના આપેલ ઘટકના બે છેડાઓ વચ્ચે વીજદબાણ માપવા માટે પણ થઈ શકે છે. આ માટે તેને પરિપથના એ વિભાગને સમાંતર જોડવું પડે. આ ઉપરાંત, તે ખૂબ ઓછો વિદ્યુતપ્રવાહ લેતું હોવું જોઈએ, નહીંતર આ વીજદબાણનું માપન મૂળભૂત ગોઠવણીનું મૂલ્ય મોટા પ્રમાણમાં બદલી નાખશે. સામાન્ય રીતે આપણે ઇચ્છીએ કે માપનના સાધન વડે થતો ફેરફાર એક ટકાથી ઓછો હોય. આમ થાય તે માટે, ગૅલ્વેનોમીટરની શ્રેણીમાં એક મોટો અવરોધ R જોડવામાં આવે છે. આ વ્યવસ્થાની રૂપરેખા આકૃતિ 4.26માં દર્શાવી છે. નોંધો કે હવે વોલ્ટમીટરનો અવરોધ

$R_G + R \approx R$: મોટું મૂલ્ય

વોલ્ટમીટરનો સ્કેલ પ્રમાણિત કરીને અંકિત કરવામાં આવે છે કે જેથી વીજદબાણનું મૂલ્ય સહેલાઈથી વાંચી શકાય. આપણે વોલ્ટમીટરની સંવેદિતાને એકમ વોલ્ટ (વીજદબાણ) દીઠ મળતા આવર્તન વડે વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ. સમીકરણ (4.38) પરથી,

$$\frac{\phi}{V} = \left(\frac{NAB}{k}\right)\frac{I}{V} = \left(\frac{NAB}{k}\right)\frac{1}{R} \qquad (4.40)$$

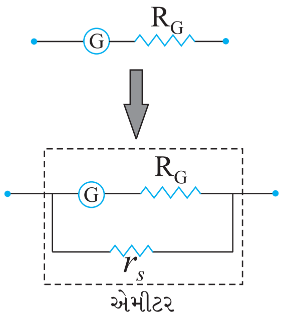
અહીં નોંધવા જેવી રસપ્રદ બાબત એ છે કે પ્રવાહ સંવેદિતા વધારીએ તો વોલ્ટેજ સંવેદિતા વધે એવું જરૂરી નથી. આપણે સમીકરણ (4.39)ને ધ્યાનમાં લઈએ જે પ્રવાહ સંવેદિતા આપે છે. જો $N \rightarrow 2N$, એટલે કે આપણે આંટાઓની સંખ્યા બમણી કરીએ, તો

$$\frac{\phi}{I} \rightarrow 2\frac{\phi}{I}$$

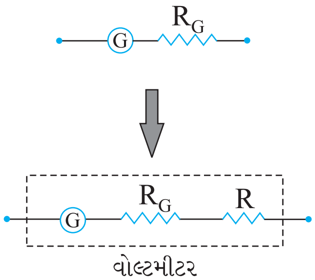
આમ, પ્રવાહ સંવેદિતા વધે છે. પરંતુ, આથી ગૅલ્વોનોમીટરનો અવરોધ પણ બમણો થાય છે, કારણ કે તે તારની લંબાઈ પર આધાર રાખે છે. સમીકરણ (4.40)માં $N \rightarrow 2N$ અને $R \rightarrow 2R$, આથી, વોલ્ટેજ સંવેદિતા,

$$\frac{\phi}{V} \rightarrow \frac{\phi}{V}$$

જે બદલાતી નથી (અચળ રહે છે). આમ સામાન્ય રીતે ગૅલ્વેનોમીટરના ઍમીટરમાં રૂપાંતર માટે જરૂરી બદલાવ એ તેના વોલ્ટમીટરમાં રૂપાંતર માટે જરૂરી બદલાવ કરતાં જુદો હોય છે.



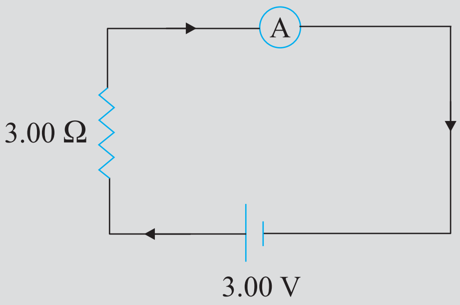
આકૃતિ 4.25 ખૂબ નાના મૂલ્યના શંટ અવરોધ r_sને ગૅલ્વેનોમીટર (G)ને સમાંતર જોડીને તેનું ઍમીટરમાં રૂપાંતર.



આકૃતિ 4.26 મોટા મૂલ્યના અવરોધ Rને ગૅલ્વેનોમીટર (G) સાથે શ્રેણીમાં જોડીને તેનું વૉલ્ટમીટરમાં રૂપાંતર.

ઉદાહરણ 4.13 આપેલ પરિપથ (આકૃતિ 4.27)માં વિદ્યુતપ્રવાહ માપવાનો છે. જો દર્શાવેલ ઍમીટર (a) એ $R_G = 60.00\ \Omega$ અવરોધનું ગૅલ્વેનોમીટર હોય; (b) તે (a)માં દર્શાવ્યા મુજબનું ગૅલ્વેનોમીટર હોય પરંતુ શંટ અવરોધ $r_s = 0.02\ \Omega$ વડે ઍમીટરમાં રૂપાંતર કરેલું હોય, (c) શૂન્ય અવરોધવાળું આદર્શ ઍમીટર હોય, તો વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય કેટલું મળશે ?

ઉદાહરણ 4.13



આકૃતિ 4.27

ઉકેલ

(a) પરિપથનો કુલ અવરોધ

$R_G + 3 = 63\,\Omega$, આથી $I = 3/63 = 0.048\,A$

(b) ઍમીટરમાં રૂપાંતર પામેલ ગૅલ્વેનોમીટરનો અવરોધ

$$\frac{R_G\, r_s}{R_G + r_s} = \frac{60\,\Omega \times 0.02\,\Omega}{(60 + 0.02)\,\Omega} \approx 0.02\,\Omega$$

પરિપથમાં કુલ અવરોધ

$0.02\,\Omega + 3\,\Omega = 3.02\,\Omega$ આથી, $I = 3/3.02 = 0.99\,A$

(c) શૂન્ય અવરોધ વાળા આદર્શ ઍમીટર માટે,

$I = 3/3 = 1.00\,A$.

ઉદાહરણ 4.13

સારાંશ

1. વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રો **E** અને **B**માં **υ** વેગથી ગતિ કરતા વિદ્યુતભાર q પર લાગતું કુલ બળ, લોરેન્ઝ બળ કહેવાય છે. તે નીચેના સૂત્ર મુજબ દર્શાવાય છે :

   $\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \mathbf{E})$

2. બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**માં રહેલો વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત, l લંબાઈનો સીધો તાર F જેટલું બળ અનુભવે છે.

   $F = I\,\boldsymbol{l} \times B$

   જ્યાં $|\boldsymbol{l}| = l$ અને $\boldsymbol{l}$ની દિશા વિદ્યુતપ્રવાહની દિશામાં હોય છે.

3. નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**માં, વિદ્યુતભાર q વર્તુળાકાર કક્ષામાં ફરે છે, જે ચુંબકીયક્ષેત્ર Bને લંબ હોય છે. તેની નિયમિત વર્તુળાકાર ગતિની આવૃત્તિને સાઈક્લોટ્રોન આવૃત્તિ કહે છે, જે

   $$\nu_c = \frac{qB}{2\pi m}$$

   વડે દર્શાવાય છે. આ આવૃત્તિ કણની ઝડપ અને તેની (વર્તુળાકાર માર્ગની) ત્રિજ્યા પર આધાર રાખતી નથી. આ હકીકતનો ઉપયોગ સાઈક્લોટ્રોનમાં થાય છે, જે વિદ્યુતભારોને પ્રવેગિત કરવાનું કાર્ય કરે છે.

4. બાયૉસાવરનો નિયમ દર્શાવે છે કે સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત d$\boldsymbol{l}$ લંબાઈના ખંડને કારણે તેનાથી r અંતરે આવેલા બિંદુ P પાસે ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર d**B** આ મુજબ મળે છે.

   $$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\boldsymbol{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

P બિંદુએ કુલ (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર મેળવવા માટે, આપણે આ સદિશ સૂત્રનું સમગ્ર તારની લંબાઈ પર સંકલન કરવું પડે.

5. વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત, R ત્રિજ્યાના વર્તુળાકાર ગૂંચળા વડે તેની અક્ષ પર તેના કેન્દ્રથી r અંતરે ઉદ્ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

(ગૂંચળાના) કેન્દ્ર પર તેનું મૂલ્ય

$B = \dfrac{\mu_0 I}{2R}$ વડે અપાય છે.

6. ઍમ્પિયરનો સર્કીટલ નિયમ : ધારોકે એક બંધ ગાળા C વડે એક ખુલ્લી સપાટી S ઘેરાયેલી છે, તો ઍમ્પિયરનો નિયમ દર્શાવે છે કે $\oint_c \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$, જ્યાં I એ Sમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ છે. Iનું ચિહ્ન જમણા હાથના નિયમ પરથી મેળવી શકાય છે. આપણે આ નિયમના સરળ સ્વરૂપની ચર્ચા કરી છે. જો **B** બંધ વક્રની પરિમિતિ L પરના દરેક બિંદુએ સ્પર્શકની દિશામાં હોય, અને પરિમિતિ પર દરેક જગ્યાએ તેનું મૂલ્ય એક જ હોય, તો

$$BL = \mu_0 I_e$$

જ્યાં I_e એ બંધ વક્ર વડે ઘેરાયેલો પરિણામી (ચોખ્ખો) વિદ્યુતપ્રવાહ છે.

7. વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત, લાંબા સીધા તારથી R અંતરે ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય

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

જેટલું હોય છે. ક્ષેત્રરેખાઓ તારને સમકેન્દ્રીત વર્તુળો હોય છે.

8. વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત લાંબા સૉલેનોઈડની અંદર ચુંબકીયક્ષેત્ર Bનું મૂલ્ય

$$B = \mu_0 n I$$

જ્યાં, n એ એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા છે.

ટૉરોઈડ માટે આ મૂલ્ય

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

જેટલું મળે છે, જ્યાં N એ કુલ આંટાઓની સંખ્યા અને r એ સરેરાશ ત્રિજ્યા છે.

9. સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહો આકર્ષી અને પ્રતિ-સમાંતર વિદ્યુતપ્રવાહો અપાકર્ષી હોય છે.

10. પાસપાસે વિંટાળેલા N આંટા ધરાવતું, A ક્ષેત્રફળનું તથા વિદ્યુતપ્રવાહ I ધારિત સમતલ ગૂંચળુ, ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) **m** ધરાવે છે, જ્યાં,

$$\mathbf{m} = N I \mathbf{A}$$

અને **m**ની દિશા જમણા-હાથના અંગુઠાના નિયમ પરથી મળે છે :

તમારી હથેળીને ગૂંચળા પર એ રીતે વાળો કે જેથી તમારી આંગળીઓ વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા દર્શાવે. આ સ્થિતિમાં ઊભો અંગુઠો **m** (અને **A**)ની દિશા દર્શાવશે.

જ્યારે આ ગૂંચળાને નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**માં મુકવામાં આવે ત્યારે તેના પર લાગતું બળ F = 0 અને ગૂંચળા પર લાગતું ટૉર્ક,

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

ચલિત ગૂંચળાવાળા ગૅલ્વેનોમીટરમાં, આ ટૉર્કને સ્પ્રિંગ વડે લાગતું વિરોધી ટૉર્ક સમતોલે છે. આથી,

$k\phi = NIAB$ મળે.

જ્યાં, ϕ એ સંતુલન સ્થિતિમાંનું આવર્તન છે અને k એ સ્પ્રિંગનો બળ અચળાંક છે.

11. કેન્દ્રમાં રહેલા ન્યુક્લિઅસની આસપાસ ફરતા (ભ્રમણ કરતા) ઇલેક્ટ્રૉનની ચુંબકીય મોમેન્ટ (ચાકમાત્રા) μ_l નું મૂલ્ય

$$\mu_l = \frac{e}{2m} l$$

જ્યાં, l એ કેન્દ્રમાં રહેલા ન્યૂક્લિઅસની આસપાસ ભ્રમણ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનના કોણીય વેગમાનનું મૂલ્ય છે. μ_l ના લઘુત્તમ મૂલ્યને બોહ્ર મૅગ્નેટોન μ_B કહે છે જેનું મૂલ્ય $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24}$ J/T.

12. ચલિત ગૂંચળાવાળા ગૅલ્વેનોમીટર સાથે શંટ અવરોધ r_s જોડીને તેને ઍમીટરમાં રૂપાંતરીત કરી શકાય છે. તેને (ગૅલ્વેનોમીટરને) શ્રેણીમાં મોટા મૂલ્યનો અવરોધ જોડીને તેનું વોલ્ટમીટરમાં રૂપાંતર કરી શકાય છે.

