5

ચુંબકત્વ અને દ્રવ્ય

5.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

ચુંબક (magnet) શબ્દ ગ્રીસમાં આવેલા મૅગ્નેશિયા નામના દ્વીપ (ટાપુ) પરથી આવ્યો છે, જ્યાં ચુંબકીય ખનિજો ઈ. સ. 800 પહેલાં મળી આવી હતી. આ ટાપુ પર રહેતા ભરવાડોએ ફરિયાદ કરી હતી કે તેમના શૂઝ (પગરખાં)ની ખીલીઓ જમીન પર ચોંટી જતી હતી. આ ઉપરાંત જ્યારે તેઓ ઢોર ચરાવવા જાય ત્યારે, તેમની ડાંગ (લાકડીઓ)ની આગળના લોખંડના ડટ્ટા પણ ચુંબકીય પહાડની ટોચ પર ચોંટી જતા હતા. ગ્રીક લોકોએ અનુભવ્યું કે ચુંબકીય પથ્થર (Fe_3O_4) લોખંડના ટુકડાઓને આકર્ષે છે.

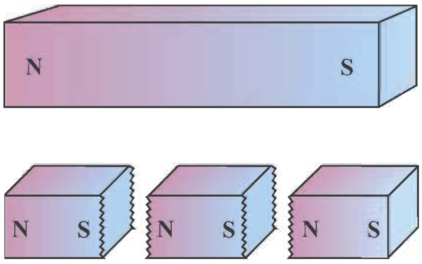
ચાઈનીઝ લોકોએ પહેલી વખત ચુંબકીય સોયનો ઉપયોગ દરિયાઈ મુસાફરી દરમ્યિાન દિશાઓ શોધવા માટે કર્યો હતો. ગેબીના રણને ઓળંગવા માટે કાફલાઓ (caravans) પણ ચુંબકીય સોયનો ઉપયોગ કરતા હતા. ચુંબકત્વ, પૃથ્વી પર જીવોની ઉત્પત્તિ અને ઉત્ક્રાંતિઓ બાદ માનવજાતની ઉત્પત્તિ થઈ તેના કરતાં પણ પુરાણું છે. તે સમગ્ર બ્રહ્માંડમાં વ્યાપ્ત છે.

ફ્રાન્સના પિઅરે-ડ-મેરીકોર્ટે 1269માં ગોળાકાર કુદરતી ચુંબકની સપાટી પર ચુંબકીય સોયની મદદથી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓની દિશા માપી હતી. તેણે અનુભવ્યું હતું કે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓની દિશા ગોળાના વ્યાસ પરના સામસામેનાં બે બિંદુઓમાંથી પસાર થાય છે, જેમને તેણે ચુંબકના ધ્રુવો (poles) કહ્યા. ત્યાર બાદ બીજા પ્રયોગો પરથી એ પણ જાણવા મળ્યું કે, કોઈ પણ ચુંબકનો આકાર અને કદ ગમે તેવાં હોય, પરંતુ તેને બે ધ્રુવો હોય છે, જેમને ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો કહે છે. ચુંબકત્વ (magnetism) વિશે જાણીતા કેટલાક ખ્યાલો નીચે મુજબ છે :

(1) પૃથ્વી ચુંબક તરીકે વર્તે છે, જેનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર (magnetic field) લગભગ ભૌગોલિક (geographic) દક્ષિણથી ઉત્તર તરફ હોય છે.

(2) જ્યારે ગજિયા ચુંબકને તેના મધ્યબિંદુથી એવી રીતે લટકાવવામાં આવે કે જેથી તે મુક્ત રીતે સમક્ષિતિજ સમતલમાં ભ્રમણ કરી શકે, તો તે ત્યાં સુધી ભ્રમણ (આંદોલન) કર્યા કરે છે કે જ્યાં સુધી તે ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં ન ગોઠવાય. ગજિયા ચુંબકનો જે છેડો ઉત્તર તરફ રહે, તેને ચુંબકનો ઉત્તર ધ્રુવ કહે છે અને જે છેડો દક્ષિણ તરફ રહે, તેને ચુંબકનો દક્ષિણ ધ્રુવ કહે છે.