ભૌતિક રાશિ	સંજ્ઞા	પ્રકાર	પરિમાણ	એકમ	નોંધ
મુક્ત અવકાશની પરમિએબિલીટી	μ_0	અદિશ	$[MLT^{-2}A^{-2}]$	$T\,m\,A^{-1}$	$4\pi \times 10^{-7}\,T\,m\,A^{-1}$
ચુંબકીયક્ષેત્ર	**B**	સદિશ	$[M\,T^{-2}A^{-1}]$	T (ટેસ્લા)	
ચુંબકીય ચાકમત્રા (મોમેન્ટ)	**m**	સદિશ	$[L^2A]$	$A\,m^2$ અથવા J/T	
વળ અચળાંક	k	અદિશ	$[M\,L^2T^{-2}]$	$N\,m\,rad^{-1}$	(MCG)માં ઉપયોગી છે.

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. સ્થિત વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ ધન વિદ્યુતભારમાંથી ઉદ્ભવે છે અને ઋણ વિદ્યુતભારમાં સમાઈ જાય છે અથવા અનંત અંતરે લુપ્ત થઈ જાય છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ હંમેશાં બંધ ગાળા રચે છે.
2. આ પ્રકરણમાં થયેલ ચર્ચા ફક્ત સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહો, જે સમય સાથે બદલાતા નથી તેમને માટે લાગુ પડે છે.

   જ્યારે વિદ્યુતપ્રવાહો બદલાતા હોય ત્યારે ન્યૂટનનો ત્રીજો નિયમ તો જ લાગુ પડે, જો વિદ્યુત ચુંબકીયક્ષેત્ર વડે મળતું વેગમાનનુ વહન ગણતરીમાં લેવામાં આવે.
3. લોરેન્ઝ બળનું સૂત્ર યાદ કરો,

   $\mathbf{F} = q(\boldsymbol{\upsilon} \times \mathbf{B} + \mathbf{E})$

   આ વેગ આધારિત બળે ઘણા બધા મોટા વૈજ્ઞાનિક વિચારકોનું ધ્યાન આકર્ષિત કર્યું છે. જો કોઈ તાત્ક્ષણિક ઝડપ $\boldsymbol{\upsilon}$ થી ગતિ કરતી ફ્રેમ પર જાય તો બળનો ચુંબકીય ભાગ શૂન્ય થાય છે. અહીં વિદ્યુતભારીત કણની ગતિ એ રીતે સમજાવવામાં આવે છે કે નવી ફ્રેમમાં યોગ્ય વિદ્યુતક્ષેત્ર રહેલું છે. આપણે ક્રિયા વિશે વિસ્તારપૂર્વક ચર્ચા નહીં કરીએ. આમ છતાં, આપણે એ ધ્યાનમાં રાખીશું કે આ વિરોધાભાસનો ઉકેલ એ છે કે વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ એકબીજા સાથે સંકળાયેલી ઘટનાઓ (વિદ્યુત ચુંબકત્વ) છે અને લોરેન્ઝ બળનું સૂત્ર કુદરતમાં કોઈ સાર્વત્રિક પસંદગી પામેલ રેફરન્સ ફ્રેમને દર્શાવતું નથી.
4. ઍમ્પિયરનો સર્કીટલ નિયમ, બાયૉસાવરના નિયમથી સ્વતંત્ર નથી. તેને બાયો સાવરના નિયમ પરથી તારવી શકાય છે. તેનો બાયૉસાવરના નિયમ સાથેનો સંબંધ, ગૉસના નિયમ અને કુલંબના નિયમ વચ્ચેના સંબંધ જેવો છે.

સ્વાધ્યાય

4.1 8.0 cm ત્રિજ્યા વાળા 100 આંટા ધરાવતા, તારના એક વર્તુળાકાર ગૂંચળામાંથી 0.40 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. ગૂંચળાના કેન્દ્ર પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

4.2 એક લાંબા સીધા તારમાંથી 35 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. તારથી 20 cm અંતરે રહેલા કોઈ બિંદુ પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

4.3 સમક્ષિતિજ સમતલમાં રહેલા એક લાંબા સીધા તારમાંથી 50 A જેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ, ઉત્તરથી દક્ષિણ દિશા તરફ વહે છે. તારની પૂર્વમાં 2.5 m અંતરે આવેલા કોઈ બિંદુ પાસે **B**નું મૂલ્ય અને દિશા શોધો.

4.4 માથા પરથી પસાર થતા વીજળીના તારમાંથી 90 A વિદ્યુતપ્રવાહ પૂર્વથી પશ્ચિમ દિશા તરફ વહે છે. આ તારથી 1.5 m નીચે ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય અને દિશા શું હશે ?

4.5 0.15 Tના નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે 30° કોણ બનાવતી દિશામાં રહેલા તારમાંથી 8 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. આ તાર પર લાગતા ચુંબકીય બળનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

4.6 3.0 cm લંબાઈના તારમાંથી 10 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે, જેને એક સૉલેનોઈડમાં તેની અક્ષને લંબરૂપે મુકેલો છે. સૉલેનોઈડની અંદર ચુંબકીયક્ષેત્ર 0.27 T આપેલ છે. તાર પર કેટલું ચુંબકીય બળ લાગતું હશે ?

4.7 4 cm અંતરે રહેલા, બે લાંબા સીધા અને સમાંતર તાર A અને Bમાંથી 8.0 A અને 5.0 A વિદ્યુતપ્રવાહો એક જ (સમાન) દિશામાં વહે છે. તાર Aના 10 cm લંબાઈના વિભાગ પર લાગતું બળ શોધો.

4.8 80 cm લંબાઈના એક સૉલેનોઈડ પર પાસ-પાસે દરેક 400 આંટા વાળા 5 આવરણ વિંટાળ્યા છે. સૉલેનોઈડનો વ્યાસ 1.8 cm છે. જો સૉલેનોઈડમાં 8.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો હોય, તો તેના કેન્દ્ર પાસે **B**નું મૂલ્ય શોધો.

4.9 10 cm બાજુઓ વાળા એક ચોરસ ગૂંચળાને 20 આંટા છે અને તેમાંથી 12 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. આ ગૂંચળુ શિરોલંબ લટકાવેલું છે અને ગૂંચળાના સમતલનો લંબ 0.80 T મૂલ્યના સમક્ષિતિજ નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે 30° કોણ બનાવે છે. ગૂંચળું કેટલા મૂલ્યનું ટૉર્ક અનુભવશે ?

4.10 બે ચલિત ગૂંચળાવાળા મીટરો M_1 અને M_2ની વિગત આ મુજબ છે :

$R_1 = 10\,\Omega, N_1 = 30,$
$A_1 = 3.6 \times 10^{-3}\,m^2, B_1 = 0.25\,T$
$R_2 = 14\,\Omega, N_2 = 42,$
$A_2 = 1.8 \times 10^{-3}\,m^2, B_2 = 0.50\,T$
(બંને મીટર માટે સ્પ્રિંગ અચળાંક સરખા છે.)

M_1 અને M_2 માટે, (*a*) વિદ્યુતપ્રવાહ સંવેદિતાનો ગુણોત્તર, અને (*b*) વોલ્ટેજ સંવેદિતાનો ગુણોત્તર શોધો.

4.11 એક ઓરડામાં, 6.5 G ($1\,G = 10^{-4}\,T$) જેટલું નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર રાખેલું છે. આ ક્ષેત્રમાં લંબ રૂપે એક ઈલેક્ટ્રૉન $4.8 \times 10^{6}\,m\,s^{-1}$ ઝડપે છોડવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રૉનનો માર્ગ વર્તુળાકાર કેમ હશે તે સમજાવો. વર્તુળાકાર કક્ષાની ત્રિજ્યા શોધો.

($e = 1.6 \times 10^{-19}\,C, m_e = 9.1 \times 10^{-31}\,kg$)

4.12 સ્વાધ્યાય 4.11માં વર્તુળાકાર કક્ષામાં ઈલેક્ટ્રૉનના ભ્રમણની આવૃત્તિ શોધો. શું આ જવાબ ઈલેક્ટ્રૉનની ઝડપ પર આધાર રાખે છે ? સમજાવો.

4.13 (a) 1.0 T જેટલા નિયમિત સમક્ષિતિજ ચુંબકીયક્ષેત્રમાં 8.0 cm ત્રિજ્યા અને 30 આંટા ધરાવતું વર્તુળાકાર ગૂંચળુ લટકાવેલ છે, જેમાંથી 6.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. ક્ષેત્રરેખાઓ ગૂંચળાના લંબ સાથે 60° કોણ બનાવે છે. ગૂંચળાનું આવર્તન ન થાય તે માટે તેના પર લગાડવા પડતા જરૂરી વિરુદ્ધ દિશાના ટૉર્કનું મૂલ્ય શોધો.

(b) જો (a)માં દર્શાવેલ ગૂંચળાની જગ્યાએ અનિયમિત આકારનું બીજુ કોઈ સમતલ ગૂંચળુ રાખવામાં આવે કે જેનું ક્ષેત્રફળ પણ એટલું જ હોય તો તમારો જવાબ બદલાશે ? (બાકીની બીજી વિગતોમાં કોઈ ફેરફાર કર્યો નથી).

વધારાના સ્વાધ્યાય

4.14 બે સમકેન્દ્રિત વર્તુળાકાર ગૂંચળાઓ X અને Yની ત્રિજ્યા અનુક્રમે 16 cm અને 10 cm છે, જે ઉત્તરથી દક્ષિણ દિશામાં રહેલા એક જ શિરોલંબ સમતલમાં રહેલા છે. ગૂંચળા Xને 20 આંટા છે અને તેમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ 16 A છે; જ્યારે ગૂંચળા Yને 25 આંટા છે અને તેમાંથી 18 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. પશ્ચિમ તરફ મોઢું રાખીને ઊભેલા અવલોકનકારની દૃષ્ટિએ Xમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ વિષમ ઘડી અને Yમાંથી સમઘડી દિશામાં છે. આ ગૂંચળાઓ વડે તેમના કેન્દ્ર પાસે ઉદ્‌ભવતા પરિણામી (ચોખ્ખા) ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય અને દિશા શોધો.

4.15 10 cm લંબાઈ અને $10^{-3}\ m^2$ આડછેદના ક્ષેત્રફળ ધરાવતા વિસ્તારમાં 100 G ($1\ G = 10^{-4}\ T$) જેટલું નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર જરૂરી છે. એક ગૂંચળાના તારની મહત્તમ વિદ્યુતપ્રવાહ ધારણ-ક્ષમતા 15 A છે તથા તેના કેન્દ્ર (Core)ની આસપાસ એકમ લંબાઈ દીઠ વધુમાં વધુ 1000 આંટા / m વીંટાળી શકાય છે. આ માટે જરૂરી એવા સૉલેનોઈડની યોગ્ય રચના સમજાવો. ધારો કે તેના કેન્દ્રમાં (Core માં) ફેરોમેગ્નેટીક નથી.

4.16 R ત્રિજ્યા અને N આંટા ધરાવતા એક વર્તુળાકાર ગૂંચળામાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ I પસાર થાય છે; અને તેની અક્ષ પર તેના કેન્દ્રથી x અંતરે ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય

$$B = \frac{\mu_0 I R^2 N}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$ જેટલું છે.

(a) દર્શાવો કે ગૂંચળાના કેન્દ્ર પાસે આ સમીકરણ જાણીતા સમીકરણ જેવું બને છે.

(b) બે સમાંતર, એક અક્ષ પર આવેલા સમાન ત્રિજ્યા Rના ગૂંચળા વિચારો, જેમના આંટાની સંખ્યા N છે, તથા એક સમાન દિશામાં સમાન વિદ્યુતપ્રવાહ ધરાવે છે, અને તેમની વચ્ચેનું અંતર પણ R છે. દર્શાવો કે બે ગૂંચળાના મધ્યમાં, તેમની અક્ષ પર આવેલા બિંદુની આસપાસ Rની સરખામણીમાં નાના અંતર સુધી ચુંબકીયક્ષેત્ર નિયમિત હશે, જે લગભગ

$$B = 0.72\,\frac{\mu_0 N I}{R}$$, વડે દર્શાવી શકાય.

[અમુક નાના અંતર સુધી નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરી શકતી આ ગોઠવણીને હેલ્મહોલ્ટ્ઝ ગૂંચળા કહે છે.]

4.17 25 cm આંતરિક ત્રિજ્યા અને 26 cm બહારની ત્રિજ્યા ધરાવતા એક ટૉરોઈડના Core (ગર્ભ-જે ફેરોમેગ્નેટીક નથી)ની આસપાસ તારના 3500 આંટા વીંટાળેલા છે. જો તાર માંથી 11 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતો હોય, તો

(a) ટૉરોઈડની બહાર,

(b) ટૉરોઈડના Coreની અંદર, અને

(c) ટૉરોઈડ વડે ઘેરાયેલી ખાલી જગ્યામાં, ચુંબકીયક્ષેત્ર કેટલું હશે ?

4.18 આપેલા પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

(a) એક ચેમ્બરમાં એવુ ચુંબકીયક્ષેત્ર પ્રસ્થાપિત કરેલ છે કે જે જુદા જુદા બિંદુએ જુદુ હોય પરંતુ તેની દિશા એક જ હોય (પૂર્વથી પશ્ચિમ). એક વિદ્યુતભારિત કણ આ ચેમ્બરમાં દાખલ થાય છે અને આવર્તન અનુભવ્યા વગર અચળ ઝડપે સુરેખ માર્ગે પસાર થાય છે. આ કણના પ્રારંભિક વેગ વિશે તમે શું કહેશો ?

(b) તીવ્ર અને અનિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ધરાવતા વાતાવરણમાં ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય અને દિશા જુદા જુદા બિંદુએ જુદા જુદા છે, તેમાં એક વિદ્યુતભારિત કણ દાખલ થાય છે અને જટિલ માર્ગે બહાર આવે છે. જો તેણે આ વાતાવરણ સાથે કોઈ પણ અથડામણ ન અનુભવી હોય તો શું તેની અંતિમ ઝડપ, તેની પ્રારંભિક ઝડપ જેટલી હશે ?

(c) પશ્ચિમથી પૂર્વ તરફ ગતિ કરતો એક ઈલેક્ટ્રૉન ઉત્તરથી દક્ષિણ દિશામાં નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ધરાવતી ચેમ્બરમાં દાખલ થાય છે. નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રને કઈ દિશામાં લગાડવું જોઈએ કે જેથી ઈલેક્ટ્રૉન કોઈ પણ કોણાવર્તન અનુભવ્યા વગર સીધી રેખામાં ગતિ કરે ?

4.19 કૅથોડ ગરમ થવાથી ઉત્સર્જાયેલ એક ઈલેક્ટ્રૉન, 2.0 kV વિદ્યુત સ્થિતિમાન તફાવત વડે પ્રવેગિત થઈને, 0.15 T જેટલા નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રના વિસ્તારમાં દાખલ થાય છે. જો આ ક્ષેત્ર,

(a) પ્રારંભિક વેગને લંબ રૂપે હોય,

(b) પ્રારંભિક વેગ સાથે 30° કોણ બનાવતું હોય, તો ઈલેક્ટ્રૉનના ગતિ પથની ગણતરી કરો.

4.20 હેલ્મહોલ્ટ્ઝ ગૂંચળાઓ (સ્વાધ્યાય 4.16માં દર્શાવેલ)ની મદદથી નાના વિસ્તારમાં 0.75 T મૂલ્યનું નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરવામાં આવ્યું છે. આ જ વિસ્તારમાં, ગૂંચળાઓની સામાન્ય અક્ષને લંબ રૂપે નિયમિત સ્થિર વિદ્યુતક્ષેત્ર જાળવી રાખવામાં આવે છે. 15 kV વડે પ્રવેગિત થયેલ (એક જ પ્રકારના) વિદ્યુતભારિત કણોની એક સાંકડી કિરણાવલી આ વિસ્તારમાં બંને ગૂંચળાઓની અક્ષ તથા સ્થિર વિદ્યુતક્ષેત્ર બંનેને લંબરૂપે દાખલ થાય છે. જો 9.0×10^{-5} Vm^{-1} જેટલા સ્થિર વિદ્યુતક્ષેત્રમાં આ કિરણાવલી આવર્તન ન અનુભવે તો વિચારો કે આ કિરણાવલી શાની બનેલી હશે ? શા માટે જવાબ અજોડ નથી ?

4.21 0.45 m લંબાઈ અને 60 g દળનો એક સીધો વાહક સળીયો તેના છેડે બાંધેલા બે તાર વડે સમક્ષિતિજ લટકાવેલો છે. આ તારોમાં થઈને સળીયામાં 5.0 A જેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે.

(a) આ વાહક સળીયાને લંબરૂપે કેટલું ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરવું જોઈએ કે જેથી (લટકાવેલ) તારોમાં તણાવ (Tension) શૂન્ય થાય ?

(b) જો ચુંબકીયક્ષેત્ર એમ જ રહેવા દઈને વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઉલટાવવામાં આવે તો તારોમાં કુલ ટેન્શન (તણાવ) કેટલું હશે ? (તારોનું દળ અવગણો). $g = 9.8\ m\,s^{-2}$.

4.22 કારની બૅટરીને તેને ચાલુ કરતી મોટર સાથે જોડતા તાર 300 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહન કરે છે (થોડાક સમય માટે). આ તાર 70 cm લાંબા હોય અને તેમની વચ્ચેનું અંતર 1.5 cm હોય તો એકમ લંબાઈ દીઠ આ તારો વચ્ચે લાગતું બળ કેટલું હશે ? આ બળ આકર્ષી કે અપાકર્ષી હશે ?

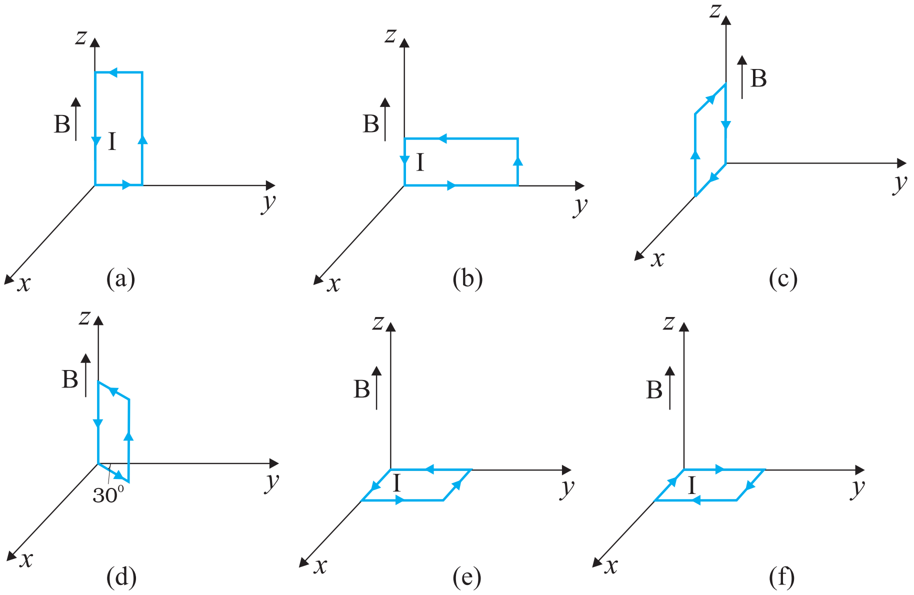
4.23 10.0 cm ત્રિજ્યાના નળાકાર વિસ્તારમાં 1.5 T જેટલું નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર છે જેની દિશા તેની અક્ષને સમાંતર પૂર્વથી પશ્ચિમ તરફ છે. 7.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ ધારીત એક તાર આ વિસ્તારમાંથી ઉત્તરથી દક્ષિણ તરફ પસાર થાય છે. જો

(a) તાર આ અક્ષને છેદે,

(b) તારને ઉત્તર-દક્ષિણની જગ્યાએ ઉત્તરપૂર્વ-દક્ષિણ પશ્ચિમ દિશા તરફ ફેરવવામાં આવે (લઈ જવામાં આવે),

(c) ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં રહેલા તારને અક્ષથી 6.0 cm જેટલો નીચે લેવામાં આવે, તો આ પરિસ્થિતિઓમાં તાર પર લાગતા (ચુંબકીય) બળનું મૂલ્ય અને દિશા શું હશે ?

4.24 3000 G જેટલું નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર ધન z-અક્ષની દિશામાં ઉત્પન્ન કરેલું છે. 10 cm અને 5 cm બાજુઓ વાળા એક લંબચોરસ ગૂંચળામાંથી 12 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે. આકૃતિ 4.28માં દર્શાવેલ જુદા જુદા કિસ્સાઓમાં ગૂંચળા પર લાગતું ટૉર્ક કેટલું હશે ? દરેક કિસ્સામાં કેટલું બળ લાગતું હશે ? કયો કિસ્સો સ્થાયી સંતુલન દર્શાવે છે ?



આકૃતિ 4.28

4.25 20 આંટા અને 10 cm ત્રિજ્યા ધરાવતું એક વર્તુળાકાર ગૂંચળું, તેનું સમતલ 0.10 Tના નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રને લંબરૂપે રહે તે રીતે મુકેલું છે. જો ગૂંચળામાં 5.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો હોય, તો

(a) ગૂંચળા પરનું કુલ ટૉર્ક,

(b) ગૂંચળા પરનું કુલ બળ,

(c) ચુંબકીયક્ષેત્રના કારણે ગૂંચળાના તારમાંના દરેક ઇલેક્ટ્રૉન પર લાગતું સરેરાશ બળ કેટલું હશે ?

(ગૂંચળું તાંબાના તારમાંથી બનેલું છે, જેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 10^{-5} m^2 છે, અને તાંબા માટે મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતા 6×10^{29} m^{-3} જેટલી આપેલ છે.)

4.26 60 cm લંબાઈ અને 4.0 cm ત્રિજ્યા ધરાવતા સૉલેનોઈડમાં દરેક 300 આંટાના હોય તેવા 3 સ્તર વિંટાળ્યા છે. 2.5 g દળ અને 2.0 cm લંબાઈનો એક તાર સૉલેનોઈડમાં (તેના કેન્દ્ર પાસે) અક્ષને લંબરૂપે રહેલો છે; તાર અને સૉલેનોઈડની અક્ષ બંને સમક્ષિતિજ સમતલમાં છે. આ તારને અક્ષને સમાંતર બે છેડાઓ વડે બાહ્ય બૅટરી સાથે જોડેલો છે, જેથી તારમાં 6.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે. સૉલેનોઈડના આંટાઓમાંથી કેટલા મૂલ્યનો પ્રવાહ (વહનની યોગ્ય દિશા સાથે) વહન થવો જોઈએ કે જે તારના વજનને સમતોલે ? $g = 9.8\,m\,s^{-2}$.

4.27 ગૅલ્વેનોમીટરના ગૂંચળાનો અવરોધ 12 Ω છે અને 3 mA વિદ્યુતપ્રવાહ માટે તે પૂર્ણ સ્કેલનું આવર્તન દર્શાવે છે. આ મીટરને 0થી 18 Vની અવધિના વોલ્ટમીટરમાં તમે કેવી રીતે રૂપાંતરીત કરશો ?

4.28 ગૅલ્વેનોમીટરના ગૂંચળાનો અવરોધ 15 Ω છે અને 4 mA વિદ્યુતપ્રવાહ માટે તે પૂર્ણ સ્કેલનું આવર્તન દર્શાવે છે. તેને 0 થી 6 A અવધિના ઍમીટરમાં તમે કેવી રીતે રૂપાંતરિત કરશો ?

પ્રકરણ પાંચ

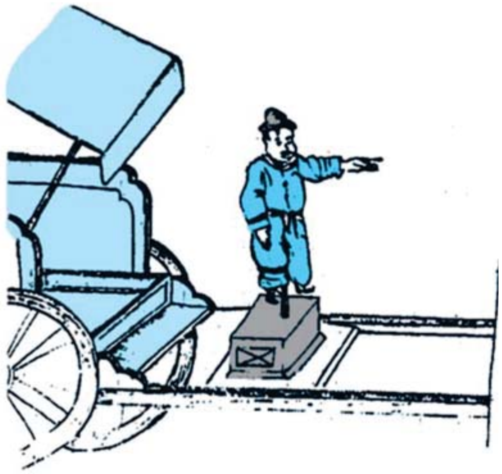
ચુંબકત્વ અને દ્રવ્ય (MAGNETISM AND MATTER)

5.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

ચુંબકીય ઘટનાઓ કુદરતમાં સાર્વત્રિક છે. ખૂબ દૂર રહેલી વિશાળ આકાશગંગાઓ, જોઈ ન શકાય એટલા નાના પરમાણુઓ, માનવો અને અન્ય સજીવો (Beasts) બધામાં વિવિધ ઉદ્‌ગમો દ્વારા ઉત્પન્ન ચુંબકીયક્ષેત્રો વ્યાપ્ત છે. પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ મનુષ્યની ઉત્ક્રાંતિ પહેલાંથી અસ્તિત્વ ધરાવે છે. મેગ્નેટ (ચુંબક) શબ્દ ગ્રીસમાં આવેલા મેગ્નેશિયા નામના ટાપુ પરથી આવ્યો છે, જ્યાં છેક ઈ.સ. પૂર્વે 600ના ગાળામાં ચુંબકીય ખનિજો મળી આવ્યા હતા. આ ટાપુ પર રહેતા ભરવાડો ફરિયાદ કરતા હતા કે તેમના લાકડાના બુટ (જેમાં ખીલીઓ હતી તે) જમીન સાથે ચોંટી જતા હતા. તેમની લોખંડની અણીવાળી લાકડીઓ સાથે પણ આમ જ થતું હતું. ચુંબકોની આકર્ષવાની આ પ્રકૃતિના કારણે તેમને એક જગ્યાએથી બીજે જવામાં પણ મુશ્કેલી પડતી હતી.