(3) સમાન (સજાતીય) ચુંબકીય ધ્રુવો એકબીજાને અપાકર્ષે છે, અને અસમાન (વિજાતીય) ધ્રુવો એકબીજાને આકર્ષે છે.



આકૃતિ 5.1 ગજિયો ચુંબક અને સ્વતંત્ર ચુંબક તરીકે વર્તતા તેના ટુકડાઓ

(4) વિદ્યુત-ડાઈપોલના ધન અને ઋણ વિદ્યુતભારોને અલગ કરી શકાય છે અને તેઓ સ્વતંત્ર અસ્તિત્વ પણ ધરાવી શકે છે, જેમને વિદ્યુતીય એકાકી ધ્રુવો (monopoles) કહે છે. ચુંબકના પણ બે ધ્રુવો હોવાથી તેને ચુંબકીય ડાઈપોલ ગણી શકાય. પરંતુ આ ચુંબકીય ધ્રુવો હંમેશાં જોડમાં જ હોય છે. ચુંબકના બે ભાગ કરીને તેના ઉત્તર અને દક્ષિણ ચુંબકીય ધ્રુવોને જુદા કરી શકાતા નથી. જો કોઈ ગજિયા ચુંબકના બે કે વધારે ટુકડા કરવામાં આવે, તો દરેક ટુકડા સ્વતંત્ર ચુંબક તરીકે વર્તે છે, જેનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર મૂળ ચુંબક કરતાં થોડું નબળું હોય, પરંતુ ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો તો હોય જ (જુઓ આકૃતિ 5.1). આમ, એકાકી ચુંબકીય ધ્રુવો અસ્તિત્વ ધરાવતા નથી. એકાકી ચુંબકીય ધ્રુવોનું અસ્તિત્વ જાણવા માટેના પ્રયત્નો થઈ રહ્યા છે.

(5) લોખંડ (iron) અને તેની મિશ્ર ધાતુઓ (alloys)માંથી ચુંબકો તૈયાર કરી શકાય છે.

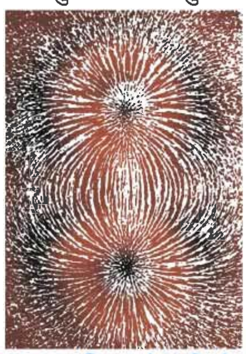
આ પ્રકરણમાં આપણે ગજિયા ચુંબક અને સૉલેનોઇડના ચુંબકીય ક્ષેત્રની સમાનતા, વિદ્યુતપ્રવાહધારિત ગૂંચળા (loop)ની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ અને અણુની કક્ષામાં ગતિ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય (orbital) ડાઇપોલ-મોમેન્ટનો અભ્યાસ કરીશું.

મૅગ્નેટિક ડાઇપોલની અક્ષ પરના કોઈ બિંદુએ અને તેની વિષુવરેખા પરના કોઈ બિંદુએ ચુંબકીય ક્ષેત્રની તીવ્રતા કેટલી હોય તે અહીં ગણીશું. પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર, ભૂ-ચુંબકીય તત્ત્વો, તેમજ પેરા, ડાયા અને ફેરો મૅગ્નેટિક પદાર્થો અને તેમનાં ઉદાહરણોની પણ આ પ્રકરણમાં ચર્ચા કરીશું. આ પ્રકરણના અંતમાં કાયમી ચુંબકો અને વિદ્યુત ચુંબકો (ઇલેક્ટ્રૉમૅગ્નેટ્સ)ના ઉપયોગો પણ સમજાવવામાં આવ્યા છે.

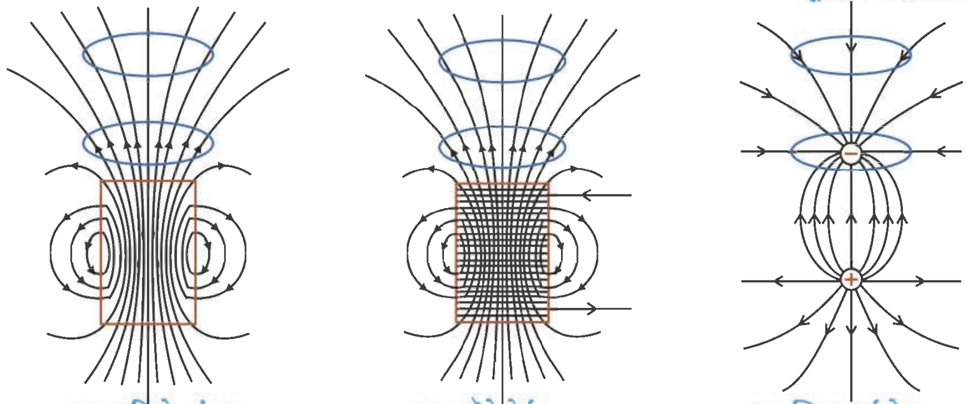
5.2 ગજિયો ચુંબક (Bar Magnet)