ચુંબકોનો દિશા દર્શાવવાનો ગુણધર્મ પણ જુના જમાનાથી જાણીતો હતો. ચુંબકના એક લાંબા પાતળા ટુકડાને મુક્ત રીતે લટકાવવામાં આવે ત્યારે તે ઉત્તર-દક્ષિણ દિશા દર્શાવે છે. જ્યારે તેને બુચના ટુકડા પર મુકીને તેને સ્થિર પાણી પર તરતો મુકવામાં આવે ત્યારે પણ આવી જ અસર જોવા મળતી હતી. કુદરતી રીતે મળી આવતા આયર્ન મેગ્નેટાઇટના ખનિજોને લોહચુંબક એવું નામ આપવામાં આવ્યું. જેનો અર્થ ચુંબકીય પથ્થર થાય છે. આ ગુણધર્મનો પ્રૌદ્યોગિકી ઉપયોગ કરવાનું માન સામાન્યતઃ ચીનના લોકોને મળે છે. ઈ.સ. પૂર્વે 400ના અરસાના ચાઈનીઝ લખાણો ચુંબકીય સોયના વહાણવટામાં દિશાસૂચનમાં ઉપયોગ વિશે ઉલ્લેખ ધરાવે છે. ગોબીનું રણ પાર કરનારા વણઝારાઓ પણ ચુંબકીય સોયનો ઉપયોગ કરતા હતા.

ચીનની એક દંતકથામાં લગભગ ચાર હજાર વર્ષ પહેલાં હુઆંગ-ટી (Huang-ti) નામના સમ્રાટે મેળવેલ જીત માટે તે તેના કસબીઓનો (જેમને અત્યારે આપણે ઈજનેરો કહીએ છીએ) આભાર માને છે,



આકૃતિ 5.1 આ રથની કાલ્પનિક રૂપરેખા દર્શાવી છે. આ પ્રતિમા એવી રીતે ફરી શકતી હતી કે પ્રતિમાની આંગળી હંમેશા દક્ષિણ દિશામાં જ રહે. આ રથની મદદથી, હુઆંગ-ટીના લશ્કરે ઘટ્ટ ધુમ્મસમાં પણ દુશ્મન પર પાછળથી હુમલો કરીને તેમને પરાજીત કર્યું હતું.

તેવી વાર્તા આવે છે. આ ઇજનેરોએ એક રથ બનાવ્યો હતો, જેના પર તેમણે પહોળા, હાથ કરેલ એક ચુંબકીય પ્રતિમા મુકી હતી. આકૃતિ 5.1માં આ રથની કાલ્પનિક રૂપરેખા દર્શાવી છે. આ પ્રતિમા એવી રીતે ફરી શકતી હતી કે પ્રતિમાની આંગળી હંમેશા દક્ષિણ દિશા જ દર્શાવે. આ રથની મદદથી, હુઆંગ-ટીના લશ્કરે ગાઢ ધુમ્મસમાં પણ દુશ્મન પર પાછળથી હુમલો કરીને તેને પરાજીત કર્યુ હતું.

અગાઉના પ્રકરણમાં આપણે શીખ્યા કે, ગતિમાન વિદ્યુતભારો કે વિદ્યુતપ્રવાહો ચુંબકીયક્ષેત્રો ઉત્પન્ન કરે છે. ઓગણીસમી સદીની શરૂઆતમાં આ શોધ કરવા માટેનું માન બીજા બધા સાથે ઑર્સ્ટેડ, ઍમ્પિયર, બાયો અને સાવરને પણ જાય છે.

આ પ્રકરણમાં આપણે ચુંબકત્વનો એક સ્વતંત્ર વિષય તરીકે અભ્યાસ કરીશું. ચુંબકત્વ વિશે જાણીતા કેટલાક ખ્યાલો આ મુજબ છે :

(i) પૃથ્વી ચુંબક તરીકે વર્તે છે, જેનું ચુંબકીયક્ષેત્ર લગભગ ભૌગોલિક દક્ષિણથી ઉત્તર તરફ હોય છે.

(ii) જ્યારે ગજિયા ચુંબકને મુક્ત રીતે લટકાવવામાં આવે ત્યારે તે ઉત્તર-દક્ષિણ દિશા દર્શાવે છે. જે છેડો ભૌગોલિક ઉત્તર તરફ રહે તેને ચુંબકનો ઉત્તર ધ્રુવ કહે છે અને જે છેડો ભૌગોલિક દક્ષિણ તરફ રહે તેને ચુંબકનો દક્ષિણ ધ્રુવ કહે છે.

(iii) જ્યારે બે ચુંબકોના (બંને) ઉત્તર ધ્રુવો (કે દક્ષિણ ધ્રુવો) એકબીજાની નજીક લાવવામાં આવે ત્યારે તેમની વચ્ચે અપાકર્ષી બળ લાગે છે. તેથી ઉલટું, જ્યારે એક ચુંબકના ઉત્તર ધ્રુવ પાસે બીજા ચુંબકનો દક્ષિણ ધ્રુવ લાવવામાં આવે ત્યારે તે આકર્ષે છે.

(iv) આપણે ચુંબકના ઉત્તર કે દક્ષિણ ધ્રુવને જુદા પાડી શકતા નથી. જો આપણે ગજિયા ચુંબકના બે સમાન ટુકડા કરીએ તો આપણને આવા જ બે ગજિયા ચુંબક મળે છે. જેમના ચુંબકીય ગુણધર્મો થોડા નબળા હોય છે. વિદ્યુતભારોના કિસ્સાથી વિરૂદ્ધ સ્વતંત્ર ઉત્તરધ્રુવ અને દક્ષિણધ્રુવ એટલે કે ચુંબકીય એક ધ્રુવીઓ (Magnetic Monopole) અસ્તિત્વ ધરાવતી નથી.

(v) લોખંડ અને તેની મિશ્રધાતુઓ (Alloys)માંથી ચુંબકો બનાવી શકાય છે.

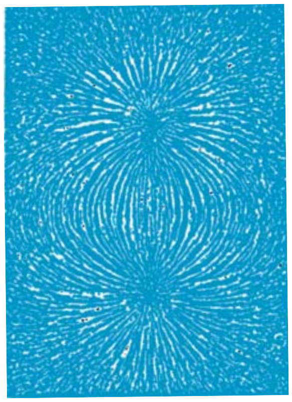
આપણે ગજિયા ચુંબકના વર્ણન અને બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્રમાં તેની વર્તણૂંક વિશેની સમજથી શરૂઆત કરીશું. આપણે ચુંબકત્વ માટેના ગૉસના નિયમની સમજૂતી આપીશું. ત્યાર બાદ આપણે પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્ર વિશે માહિતી આપીશું. બાદમાં દ્રવ્યોને તેમના ચુંબકીય ગુણધર્મોના આધારે કેવી રીતે વર્ગીકૃત કરી શકાય તે જણાવીશું. આપણે પેરા-, ડાયા-, અને ફેરોમેગ્નેટિઝમ વર્ણવીશું. અંતના પરિચ્છેદમાં આપણે વિદ્યુત ચુંબકો (ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટસ) અને કાયમી ચુંબકો પરના પરિચ્છેદથી સમાપન કરીશું.

5.2 ગજિયો ચુંબક (The Bar magnet)

વિખ્યાત ભૌતિકશાસ્ત્રી આઇનસ્ટાઇનને બાળપણમાં તેમના કોઈ સંબંધીએ ભેટમાં આપેલ એક ચુંબક બાળપણની યાદગીરી હતી. આઇનસ્ટાઇન તેનાથી ખૂબ જ પ્રભાવિત થયા હતા અને તેના વડે સતત રમ્યા કરતા હતા. તેમને એ વાતનું આશ્ચર્ય થતું હતું કે કોઈ સ્પ્રિંગ કે દોરી બાંધ્યા સિવાય આ ચુંબક કેવી રીતે દુર રહેલી લોખંડની ખીલીઓ કે ટાંકણીઓને આકર્ષે છે.

આપણે અભ્યાસની શરૂઆતમાં એ જોઈએ કે, એક નાના ગજિયા ચુંબક પર મુકેલા કાચ પર લોખંડની ભૂકી ભભરાવીએ તો શું થાય છે. લોખંડની ભૂકીની ગોઠવણી (ભાત) આકૃતિ 5.2માં દર્શાવી છે.

લોખંડની ભૂકીની ગોઠવણીની ભાત દર્શાવે છે કે વિદ્યુત ડાયપોલ (દ્વિધ્રુવી)ના ધન અને ઋણ વિદ્યુતભારની જેમ ચુંબકને પણ બે ધ્રુવો છે. પ્રસ્તાવનામાં જણાવ્યા મુજબ એક ધ્રુવને ઉત્તરધ્રુવ વડે દર્શાવાય છે અને બીજાને દક્ષિણધ્રુવ તરીકે. જ્યારે તેને મુક્ત રીતે લટકાવવામાં આવે, ત્યારે આ ધ્રુવો અનુક્રમે લગભગ ભૌગોલિક ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો તરફ ગોઠવાય છે. લોખંડની ભૂકીની આવી જ ગોઠવણીની ભાત વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત સૉલોનોઇડની આસપાસ જોવા મળે છે.



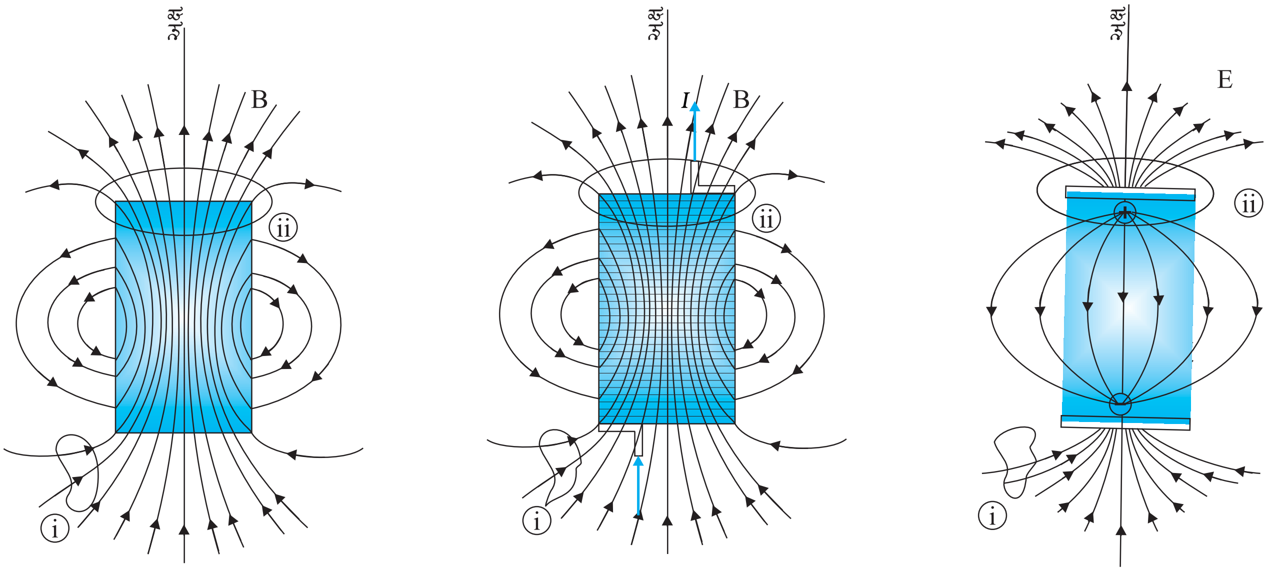
આકૃતિ 5.2 ગજિયા ચુંબકની આસપાસ લોખંડની ભૂકીની ગોઠવણી. ગોઠવણીની ભાત ચૂંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ દર્શાવે છે. ભાત દર્શાવે છે કે ગજિયો ચુંબક એક ચુંબકીય દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ) છે.

5.2.1 ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ (The Magnetic Field Lines)

લોખંડની ભૂકીની ગોઠવણીની ભાત આપણને ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ દોરવા પ્રેરે છે*. ગજિયા ચુંબક અને વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત સૉલેનોઇડ માટે આ આકૃતિ 5.3માં દર્શાવેલ છે. સરખામણી માટે પ્રકરણ-1ની આકૃતિ 1.17(d) જુઓ. વિદ્યુત ડાયપોલ (દ્વિધ્રુવી)ની વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ પણ આકૃતિ 5.3(c)માં દર્શાવી છે. ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રની દર્શનીય અને આગવી રજુઆત છે. તેમના ગુણધર્મો આ મુજબ છે :

(i) કોઈ એક ચુંબક (કે સૉલેનોઇડ)ની ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ સતત બંધ ગાળા રચે છે. આ બાબત વિદ્યુત ડાયપોલ કે જેમાં ક્ષેત્ર રેખાઓ ધન વિદ્યુતભારમાંથી ઉદ્‌ભવતી હોય અને ઋણ વિદ્યુતભારમાં અંત પામતી હોય અથવા અનંત સુધી ફેલાતી હોય તેના જેવી નથી.

(ii) ક્ષેત્ર રેખાઓ પર કોઈ બિંદુએ દોરેલ સ્પર્શક તે બિંદુએ પરિણામી ચુંબકીયક્ષેત્ર Bની દિશા દર્શાવે છે.



આકૃતિ 5.3 (a) ગજિયા ચુંબક, (b) વિદ્યુત પ્રવાહ ધારિત પરિમિત સૉલેનોઇડ, અને (c) વિદ્યુત ડાયપોલની ક્ષેત્ર રેખાઓ. દૂરના અંતરે ક્ષેત્ર રેખાઓ ઘણી સામ્યતા ધરાવે છે. (i) અને (ii) વડે દર્શાવેલ વક્રો બંધ ગૉસિયન પૃષ્ઠ દર્શાવે છે.

* કેટલાક પાઠ્યપુસ્તકોમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓને ચુંબકીય બળ રેખાઓ કહેવામાં આવે છે. આ નામકરણ અહીં અવગણવામાં આવ્યું છે, કારણ કે તેથી ગુંચવણ ઊભી થઈ શકે. સ્થિત વિદ્યુતથી વિપરિત ચુંબકત્વમાં ક્ષેત્ર રેખાઓ (ગતિ કરતા) વિદ્યુતભાર પર લાગતા બળની દિશા દર્શાવતી નથી.

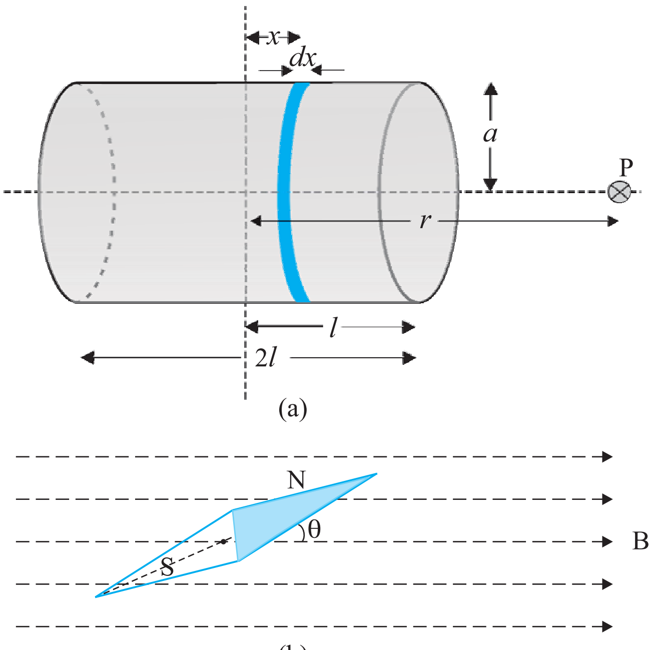
(iii) જેમ એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતી ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા વધુ તેમ ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**નું મૂલ્ય મોટું. આકૃતિ 5.3(a)માં, વિસ્તાર ⓘ કરતાં વિસ્તાર ⓘⓘ પાસે **B** મોટું છે.

(iv) ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ એકબીજીને છેદતી નથી, કારણ કે જો તે છેદે, તો ચુંબકીયક્ષેત્રની દિશા છેદન બિંદુ પાસે અનન્ય ન હોય.

ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ ઘણી રીતે દોરી શકાય છે. એક રીત એ છે જેમાં નાની ચુંબકીય સોયને જુદા જુદા બિંદુઓએ મુકીને તેના નમન (સ્થિતિ)ને નોંધી શકાય. તેના પરથી અવકાશમાં જુદા જુદા બિંદુઓએ ચુંબકીય ક્ષેત્રની દિશા વિશે માહિતી મળે છે.

5.2.2 સૉલેનોઇડને સમતુલ્ય રૂપે ગજિયો ચુંબક (Bar Magnet as an Equivalent Solenoid)

અગાઉના પ્રકરણમાં પરિચ્છેદ 4.10માં આપણે સમજાવ્યું છે કે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળું કેવી રીતે ચુંબકીય ડાયપોલ (દ્વિ-ધ્રુવી) તરીકે વર્તે છે. આપણે ઍમ્પિયરનો અધિતર્ક જણાવ્યો હતો કે દરેક ચુંબકીય ઘટનાઓને વર્તુળમાર્ગી (Circulating, ઘૂમતા) વિદ્યુતપ્રવાહોના રૂપમાં દર્શાવી શકાય છે. યાદ કરો કે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ડાયપોલ ચાકમાત્રા (Magnetic Dipole Moment) **m** ને **m** = NI**A** વડે વ્યાખ્યાયિત કરી હતી, જ્યાં N એ ગૂંચળામાં આંટાઓની સંખ્યા, I વિદ્યુતપ્રવાહ અને **A** ક્ષેત્રફળ સદિશ છે. (સમીકરણ 4.30).



આકૃતિ 5.4 (a) ગજિયા ચુંબક સાથે સામ્યતા દર્શાવવા માટે પરિમિત સૉલેનોઇડના અક્ષીય (ચુંબકીય) ક્ષેત્રની ગણતરી. (b) નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર **B**માં ચુંબકીય સોય. આ રચનાનો ઉપયોગ **B** અથવા ચુંબકીય સોયની ચુંબકીય ચાકમાત્રા **m** ગણવા માટે કરી શકાય.

એક ગજિયા ચુંબક અને એક સૉલેનોઇડની ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓની સામ્યતા દર્શાવે છે કે કોઈ ગજિયા ચુંબકને, સૉલેનોઇડની જેમ મોટી સંખ્યાના વર્તુળમાર્ગી(Circulating) પ્રવાહો તરીકે ગણી શકાય. ગજિયા ચુંબકને અડધેથી કાપવો એ સૉલેનોઇડને કાપવા બરાબર ગણી શકાય. આપણને નબળા ચુંબકીય ગુણધર્મો ધરાવતા બે નાના સૉલેનોઇડ મળે છે. ક્ષેત્ર રેખાઓ સતત હોય છે અને એક સૉલેનોઇડની એક બાજુથી બહાર નીકળીને બીજી બાજુમાં પ્રવેશે છે. આ સામ્યતાની ચકાસણી કરવા, કોઈ (વ્યક્તિ) નાની ચુંબકીય સોયને ગજિયા ચુંબકની પાસે લાવે અને વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત પરિમિત સૉલેનોઇડ પાસે લાવે તો બંને કિસ્સામાં આવર્તન સરખા જોવા મળે છે.

આ સામ્યતા વધુ સુદૃઢ કરવા આપણે આકૃતિ 5.4(a)માં દર્શાવેલ પરિમિત સૉલેનોઇડના અક્ષીય (ચુંબકીય) ક્ષેત્રની ગણતરી કરીએ. આપણે દર્શાવીશું કે મોટા અંતરોએ આ (સૉલેનોઇડનું) અક્ષીય ક્ષેત્ર, ગજિયા ચુંબક વડે મળતા ક્ષેત્ર સાથે મળતું આવે છે.

ધારોકે આકૃતિ 5.4(a)માં દર્શાવેલ સૉલેનૉઇડ એકમ લંબાઈ દીઠ n આંટા ધરાવે છે. ધારોકે તેની લંબાઈ $2l$ અને ત્રિજ્યા a છે. આપણે સૉલેનૉઇડના કેન્દ્ર O થી r અંતરે આવેલા બિંદુ P પાસે અક્ષીય (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર શોધી શકીએ. આ માટે સૉલેનૉઇડના કેન્દ્રથી x અંતરે આવેલ dx લંબાઈનો વર્તુળાકાર ખંડ ધ્યાનમાં લો. તેમાં ndx આંટા આવેલા છે. ધારો કે સૉલેનૉઇડમાં વિદ્યુતપ્રવાહ I વહે છે.

આગળના પ્રકરણના પરિચ્છેદ 4.6માં આપણે વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વર્તુળાકાર ગૂંચળાની અક્ષ પર ચુંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય શોધ્યું હતું. સમીકરણ (4.13) પરથી, વર્તુળાકાર ખંડ વડે P બિંદુએ (ચુંબકીય) ક્ષેત્રનું મૂલ્ય

$$dB = \frac{\mu_0 n dx \, I a^2}{2[(r-x)^2 + a^2]^{3/2}}$$

બધા ખંડ પરનો સરવાળો કરતાં, એટલે કે $x = -l$ થી $x = +l$ સુધી સંકલન કરતાં, કુલ (ચુંબકીય) ક્ષેત્રનું મૂલ્ય મળે. આમ,

$$B = \frac{\mu_0 n I a^2}{2} \int_{-l}^{l} \frac{dx}{[(r-x)^2 + a^2]^{3/2}}$$

આ સંકલન ત્રિકોણમીતિય સૂત્રો મુકવાથી મળી શકે. આમ છતાં, આ સ્વાધ્યાય આપણા હેતુ માટે જરૂરી નથી. નોંધો કે xનો વિસ્તાર $-l$ થી $+l$ સુધી છે. આ સૉલેનોઇડથી દૂર અક્ષીય (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર ધ્યાનમાં લો, એટલે કે $r >> a$ અને $r >> l$ માટે. આથી, છેદમાં આવેલ પદ આશરે આ મુજબ મળે,

$$[(r-x)^2 + a^2]^{3/2} \approx r^3$$

$$\text{અને } B = \frac{\mu_0 n I a^2}{2r^3} \int_{-l}^{l} dx$$

$$= \frac{\mu_0 n I}{2} \frac{2la^2}{r^3} \qquad (5.1)$$

નોંધો કે આ સૉલેનોઇડની મેગ્નેટીક મોમેન્ટ (ચુંબકીય ચાકમાત્રા)નું મૂલ્ય $m = n(2l)\, I(\pi a^2)$ = (કુલ આંટાની સંખ્યા × વિદ્યુતપ્રવાહ × આડછેદનું ક્ષેત્રફળ)

$$\text{આથી, } B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m}{r^3} \qquad (5.2)$$

આ ગજિયા ચુંબકનું મોટા અંતરે અક્ષીય ચુંબકીયક્ષેત્ર પણ છે, જે આપણે પ્રાયોગિક રીતે શોધી શકીએ. આમ, એક ગજિયો ચુંબક અને એક સૉલેનોઇડ સમાન ચુંબકીયક્ષેત્રો ઉત્પન્ન કરે છે. આમ, ગજિયા ચુંબકની મેગ્નેટીક મોમેન્ટ (ચુંબકીય ચાકમાત્રા) એ તેટલું જ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરતા સૉલેનોઇડની મેગ્નેટીક મોમેન્ટ (ચુંબકીય ચાકમાત્રા)ને સમતુલ્ય હોય છે.

કેટલાક પુસ્તકો $2l$ લંબાઇના ગજિયા ચુંબકના ઉત્તર ધ્રુવ સાથે ચુંબકીય ભાર (જેને ધ્રુવની પ્રબળતા પણ કહે છે) $+q_m$ અને દક્ષિણધ્રુવ સાથે $-q_m$ સાંકળે છે, જેથી ચુંબકીય ચાકમાત્રા $q_m(2l)$ મળે. q_m થી r અંતરે ક્ષેત્રની તીવ્રતા $\mu_0 q_m / 4\pi r^2$ વડે દર્શાવાય છે. તે પરથી વિદ્યુત ડાયપોલ (પ્રકરણ-1)ની જેમ, આ ગજિયા ચુંબકની અક્ષ પર અને તેની વિષુવરેખા પર ચુંબકીયક્ષેત્ર મેળવી શકાય છે. આ પદ્ધતિ સરળ અને અસરકારક છે. પરંતુ, ચુંબકીય એકધ્રુવી અસ્તિત્વ ધરાવતાં ન હોવાથી આપણે આ પદ્ધતિને આ કારણથી અવગણી છે.

5.2.3 નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ) (The Dipole in a Uniform Magnetic Field)

લોખંડની ભૂકીની ગોઠવણીની ભાત, એટલે કે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ આપણને ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** વિશે સંનિકટ ખ્યાલ આપે છે. અમુક વખતે આપણને **B**નું ચોક્કસ મૂલ્ય શોધવાની જરૂર પણ પડશે. આ માટે આપણે જાણીતી (જ્ઞાત) ચુંબકીય ચાકમાત્રા **m** અને જડત્વની ચાકમાત્રા $\mathcal{I}$ ધરાવતી ચુંબકીય સોય લઈને તેને ચુંબકીયક્ષેત્રમાં દોલન કરાવવા પડે. આ વ્યવસ્થા આકૃતિ 5.4(b)માં દર્શાવી છે.

આ (ચુંબકીય) સોય પર લાગતું ટૉર્ક [સમીકરણ (4.29) જુઓ],

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \tag{5.3}$$

તેનું મૂલ્ય $\tau = mB\sin\theta$

અહીંયા, τ એ પુનઃસ્થાપક ટૉર્ક છે અને θ એ **m** અને **B** વચ્ચેનો કોણ છે.

આથી સંતુલન સ્થિતિમાં, $\mathcal{I}\dfrac{d^2\theta}{dt^2} = -mB\sin\theta$

mB sinθ સાથેનું ઋણ ચિહ્ન દર્શાવે છે કે પુનઃસ્થાપક ટૉર્ક, આવર્તન કરતા ટૉર્કથી વિરુદ્ધ હોય છે. રેડિયનમાં θના નાના મૂલ્યો માટે, આપણે $\sin\theta \approx \theta$ લખી શકીએ, અને તેથી

$$\mathcal{I}\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mB\theta$$

અથવા $$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mB}{\mathcal{I}}\theta$$

જે સરળ આવર્તગતિ દર્શાવે છે. કોણીય આવૃત્તિનો વર્ગ $\omega^2 = mB/\mathcal{I}$ છે, અને આવર્ત કાળ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\mathcal{I}}{mB}} \tag{5.4}$$

અથવા

$$B = \frac{4\pi^2\mathcal{I}}{mT^2} \tag{5.5}$$

સ્થિત વિદ્યુતની સ્થિતિઊર્જાની જેમ, ચુંબકીય સ્થિતિઊર્જા માટેનું સમીકરણ પણ તે જ રીતે મેળવી શકાય.