મહાન વિજ્ઞાની આઇન્સ્ટાઇનને તેમના કોઈ સંબંધીએ, તેમના બાળપણમાં એક ચુંબક ભેટ તરીકે આપેલું. બાળક આઇન્સ્ટાઇન આ ચુંબકથી ખૂબ જ રોમાંચિત (fascinated) થયા હતા અને તેની સાથે અનેક 'રમતો' કરતા હતા. જ્યારે આ ચુંબક લોખંડની ખીલીઓ, ટાંકણીઓ જેવી વસ્તુને આકર્ષતું હતું, ત્યારે તેમને એ વાતનું આશ્ચર્ય થતું કે ચુંબક આ વસ્તુઓ પર કોઈ પણ પ્રકારના સંપર્ક વગર બળ કેવી રીતે લગાડતું હશે ?

આકૃતિ 5.2માં ગજિયા ચુંબક પર મૂકેલા કાગળ પર લોખંડનો ઝીણો ભૂકો ભભરાવતા (છાંટતા) મળતી ગોઠવણી દર્શાવી છે. જ્યારે કાગળને બે કે ત્રણ વખત જરાક ઠપકારવામાં આવે ત્યારે લોખંડનો ઝીણો ભૂકો એક ચોક્કસ ભાત રચીને ગોઠવાય છે, જે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ દર્શાવે છે. જો ગજિયા ચુંબકની જગ્યાએ નાનો સૉલેનોઇડ મૂકી તેમાંથી dc પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે તોપણ આ જ પ્રકારની ભાત રચાય છે.



આકૃતિ 5.2 ગજિયા ચુંબકની ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ દર્શાવતી લોખંડના ઝીણા ભૂકાની ગોઠવણીથી રચાતી ભાત



(a) ગજિયો ચુંબક (b) સૉલેનોઇડ (c) વિદ્યુત-ડાઇપોલ

આકૃતિ 5.3 ચુંબકીય અને વિદ્યુતીય ક્ષેત્રરેખાઓ (માત્ર જાણકારી માટે)

આકૃતિ 5.3માં ગજિયા ચુંબક અને નાના સૉલેનોઇડ વડે રચાતી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ દર્શાવી છે. વિદ્યુત-ડાઇપોલ વડે રચાતી વિદ્યુતક્ષેત્રરેખાઓ પણ સરખામણી માટે દર્શાવી છે.

આકૃતિ 5.3નો અભ્યાસ કરતાં નીચેનાં તારણો મેળવી શકાય :

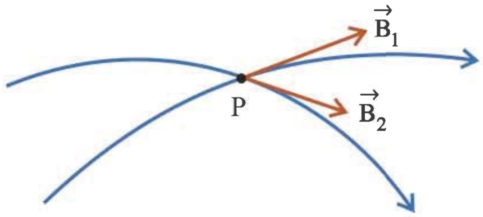
(1) **ગજિયા ચુંબક કે ટૂંકા સૉલેનોઇડ વડે મળતી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ બંધ ગાળાઓ રચે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ ચુંબકના ઉત્તર ધ્રુવ પાસેથી બહાર નીકળી દક્ષિણ ધ્રુવ પાસે પહોંચી અને ત્યાંથી ચુંબકમાંથી પસાર થઈને પાછી ઉત્તર ધ્રુવ પાસે પહોંચીને બંધ ગાળાઓ રચે છે.** વિદ્યુત-ડાઇપોલમાં વિદ્યુતક્ષેત્રરેખાઓ ધન વિદ્યુતભારમાંથી બહાર નીકળીને ઋણ વિદ્યુતભારમાં દાખલ થાય છે અથવા અનંત સુધી વિસ્તરે છે.

વિદ્યુતભારોની એવી કોઈ સ્થિર ગોઠવણી શક્ય નથી, કે જેના દ્વારા ઉત્પન્ન થતી વિદ્યુતક્ષેત્રરેખાઓ બંધ ગાળાઓ રચે. સ્થિર વિદ્યુતક્ષેત્રનો આ એક આગવો ગુણધર્મ છે.

(2) ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાને કોઈ એક બિંદુએ દોરેલ સ્પર્શક તે બિંદુ પાસે ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ની દિશા દર્શાવે છે.

દાખલા તરીકે, ચુંબકીય સોય (magnetic needle)ને ગજિયા ચુંબકની આજુબાજુના વિસ્તારમાં જુદાં-જુદાં બિંદુઓએ મૂકીને તેની ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ દોરી શકાય.

(3) ચુંબકની આસપાસના કોઈ વિસ્તારમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રની પ્રબળતાનું મૂલ્ય તે વિસ્તારમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓને લંબ એવા એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતી ક્ષેત્રરેખાઓની સંખ્યા વડે દર્શાવી શકાય. આકૃતિ 5.3(a) અને 5.3(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ વિસ્તાર (ii) કરતાં વિસ્તાર (i) સાથે સંકળાયેલું ચુંબકીય ક્ષેત્ર B વધુ છે.

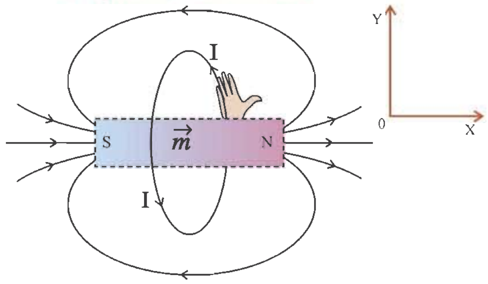


આકૃતિ 5.3 (d)

(4) **ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ એકબીજીને છેદતી નથી.** જો તેઓ કોઈ બિંદુ પાસે એકબીજીને છેદે તો છેદનબિંદુ પાસે ક્ષેત્રરેખાઓ સાથેના સ્પર્શકો તે બિંદુએ ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટે બે જુદી-જુદી દિશા દર્શાવે, જે શક્ય નથી (જુઓ આકૃતિ 5.3(d)).

જો ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ એકબીજીને P બિંદુએ છેદે, તો P બિંદુ આગળ ચુંબકીય ક્ષેત્ર, $\vec{B}_1$ અને $\vec{B}_2$ વડે દર્શાવેલ બે જુદી-જુદી દિશાઓ દર્શાવે.

5.3 ચુંબક તરીકે પ્રવાહગૂંચળુ (લૂપ) અને તેની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ (Current Loop as a Magnet and its Magnetic Moment)



આકૃતિ 5.4 $\vec{m}$ ડાઈપોલ-મોમેન્ટવાળા ગજિયા ચુંબકની જેમ પ્રવાહગૂંચળા વડે ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર

પ્રકરણ 4 માં તમે ભણ્યા કે વિદ્યુતપ્રવાહ I ધરાવતું, A ક્ષેત્રફળનું પ્રવાહ-ગૂંચળું, ચુંબકીય ડાઈપોલ તરીકે વર્તે છે, જેની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

$$m = IA \qquad (5.3.1)$$

ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ની દિશા જમણા હાથના નિયમ પરથી જાણી શકાય, જે આકૃતિ 5.4માં દર્શાવેલ છે.

$$\text{આમ, } \vec{m} = I\vec{A} \qquad (5.3.2)$$

જો ગૂંચળામાં N આંટા હોય તો,

$$\vec{m} = NI\vec{A} \qquad (5.3.3)$$

a ત્રિજ્યાના ગૂંચળાની અક્ષ પર તેના કેન્દ્રથી મોટા અંતરે ($x >> a$) આવેલા બિંદુ પાસે ચુંબકીય ક્ષેત્ર (પ્રકરણ 4)

$$B(x) = \frac{\mu_0 I a^2}{2x^3} \qquad (5.3.4)$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I\pi a^2}{x^3} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{IA}{x^3}, \qquad (A = \pi a^2 = \text{ગૂંચળાનું ક્ષેત્રફળ})$$