ચુંબકીય સ્થિતિઊર્જા U_m આ રીતે દર્શાવી શકાય,

$$U_m = \int \tau(\theta)d\theta$$
$$= \int mB\sin\theta\, d\theta = -mB\cos\theta \tag{5.6}$$
$$= -\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}$$

પ્રકરણ-2માં આપણે ધ્યાન દોર્યું છે કે સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય મૂલ્ય આપણી અનુકુળતા મુજબ નક્કી કરી શકાય. સંકલનના અચળાંકનું મૂલ્ય શૂન્ય ગણીએ તો એનો અર્થ એ કે સ્થિતિઊર્જાનું શૂન્ય મૂલ્ય $\theta = 90^\circ$ એટલે કે જ્યારે (ચુંબકીય) સોય ક્ષેત્રને લંબરૂપે હોય, ત્યારે લીધું છે. સમીકરણ (5.6) દર્શાવે છે કે $\theta = 0^\circ$ (મહત્તમ સ્થાયી સ્થિતિ) માટે સ્થિતિઊર્જા લઘુત્તમ (= −mB) હોય છે અને $\theta = 180^\circ$ (મહત્તમ અસ્થાયી સ્થિતિ) માટે તે મહત્તમ (= +mB) હોય છે.

ઉદાહરણ 5.1 આકૃતિ 5.4(b)માં, ચુંબકીય સોયની ચુંબકીય ચાકમાત્રા 6.7×10^{-2} A m^2 અને જડત્વની ચાકમાત્રા $\mathcal{I} = 7.5\times10^{-6}$ kg m^2 છે. તે 6.70 s માં 10 દોલનો પૂરા કરે છે. ચૂંબકીયક્ષેત્રનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

ઉકેલ દોલનોનો આવર્તકાળ

$$T = \frac{6.70}{10} = 0.67\ \text{s}$$

સમીકરણ (5.5) પરથી,

$$B = \frac{4\pi^2\mathcal{I}}{mT^2}$$
$$= \frac{4\times(3.14)^2\times7.5\times10^{-6}}{6.7\times10^{-2}\times(0.67)^2}$$
$$= 0.01\ \text{T}$$

ઉદાહરણ 5.1

ઉદાહરણ 5.2 એક નાના ગજિયા ચુંબકને તેની અક્ષ 800 G (G = ગૉસ) જેટલા બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્ર સાથે 30° કોણે મુકતાં તે 0.016 Nm જેટલું ટૉર્ક અનુભવે છે. (a) ચુંબકની ચુંબકીય ચાકમાત્રા કેટલી હશે ? (b) તેને મહત્તમ સ્થાયી સ્થિતિમાંથી મહત્તમ અસ્થાયી સ્થિતિમાં લાવવા માટે કેટલું કાર્ય કરવું પડે ? (c) આ ગજિયા ચુંબકની જગ્યાએ તેટલી જ ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવતો સૉલેનોઇડ મુકવામાં આવે છે, જેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ $2 \times 10^{-4}\ m^2$ છે અને 1000 આંટા છે. આ સૉલેનોઇડમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય શોધો. ($1\ G = 10^{-4}\ T$)

ઉકેલ

(a) સમીકરણ (5.3) પરથી, $\tau = m B \sin\theta$, $\theta = 30^\circ$, આથી $\sin\theta = 1/2$

આમ, $0.016 = m \times (800 \times 10^{-4}\ T) \times (1/2)$

$m = 160 \times 2/800 = 0.40\ A\,m^2$

(b) સમીકરણ (5.6) પરથી, $\theta = 0^\circ$ એ મહત્તમ સ્થાયી સ્થિતિ હોય છે અને $\theta = 180^\circ$ એ મહત્તમ અસ્થાયી સ્થિતિ હોય છે. આથી થયેલ કાર્યનું મૂલ્ય

$W = U_m(\theta = 180^\circ) - U_m(\theta = 0^\circ)$

$= 2 m B = 2 \times 0.40 \times 800 \times 10^{-4} = 0.064\ J$

(c) સમીકરણ (4.30) પરથી, $m_s = NIA$. ભાગ (a) પરથી, $m_s = 0.40\ A\,m^2$

$0.40 = 1000 \times I \times 2 \times 10^{-4}$

$I = 0.40 \times 10^4/(1000 \times 2) = 2A$

ઉદાહરણ 5.2

ઉદાહરણ 5.3

(a) જો ગજિયા ચુંબકના (i) તેની લંબાઈને લંબરૂપે, (ii) તેની લંબાઈને (સમાંતર), એમ બે ભાગ કરવામાં આવે તો શું થશે ?

(b) નિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્રમાં રહેલી ચુંબકીય સોય ટૉર્ક અનુભવે છે પરંતુ પરિણામી બળ અનુભવતી નથી. જ્યારે, ગજિયા ચુંબક પાસે મુકેલી ખીલી ટૉર્ક ઉપરાંત આકર્ષી બળ પણ અનુભવે છે. શા માટે ?

(c) શું દરેક ચુંબકીય સંરચના (Configuration)ને ઉત્તરધ્રુવ અને દક્ષિણધ્રુવ હોવા જોઈએ ? ટૉરોઇડના ચુંબકીયક્ષેત્ર વિશે શું કહેશો ?

(d) બે એક સરખા લોખંડના ટુકડાઓ A અને B આપેલા છે, જેમાંથી કોઈ એક ચોક્કસપણે ચુંબકીત કરેલો હોવાનું જ્ઞાત છે (આપણે જાણતા નથી કે તે કયો છે). બંને ચુંબકીત કરેલા છે કે નહીં તે તમે કેવી રીતે નક્કી કરી શકશો ? જો એક જ ચુંબકીત (Magnetised) કરેલ હોય, તો કેવી રીતે કહી શકાય કે તે કયો છે ? [ફક્ત આ ટુકડાઓ A અને B સિવાય બીજા કશાયનો ઉપયોગ કરવાનો નથી.]

ઉકેલ

(a) બંને કિસ્સામાં, આપણને બે ચુંબકો મળશે, જે દરેકને ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવ હશે.

(b) જો ચુંબકીયક્ષેત્ર નિયમિત હશે તો કોઈ બળ નહીં લાગે. ગજિયા ચુંબકના કારણે લોખંડની ખીલી અનિયમિત ચુંબકીયક્ષેત્ર અનુભવે છે. ખીલીમાં ચુંબકીય ચાકમાત્રા પ્રેરિત થાય છે અને તેથી, તે બળ અને ટૉર્ક બંને અનુભવે છે. પરિણામી બળ આકર્ષી હોય છે કારણ કે ખીલીમાં પ્રેરિત થયેલ ઉત્તર ધ્રુવની સરખામણીમાં, પ્રેરિત દક્ષિણ ધ્રુવ (ધારો કે), ચુંબકના ઉત્તર ધ્રુવની નજીક હોય છે.

(c) એવું જરૂરી નથી. એ ત્યારે જ સાચું છે કે જ્યારે (ચુંબકીય) ક્ષેત્રના ઉદ્‌ગમની પરિણામી ચુંબકીય ચાકમાત્રા શૂન્ય ન હોય. ટોરોઇડ કે સીધા અનંત લંબાઈના વાહક માટે આમ હોતું નથી.

(d) આ ટુકડાઓના જુદા જુદા છેડા એકબીજાની પાસે લાવી જુઓ. કોઈ પરિસ્થિતિ દરમિયાન અપાકર્ષી બળ અનુભવાય તો તે દર્શાવે છે કે બંને ચુંબકીત કરેલા છે. જો તે (દરેક સ્થિતિમાં) કાયમ આકર્ષે, તો બે માંથી એક ચુંબકીત કરેલ નથી. ગજિયા ચુંબકમાં ચુંબકીયક્ષેત્રની તીવ્રતા તેના બંને છેડે (ધ્રુવો પર) મહત્તમ હોય છે અને વચ્ચેના

ઉદાહરણ 5.3

ઉદાહરણ 5.3

ભાગમાં અત્યંત નબળી (લઘુત્તમ) હોય છે. આ હકીકતનો ઉપયોગ કરીને A અથવા B ચુંબક છે કે નહીં તે નક્કી કરી શકાય. બે ટુકડામાંથી કયો ચુંબક છે તે નક્કી કરવા, કોઈ એક ટુકડો લો (ધારોકે A), અને તેના કોઈ એક છેડાને બીજા ટુકડા (ધારોકે B)ના કોઈ એક છેડા પાસે નીચે લાવો, અને ત્યારબાદ Bના કેન્દ્ર (મધ્યભાગ) પાસે લાવો. જો તમને લાગે કે Bના કેન્દ્ર પાસે A કોઈ બળ અનુભવતો નથી, તો B ચુંબકીત છે. જો તમને Bના છેડાથી કેન્દ્ર તરફ આવતાં કોઈ ફરક ન અનુભવાય, તો A ચુંબકીત છે.

5.2.4 સ્થિતવિદ્યુત સાથે સામ્યતા (The Electrostatic Analog)

સમીકરણો (5.2), (5.3) અને (5.6)ની વિદ્યુત દ્વિ-ધ્રુવી (પ્રકરણ-1) માટેના તે પ્રકારના સમીકરણો સાથેની સરખામણી દર્શાવે છે કે મેગ્નેટીક મોમેન્ટ **m** ધરાવતા ગજિયા ચુંબક વડે મોટા અંતરે ઉદ્ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર, દ્વિ-ધ્રુવી ચાકમાત્રા (ડાઈપોલ મોમેન્ટ) **p** ધરાવતા વિદ્યુત દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ)ના વિદ્યુતક્ષેત્ર માટેના સમીકરણોમાં

$$\mathbf{E} \to \mathbf{B},\ \mathbf{p} \to \mathbf{m},\ \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \to \frac{\mu_0}{4\pi}$$

મુકવાથી મેળવી શકાય.

ખાસ કરીને, l લંબાઈ (Size) ધરાવતા ગજિયા ચુંબકથી r અંતરે, $r >> l$ માટે, તેના વડે ઉદ્ભવતું વિષુવરેખીય ક્ષેત્ર ($\mathbf{B}_E$) આ મુજબ લખી શકાય :

$$\mathbf{B}_E = -\frac{\mu_0 \mathbf{m}}{4\pi r^3} \qquad (5.7)$$

તે જ રીતે, $r >> l$ માટે ગજિયા ચુંબકનું અક્ષીય ક્ષેત્ર (B_A) આ મુજબ છે :

$$\mathbf{B}_A = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{m}}{r^3} \qquad (5.8)$$

સમીકરણ (5.8) એ સમીકરણ (5.2)નું ફક્ત સદિશ સ્વરૂપ છે. કોષ્ટક 5.1માં વિદ્યુત દ્વિ-ધ્રુવી અને ચુંબકીય દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ) વચ્ચેની સામ્યતા દર્શાવી છે.

કોષ્ટક 5.1 દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ) સામ્યતા

	સ્થિત વિદ્યુતશાસ્ત્ર	ચુંબકત્વ
	$1/\varepsilon_0$	μ_0
દ્વિ-ધ્રુવી ચાકમાત્રા (ડાયપોલ મોમેન્ટ)	$\mathbf{p}$	$\mathbf{m}$
નાના ડાયપોલ માટે વિષુવરેખીય ક્ષેત્ર	$-\mathbf{p}/4\pi\varepsilon_0 r^3$	$-\mu_0\mathbf{m}/4\pi r^3$
નાના ડાયપોલ માટે અક્ષીય ક્ષેત્ર	$2\mathbf{p}/4\pi\varepsilon_0 r^3$	$\mu_0 2\mathbf{m}/4\pi r^3$
બાહ્ય ક્ષેત્ર : ટૉર્ક	$\mathbf{p} \times \mathbf{E}$	$\mathbf{m} \times \mathbf{B}$
બાહ્ય ક્ષેત્ર : ઊર્જા	$-\mathbf{p}\cdot\mathbf{E}$	$-\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}$

ઉદાહરણ 5.4

ઉદાહરણ 5.4 5.0 cm લંબાઈના ગજિયા ચુંબકના મધ્યબિંદુથી 50 cm અંતરે વિષુવરેખીય અને અક્ષીય ક્ષેત્રોનું મૂલ્ય કેટલું હશે ? ઉદાહરણ 5.2ની જેમજ, ગજિયા ચુંબકની ચુંબકીય ચાકમાત્રા (મોમેન્ટ) 0.40 A m^2 છે.

ઉકેલ

સમીકરણ (5.7) પરથી,

$$B_E = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} = \frac{10^{-7} \times 0.4}{(0.5)^3} = \frac{10^{-7} \times 0.4}{0.125} = 3.2 \times 10^{-7}\ \text{T}$$

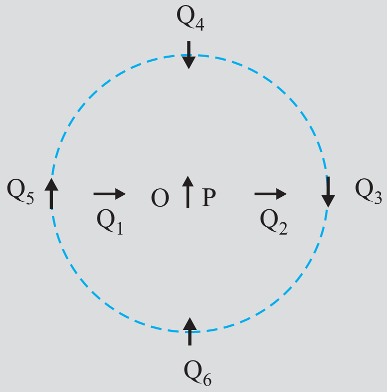
સમીકરણ (5.8) પરથી, $B_A = \dfrac{\mu_0 2m}{4\pi r^3} = 6.4 \times 10^{-7}\ \text{T}$

ઉદાહરણ 5.5 આકૃતિ 5.5માં O બિંદુએ મુકેલી એક નાની ચુંબકીત સોય P દર્શાવી છે. તીરની નિશાની તેની ચુંબકીય ચાકમાત્રા (મોમેન્ટ)ની દિશા દર્શાવે છે. બીજા તીર, તેના જેવી જ બીજી ચુંબકીય સોય Qના જુદા જુદા સ્થાન (અને ચુંબકીય ચાકમાત્રાની દિશાઓ) દર્શાવે છે.