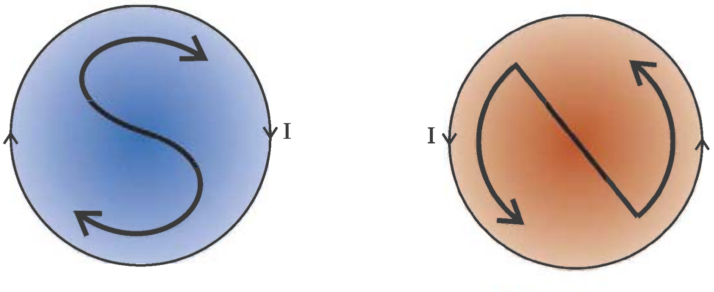
$$\therefore B(x) = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{m}{x^3} \qquad (5.3.5)$$

$B(x)$ અને m ની દિશા એક જ હોવાથી

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\vec{m}}{x^3}, \qquad (5.3.6)$$

જે મોટા અંતર $x >> a$ માટે ગૂંચળાની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ના સંદર્ભમાં ગૂંચળાનું અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્ર દર્શાવે છે. સમીકરણ (5.3.6)ને તેટલી જ ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ ધરાવતા (નાના) ગજિયા ચુંબક માટે પણ બરોબર તે જ રીતે લાગુ પાડી શકાય.

5.3.1 પ્રવાહધારિત ગૂંચળા માટે ચુંબકીય ધ્રુવની દિશા (Direction of Magnetic Pole in a Current Carrying Loop)



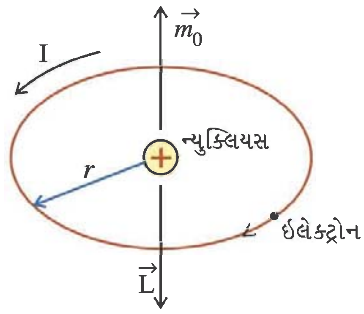
(a) ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ (b) ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ

આકૃતિ 5.5

આકૃતિ 5.5(a)માં દર્શાવ્યા મુજબ પુસ્તકના પાનની સપાટીમાં રહેલા વર્તુળાકાર ગૂંચળામાં વહેતો પ્રવાહ I ઘડિયાળના કાંટાની (ગતિની) દિશામાં છે. જમણા હાથના નિયમ મુજબ જણાય છે કે ગૂંચળાની આપણા તરફની બાજુ ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ તરીકે વર્તે છે તથા તેની વિરુદ્ધ બાજુ (પાછળની બાજુ) ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ તરીકે વર્તે છે. સંજ્ઞા S એ આપણા તરફનો ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ દર્શાવે છે. તે જ રીતે, જો ગૂંચળામાં પ્રવાહ વિષમઘડી દિશામાં વહેતો હોય, તો ગૂંચળાની આપણા તરફની બાજુ ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ તરીકે વર્તે છે, જ્યારે વિરુદ્ધ બાજુ ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ તરીકે વર્તે છે (જુઓ આકૃતિ 5.5(b)). આકૃતિમાં આપણી તરફનો ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ સંજ્ઞા N વડે દર્શાવેલ છે.

5.4 ન્યુક્લિયસની આસપાસ ભ્રમણ કરતા ઈલેક્ટ્રૉનની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ (Magnetic Moment of an Electron Rotating Around the Nucleus of an Atom)

મિત્રો, હવે તમે જાણો છો કે ગતિ કરતા વિદ્યુતભારો અથવા વિદ્યુતપ્રવાહ વડે ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. કોઈ પણ પદાર્થ અણુઓનો બનેલો હોય છે અને આ અણુઓ પરમાણુઓના બનેલા છે, જેમાં ચોક્કસ સંખ્યાના ઈલેક્ટ્રૉન (તે તત્ત્વની પ્રકૃતિને અનુલક્ષીને) જુદી-જુદી શક્ય કક્ષાઓમાં ભ્રમણ કરતા હોય છે. ઈલેક્ટ્રૉન્સની આવી કક્ષીય ગતિને બંધ ગાળામાં વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ ગણી શકાય, જેની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ IA હોય (અહીંયાં I = વિદ્યુતપ્રવાહ, અને A = કક્ષા વડે ઘેરાયેલું ક્ષેત્રફળ). કોઈ પણ તત્ત્વના પરમાણુની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ, જુદી-જુદી કક્ષાઓમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રૉન્સ અને તેમના સ્થાન પર આધાર રાખે છે.



આકૃતિ 5.6 ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

આકૃતિ 5.6માં દર્શાવ્યા મુજબ, ધારો કે એક ઈલેક્ટ્રૉન ન્યુક્લિઅસની આજુબાજુ અચળ ઝડપ v સાથે, r ત્રિજ્યાની વર્તુળાકાર કક્ષામાં ગતિ કરે છે. જો ઈલેક્ટ્રૉન $2\pi r$ (વર્તુળના પરિઘ) જેટલું અંતર T સમયમાં કાપતો હોય, તો તેની કક્ષીય ઝડપ $v = \frac{2\pi r}{T}$. આમ, કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા e વિદ્યુતભારિત ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંકળાયેલ વિદ્યુતપ્રવાહ $I = \frac{e}{T}$. અહીંયાં, $T = \frac{2\pi}{\omega}$, અને $\omega = \frac{v}{r}$

$$\therefore\ I = \frac{e\omega}{2\pi} = \frac{ev}{2\pi r}$$

આ કક્ષીય પ્રવાહ-ગૂંચળા (લૂપ) સાથે સંકળાયેલ કક્ષીય ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

$$m_0 = IA = \frac{ev}{2\pi r} \times \pi r^2 = \frac{1}{2} evr \quad (5.4.1)$$

આ ઈલેક્ટ્રૉન માટે કક્ષીય કોણીય વેગમાન $L = m_e vr$. આથી, ઈલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

$$m_0 = \left(\frac{e}{2m_e}\right)(m_e vr) = \left(\frac{e}{2m_e}\right)L \quad (5.4.2)$$

સમીકરણ (5.4.2) દર્શાવે છે કે ઈલેક્ટ્રૉનની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ તેના કક્ષીય કોણીય વેગમાનના

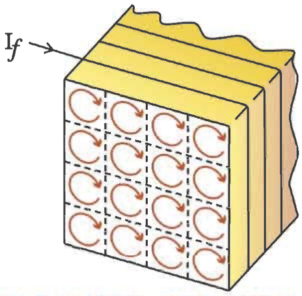
સમપ્રમાણમાં છે, પરંતુ ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર ઋણ હોવાથી, $\vec{m_0}$ અને $\vec{L}$ કક્ષાના સમતલને લંબ પરંતુ એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે.

$$\therefore \ \vec{m_0} = -\left(\frac{e}{2m_e}\right) \vec{L} \tag{5.4.3}$$

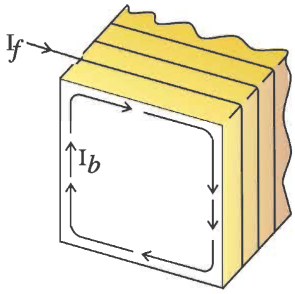
$\frac{e}{2m_e}$ ગુણોત્તર અચળ હોય છે, જેને ગાયરોમૅગ્નેટિક રેશિયો કહે છે, અને તેનું મૂલ્ય $8.8 \times 10^{10} C\ kg^{-1}$ જેટલું હોય છે.

5.5 પદાર્થનું ચુંબકત્વ (Magnetism in Matter)

સામાન્ય રીતે ચુંબકો લોખંડ (Fe) કે તેની મિશ્રધાતુમાંથી તૈયાર કરવામાં આવે છે. લોખંડના અણુઓ સામાન્ય રીતે ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતા હોય છે, પરંતુ લોખંડનો કોઈ ટુકડો ચુંબક તરીકે (સામાન્ય સંજોગોમાં) વર્તતો નથી.