(a) કઈ સંરચના (ગોઠવણી)માં આ તંત્ર સુંતલનમાં નથી ?

(b) કઈ સંરચના (ગોઠવણી)માં તંત્ર (i) સ્થાયી, અને (ii) અસ્થાયી સંતુલનમાં હશે ?

(c) દર્શાવેલ બધી ગોઠવણીઓમાંથી લઘુત્તમ સ્થિતિ ઊર્જાને અનુરૂપ કઈ ગોઠવણી છે ?



આકૃતિ 5.5

ઉકેલ

આ ગોઠવણીની સ્થિતિઊર્જા એક દ્વિ-ધ્રુવી (ધારોકે Q) બીજી દ્વિ-ધ્રુવી (P)ના ચુંબકીયક્ષેત્રમાં હોવાથી ઉદ્ભવે છે. P વડે ઉદ્ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્રનું સૂત્ર [સમીકરણ (5.7) અને (5.8) પરથી]

$$\mathbf{B}_P = \frac{-\mu_0 \mathbf{m}_p}{4\pi r^3} \quad \text{(લંબ દ્વિભાજક પર)}$$

$$\mathbf{B}_P = \frac{\mu_0 2\mathbf{m}_p}{4\pi r^3} \quad \text{(અક્ષ પર)}$$

જ્યાં $\mathbf{m}_P$ એ ડાયપોલ Pની ચુંબકીય ચાકમાત્રા (મોમેન્ટ) છે. જ્યારે $\mathbf{m}_Q$ એ $\mathbf{B}_P$ને સમાંતર હોય ત્યારે સંતુલન સ્થાયી હોય છે, અને જ્યારે તે $\mathbf{B}_P$ને પ્રતિસમાંતર હોય ત્યારે અસ્થાયી સંતુલન હોય છે.

દા. ત. Q_3 ગોઠવણી કે જેમાં Q એ ડાયપોલ Pના લંબ દ્વિભાજક પર હોય ત્યારે Qની ચુંબકીય ચાકમાત્રા, સ્થિતિ 3 પાસે ચુંબકીયક્ષેત્રને સમાંતર હોય છે. આથી, Q_3 સ્થિર છે.

આમ,

(a) PQ_1 અને PQ_2

(b) (i) PQ_3, PQ_6 (સ્થાયી) (ii) PQ_5, PQ_4 (અસ્થાયી)

(c) PQ_6

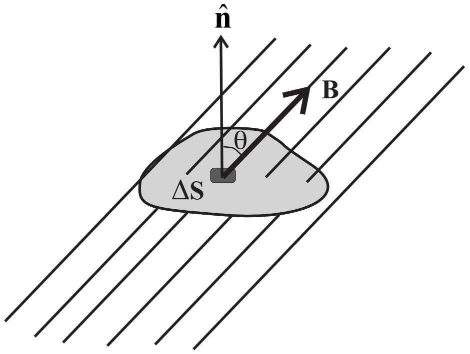
5.3 ચુંબકત્વ અને ગૉસનો નિયમ (MAGNETISM AND GAUSS'S LAW)

પ્રકરણ-1માં આપણે સ્થિત વિદ્યુત માટે ગૉસનો નિયમ ભણ્યા હતા. આકૃતિ 5.3(c)માં આપણે જોઈ શકીએ કે (i) વડે દર્શાવેલ બંધ પૃષ્ઠ માટે, પૃષ્ઠમાંથી બહાર નીકળતી (ક્ષેત્ર) રેખાઓની સંખ્યા, અંદર પ્રવેશતી રેખાઓની સંખ્યા જેટલી જ છે. આ એ હકીકત સાથે સુસંગત છે કે આ પૃષ્ઠ વડે કોઈ વિદ્યુતભાર ઘેરાયેલ નથી. આમ છતાં, આ જ આકૃતિમાં બંધ પૃષ્ઠ (ii) માટે પરિણામી ફ્લક્સએ બહાર તરફનું ફ્લક્સ છે, કારણ કે તેમાં ચોખ્ખો (ધન) વિદ્યુતભાર ઘેરાયેલો છે.

કાર્લ ફ્રેડરિચ ગૉસ (Karl Friedrich Gauss) (1777-1855)

કાર્લ ફ્રેડ્રિક ગૉસ (Karl Friedrich Gauss) (1777-1855) તે બાળપણથી જ વિલક્ષણ હતા અને કુદરતી રીતે ગણિતશાસ્ત્ર, ભૌતિકશાસ્ત્ર, એન્જિનીયરીંગ, એસ્ટ્રોનોમી તથા લેન્ડ સર્વેમાં માહીર હતા. અંકશાસ્ત્રના ગુણધર્મોથી તે પ્રભાવીત થયા હતા અને તેમણે પાછળથી ગણિતના વિકાસમાં મોટો ફાળો આપ્યો હતો. વિલ્હેમ વેલ્સર (Wilhelm Welser) સાથે મળીને 1833માં પ્રથમ ટેલીગ્રાફ મશીન બનાવ્યું હતું. વક્ર પૃષ્ઠો વિશેના તેમના ગાણિતીક સિદ્ધાંતોએ રેઈમન (Reimann)ના કાર્યમાં પાયારૂપ ભૂમિકા ભજવી છે.

ચુંબકીયક્ષેત્રો, જે સતત હોય છે અને બંધ ગાળા રચે છે, તેમના માટે આ પરિસ્થિતિ તદ્દન અલગ છે. આકૃતિ 5.3(a) અથવા આકૃતિ 5.3(b)માં (i) અથવા (ii) વડે દર્શાવેલા ગૉસિયન પૃષ્ઠનું અવલોકન કરો. બંને કિસ્સા દેખીતી રીતે દર્શાવે છે કે આ પૃષ્ઠમાંથી બહાર નીકળતી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓની સંખ્યા તેમાં પ્રવેશતી રેખાઓની સંખ્યા વડે સમતુલિત થાય છે. બંને પૃષ્ઠ માટે ચોખ્ખું ચુંબકીય ફ્લક્સ શૂન્ય છે. આ બાબત દરેક બંધ પૃષ્ઠ માટે સત્ય છે.



આકૃતિ 5.6

આકૃતિ 5.6માં દર્શાવ્યા મુજબ બંધ પૃષ્ઠ Sનો એક નાનો સદિશ ક્ષેત્રફળ ખંડ $\Delta \mathbf{S}$ ધ્યાનમાં લો. $\Delta \mathbf{S}$માંથી પસાર થતું ચુંબકીય ફ્લક્સ $\Delta\phi_B = \mathbf{B}\cdot\Delta\mathbf{S}$ વડે વ્યાખ્યાયિત થાય છે, જ્યાં $\mathbf{B}$ એ $\Delta\mathbf{S}$ આગળનું ક્ષેત્ર છે. આપણે Sને ઘણા બધા ક્ષેત્રફળ ખંડોમાં વિભાજીત કરીએ અને સ્વતંત્ર રીતે દરેકમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ ગણીએ તો ચોખ્ખું (net) ફ્લક્સ ϕ_Bનું મૂલ્ય

$$\phi_B = \sum_{all} \Delta\phi_B = \sum_{all} \mathbf{B}\cdot\Delta\mathbf{S} = 0 \qquad (5.9)$$

જ્યાં '*all*'નો અર્થ 'બધા જ ક્ષેત્રફળ ખંડ '$\Delta\mathbf{S}$'. આને સ્થિત વિદ્યુત માટેના ગૉસના નિયમ સાથે સરખાવો. તે કિસ્સામાં બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ

$$\sum \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

વડે અપાય છે. જ્યાં, q એ પૃષ્ઠ વડે ઘેરાયેલો વિદ્યુતભાર છે.

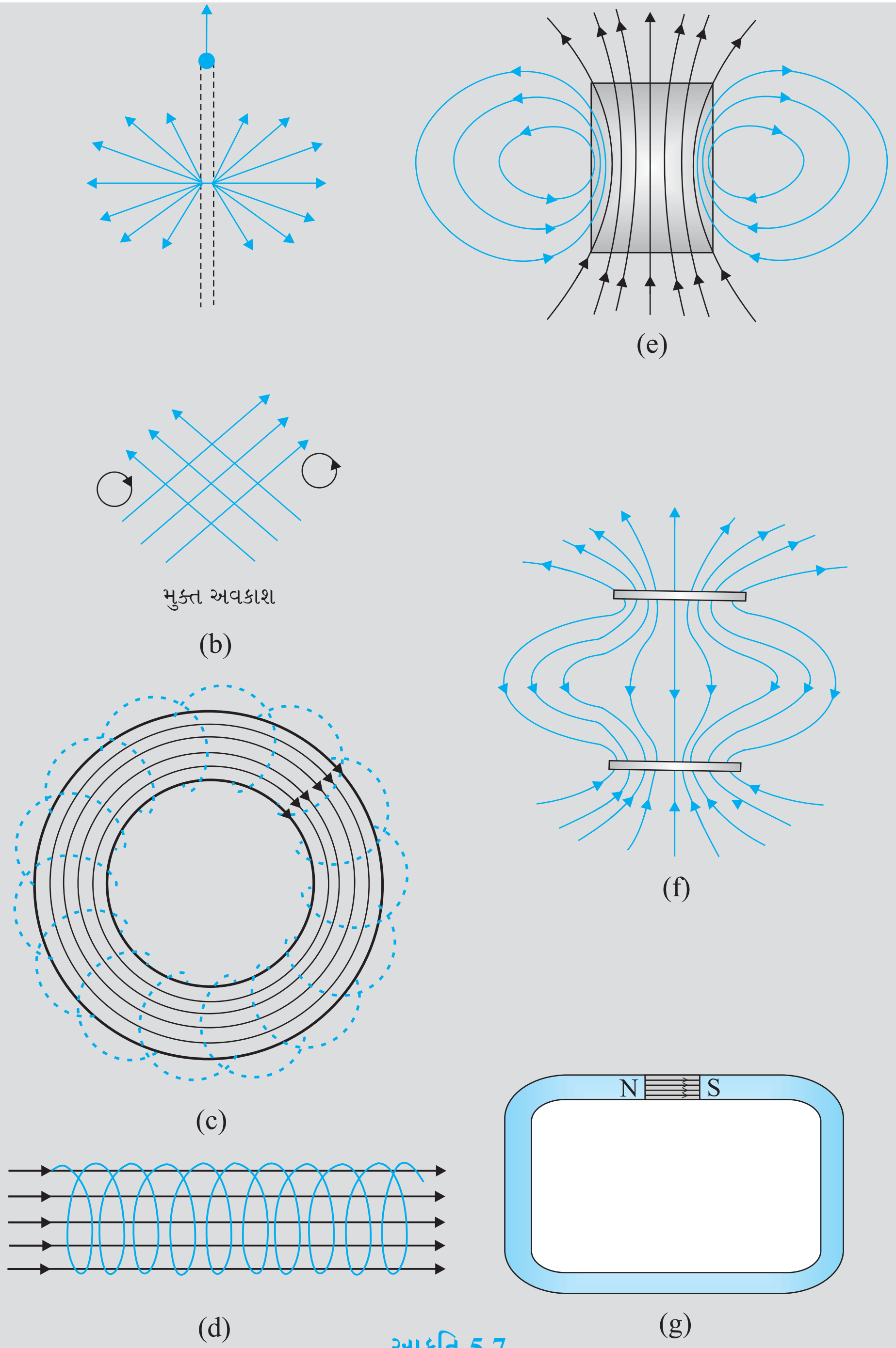
ચુંબકત્વ અને સ્થિત વિદ્યુત માટેના ગૉસના નિયમો વચ્ચેનો તફાવત એ પ્રતિબિંબિત કરે છે કે અલગ કરેલા (સ્વતંત્ર) ચુંબકીય ધ્રુવો (જેમને એકધ્રુવીઓ પણ કહે છે)નું અસ્તિત્વ જાણવા મળ્યું નથી. **B**ના ઉદ્‌ગમો કે શોષક (Sink) નથી; ચુંબકત્વનો સાદામાં સાદો ઘટક ચુંબકીય દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ) અથવા વિદ્યુતપ્રવાહ લૂપ (બંધ ગાળો) છે. દરેક ચૂંબકીય ઘટના દ્વિ-ધ્રુવીઓ (ડાયપોલો)ની અને/અથવા પ્રવાહ લૂપની ગોઠવણીના રૂપમાં દર્શાવી શકાય છે.

આમ, ચુંબકત્વ માટે ગૉસનો નિયમ આ મુજબ છે :

કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચોખ્ખું (પરિણામી) ચુંબકીય ફ્લક્સ શૂન્ય હોય છે.

ઉદાહરણ 5.6

ઉદાહરણ 5.6 આકૃતિ 5.7માં દર્શાવેલ ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ (આકૃતિમાં દર્શાવેલ ઘટ્ટ રેખાઓ)ની અમુક આકૃતિઓ ખોટી છે. તેમાં શું ખોટું છે તે દર્શાવો. આમાંથી કેટલીક સાચી સ્થિતવિદ્યુત ક્ષેત્રરેખાઓ પણ દર્શાવે છે. તે કઇ છે તે દર્શાવો.



આકૃતિ 5.7

ઉકેલ

(a) ખોટું છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ, ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ ક્યારેય બિંદુવત ઉદ્‌ગમમાંથી નીકળતી ન હોય. કોઈપણ બંધ પૃષ્ઠ માટે, **B**નું ચોખ્ખું ફ્લક્સ હંમેશા શૂન્ય હોય છે. એટલે કે, આકૃતિમાં જેટલી ક્ષેત્રરેખાઓ પૃષ્ઠમાં દાખલ થાય તેટલી જ તેમાંથી બહાર નીકળતી દેખાવી જોઈએ. ખરેખર તો દર્શાવેલ ક્ષેત્ર રેખાઓ, લાંબા ધન વિદ્યુતભારીત તારનું વિદ્યુતક્ષેત્ર દર્શાવે છે. સાચી ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ, સીધા વાહક તારની આસપાસ, પ્રકરણ-4માં દર્શાવ્યા મુજબ વર્તુળાકાર હોય છે.

(b) ખોટું. ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ (વિદ્યુતક્ષેત્ર રેખાઓની જેમ) ક્યારેય એક બીજીને છેદતી નથી, કારણ કે તેમ થાય તો છેદન બિંદુએ (ચુંબકીય) ક્ષેત્રની દિશા અનિશ્ચિત (સંદિગ્ધ) થઈ જાય. આ આકૃતિમાં બીજી પણ એક ભૂલ છે. સ્થિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ મુક્ત અવકાશની આસપાસ કયારેય બંધ ગાળા રચતી નથી. બંધ ગાળો રચતી સ્થિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખા વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતો હોય તેવા કોઈ વિસ્તારને ઘેરતી હોવી જોઈએ. આની સામે, સ્થિત વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ મુક્ત અવકાશમાં અથવા જ્યારે ગાળો વિદ્યુતભારોને ઘેરતો હોય ત્યારે પણ કદી બંધ ગાળા રચતી નથી.

(c) સાચું. ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ સંપૂર્ણપણે ટૉરોઇડમાં સમાયેલી (બંધિત) હોય છે. અહીં બંધ ગાળા રચતી ક્ષેત્ર રેખાઓમાં કંઈ જ ખોટું નથી, કારણ કે દરેક ગાળો વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત વિસ્તારને ઘેરે છે. નોંધો કે, આકૃતિમાં સ્પષ્ટ જોઈ શકાય તે માટે ટૉરોઇડમાં થોડીક જ ક્ષેત્ર રેખાઓ દર્શાવી છે. હકીકતમાં, આંટાઓ વડે ઘેરાયેલ સંપૂર્ણ વિસ્તાર ચુંબકીય ક્ષેત્ર ધરાવે છે.

(d) ખોટું. સૉલેનોઇડ વડે ઉદ્‌ભવતી ક્ષેત્ર રેખાઓ તેના છેડા પર અને તેની બહાર એકદમ સીધી અને સમાયેલી/બંધિત ન હોઈ શકે, કારણ કે તે ઍમ્પિયરના નિયમનો ભંગ કરે છે. બંને છેડા પાસે ક્ષેત્ર રેખાઓ વળતી હોવી જોઈએ, અને અંતમાં ભેગી થઈને બંધ ગાળા રચતી હોવી જોઈએ.

(e) સાચું. આ ગજિયા ચુંબકની અંદર અને બહાર ક્ષેત્ર રેખાઓ છે. અંદરની ક્ષેત્રરેખાઓ ધ્યાનથી જુઓ. બધી જ ક્ષેત્ર રેખાઓની દિશા ઉત્તર ધ્રુવમાંથી બહાર નીકળતી (કે દક્ષિણ ધ્રુવમાં સમાઈ જતી) નથી. ઉત્તરધ્રુવ અને દક્ષિણધ્રુવ બંનેની આસપાસ ક્ષેત્રનું ચોખ્ખું ફ્લક્સ શૂન્ય છે.

(f) ખોટું. આ ક્ષેત્ર રેખાઓ ચુંબકીયક્ષેત્ર દર્શાવી શકે નહીં. ઉપરના ભાગમાં જુઓ. બધી જ ક્ષેત્ર રેખાઓ છાયાંકિત (Shaded) તક્તીમાંથી બહાર નીકળતી દર્શાવી છે. છાયાંકિત તક્તિને ઘેરતા પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું કુલ ફ્લક્સ શૂન્ય નથી. ચુંબકીયક્ષેત્ર માટે આ શક્ય નથી. આપેલ ક્ષેત્ર રેખાઓ, વાસ્તવમાં ઉપરની ધન વિદ્યુતભારીત તક્તિ અને નીચેની ઋણ વિદ્યુતભારીત તક્તીની આસપાસ સ્થિત વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ દર્શાવે છે. આકૃતિઓ [5.7(e) અને (f)] વચ્ચેનો તફાવત ધ્યાનપૂર્વક સમજવો જોઈએ.

(g) ખોટું. બે ધ્રુવ વચ્ચેની ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ અંત્ય બિંદુઓએ એકદમ સીધી ન હોઈ શકે. રેખાઓ થોડીક તો વળેલી હોવી જોઈએ. નહીંતર, ઍમ્પિયરના નિયમનો ભંગ થાય છે. આ વિદ્યુત ક્ષેત્ર રેખાઓ માટે પણ સાચું છે.

ઉદાહરણ 5.6

ઉદાહરણ 5.7

(a) ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ વડે (દરેક બિંદુએ) દર્શાવેલી દિશામાં ચુંબકિત કરેલ સોય (તે બિંદુએ) ગોઠવાય છે (એક રેખસ્થ થાય છે). શું ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ ગતિ કરતા વિદ્યુતભાર માટે દરેક બિંદુએ ચુંબકીય બળ રેખાઓ દર્શાવે છે ?

(b) ટોરોઇડના ગર્ભ ભાગ (Core)માં ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ સંપૂર્ણતઃ સમાયેલી હોય છે, પરંતુ સીધા સૉલેનોઇડમાં નહીં. શા માટે ?

(c) જો ચુંબકીય એક ધ્રુવીઓ અસ્તિત્વ ધરાવતી હોત, તો ચુંબકત્વ માટેના ગૉસના નિયમમાં શું ફરક પડત ?

(d) શું ગજિયા ચુંબકનું ચુંબકીયક્ષેત્ર તેના પોતાના પર ટૉર્ક લગાડે ? શું વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત તારનો એક ખંડ (વિભાગ) તે જ તારના બીજા વિદ્યુતપ્રવાહ ધારિત ખંડ (વિભાગ) પર બળ લગાડશે ?

(e) ગતિમાન વિદ્યુતભારોના કારણે ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉદ્‌ભવે છે. કોઈ તંત્રનો ચોખ્ખો (પરિણામી) વિદ્યુતભાર શૂન્ય હોય તો પણ તેને ચુંબકીય ચાકમાત્રા (મોમેન્ટ) હોઈ શકે ?

ઉદાહરણ 5.7

ઉકેલ

(a) ના. ચુંબકીય બળ હંમેશા Bને લંબરૂપે હોય છે. (યાદ રહે કે ચુંબકીય બળ $= q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$). ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓને ચુંબકીય બળ રેખાઓ કહેવું ગેરમાર્ગે દોરનારું/ભૂલ ભરેલું છે.

(b) જો (ચુંબકીય) ક્ષેત્ર રેખાઓ સીધી સૉલેનોઇડના બે છેડાઓ વચ્ચે જ સમાયેલી/બંધિત હોત, તો દરેક છેડા પરના આડ છેદમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ શૂન્ય ન થાત. પરંતુ ક્ષેત્ર Bનું કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું કુલ ફ્લક્સ હંમેશાં શૂન્ય હોવું જોઈએ. ટૉરોઇડ માટે આ મુશ્કેલી રહેતી નથી કારણ કે તેને છેડાઓ જ નથી.

(c) ચુંબકત્વ માટેનો ગૉસનો નિયમ દર્શાવે છે કે કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું **B**નું ફ્લક્સ હંમેશાં શૂન્ય હોય છે. $\int_s \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{s} = 0$.
જો એકધ્રુવી (Monopole)અસ્તિત્વ ધરાવતી હોય તો જમણી બાજુ s વડે ઘેરાયેલ એકધ્રુવી (ચુંબકીય ભાર) q_mને બરાબર હોત. (સ્થિત વિદ્યુત માટેના ગૉસના નિયમની જેમ $\int_s \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{s} = \mu_0 q_m$ જ્યાં, q_mએ **s**વડે ઘેરાયેલ (એકધ્રુવી) ચુંબકીય ભાર છે.)

(d) ના. (ચુંબકના) ખંડ (વિભાગ) વડે ઉદ્‌ભવતા ચુંબકીયક્ષેત્ર વડે તે જ ખંડ પર કોઈ બળ કે ટૉર્ક લાગતું નથી. પરંતુ તે જ તારના બીજા ખંડ પર બળ (કે ટૉર્ક) લાગે છે. (સીધા તારના ચોક્કસ કિસ્સા માટે જ આ બળ શૂન્ય હોય છે.)

(e) હા. તંત્રમાં રહેલા વિદ્યુતભારનું સરેરાશ મૂલ્ય શૂન્ય હોઈ શકે. પરંતુ, જુદા-જુદા પ્રવાહ ધારીત લૂપ (ગાળાઓ)ના લીધે મળતી ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું સરેરાશ મૂલ્ય શૂન્ય ન પણ હોય. આપણે પેરામેગ્નેટીક પદાર્થો માટે આ પ્રકારના ઉદાહરણોમાં જોઈશું કે જેમાં પરમાણુઓનો ચોખ્ખો વિદ્યુતભાર શૂન્ય હોવા છતાં તેમને ચોખ્ખી (ચુંબકીય) દ્વિ-ધ્રુવી ચાકમાત્રા હોય છે.

ઉદાહરણ 5.7

5.4 પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ (The Earth's Magnetism)

અગાઉ આપણે પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્રનો ઉલ્લેખ કર્યો હતો. પૃથ્વીની સપાટી પર જુદા-જુદા સ્થાને પૃથ્વીના ચુંબકીયક્ષેત્રની પ્રબળતાં જુદી-જુદી હોય છે; તેનું મૂલ્ય 10^{-5} Tના ક્રમનું છે.

પૃથ્વીનું ચુંબકીયક્ષેત્ર કયા કારણે છે તે હજી સ્પષ્ટ નથી. પહેલાં એવું માનવામાં આવતું હતું કે પૃથ્વીના પેટાળમાં ઊંડે તેની ભ્રમણ અક્ષ પર રહેલા ખૂબ મોટા ગજીયા ચુંબકના કારણે આ ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉદ્‌ભવ્યું છે. ખરેખર તો આ અતિ સાદુ નિરૂપણ સત્ય નથી જ. હવે એવું માનવામાં આવે છે કે પૃથ્વીના કેન્દ્રિય ભાગ (ગર્ભ, Core)ની બહારના વિસ્તારમાં રહેલા પિગળેલ પ્રવાહી (મોટા ભાગે પિગળેલા લોખંડ અને નિકલ)ની સંવહન ગતિના કારણે વિદ્યુતપ્રવાહો ઉદ્‌ભવે છે. જેના કારણે ચુંબકીયક્ષેત્ર ઉદ્‌ભવે છે. આને ડાઈનેમો અસર કહેવાય છે.

પૃથ્વીની ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ પૃથ્વીના કેન્દ્રમાં રહેલા (કાલ્પનિક) ચુંબકીય દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ)ની રેખાઓ જેવી છે. આ ડાયપોલની અક્ષ, પૃથ્વીની ભ્રમણ અક્ષ સાથે એક રેખસ્થ નથી. પરંતુ હાલ ભ્રમણ અક્ષ સાથે લગભગ 11.3° જેટલી ઢળતી છે. આ રીતે જોતાં, આ દ્વિ-ધ્રુવીના કારણે ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ પૃથ્વીમાં જ્યાંથી બહાર નીકળે છે અથવા સમાય છે ત્યાં ચુંબકીય ધ્રુવો આવેલા છે. ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવનું સ્થાન 79.74° N અક્ષાંશ અને 71.8° W રેખાંશ પર, ઉત્તર કેનેડામાં ક્યાંક આવેલું છે. ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ એન્ટાર્કિટકામાં 79.74° S, 180.22° E સ્થાને આવેલો છે.

પૃથ્વીના ભૌગોલિક ઉત્તરધ્રુવ પાસે આવેલા ધ્રુવને ઉત્તર ચુંબકીય ધ્રુવ કહે છે. તે જ રીતે, ભૌગોલિક દક્ષિણધ્રુવ પાસે આવેલા ધ્રુવને દક્ષિણ ચુંબકીય ધ્રુવ કહે છે.

PHYSICS

Geomagnetic field frequently asked questions
http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/