(a) પ્રવાહ I_fના કારણ વહતા આણ્વિક પ્રવાહો (ચુંબકિત લોખંડ)



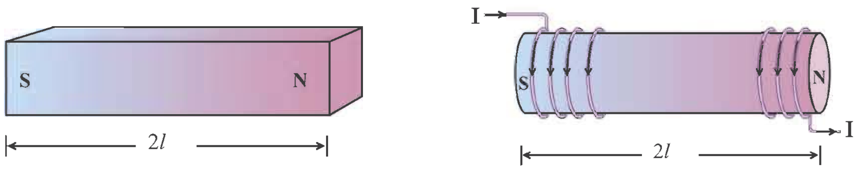
(b) ભાગ (a)ના પ્રવાહ-ગૂંચળાઓને સમતુલ્ય બદ્ધ પ્રવાહ-ગૂંચળું

આકૃતિ 5.7

આ જ લોખંડના ટુકડાને થોડા સમય માટે તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકીને ત્યાર બાદ લગાડેલ ચુંબકીય ક્ષેત્ર લઈ લેવામાં આવે, તો તે ટુકડો ચુંબકમાં ફેરવાઈ (ચુંબકિત થઈ) જાય છે. આકૃતિ (5.7.(a))માં દર્શાવ્યા મુજબ, લોખંડના એક ટુકડા પર તાર વીંટાળવામાં આવ્યો છે. જો $I_f = 0$, હોય ત્યારે દરેક અણુઓની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ જુદી-જુદી દિશાઓમાં અસ્તવ્યસ્ત ગોઠવાયેલી હોય છે કે જેથી લોખંડના ટુકડાની પરિણામી ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ શૂન્ય થાય, અને તેથી લોખંડનો ટુકડો ચુંબક તરીકે વર્તતો નથી.

જ્યારે વાયરમાંથી પૂરતો પ્રવાહ I_f પસાર થાય છે, ત્યારે લોખંડના ટુકડામાં તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે, જેના કારણે લોખંડના ટુકડામાં દરેક અણુના પ્રવાહ-ગૂંચળાંઓનું (લૂપનું) વિતરણ બદલાય છે અને તેના પરિણામસ્વરૂપે લોખંડના ટુકડાની સપાટી પર વહેતો પરિણામી બદ્ધ પ્રવાહ I_b દર્શાવ્યો છે. (જુઓ આકૃતિ 5.7 b). આવાં જ કારણોસર ગજિયો ચુંબક પણ ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે તેમ ગણી શકાય. જ્યારે પ્રવાહ I_f ને ઘટાડીને શૂન્ય કરવામાં આવે ત્યારે તે પ્રવાહ I_f થી ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર શૂન્ય થઈ જતું હોવા છતાં આ આણ્વિક પ્રવાહગાળાઓ પોતાની મૂળ અસ્તવ્યસ્ત સ્થિતિમાં પાછા ફરતા નથી, પરંતુ કંઈક અંશે આકૃતિ (5.7 b) જેવી સ્થિતિ જાળવી રાખે છે. આ રીતે આ લોખંડનો ટુકડો તેનું પોતાનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર અને ચુંબકત્વ જાળવી રાખે છે.

5.6 ગજિયા ચુંબક અને સૉલેનોઇડ વચ્ચેની સામ્યતા (Equivalence between a Bar-Magnet and a Solenoid)



આકૃતિ 5.8 ગજિયો ચુંબક અને સૉલેનોઇડ

આકૃતિ 5.8માં ગજિયો ચુંબક અને સૉલેનોઇડ દર્શાવ્યા છે. જો ગજિયા ચુંબકના દરેક ધ્રુવનું ધ્રુવમાન (pole strength) p_b હોય. (આવા સ્વતંત્ર ધ્રુવ ખરેખર હોતા નથી) અને બન્ને ધ્રુવ વચ્ચેનું અંતર $2l$ હોય તો વ્યાખ્યા મુજબ, ગજિયા ચુંબકની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ.

$$m_b = 2lp_b \tag{5.6.1}$$

$$\therefore\ p_b = \frac{m_b}{2l} \tag{5.6.2}$$

અહીંયાં suffix b દર્શાવે છે કે ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ ગજિયા ચુંબકના કારણે છે.

નોંધ (માત્ર જાણકારી માટે) : ગજિયા ચુંબકના ધ્રુવો (p_b) ચુંબકના બંન્ને છેડાની સપાટી પર હોતા નથી, પરંતુ અંદરની તરફ હોય છે. તેથી બન્ને ધ્રુવ વચ્ચેનું અંતર (ચુંબકીય લંબાઈ) $2l_m$ એ ચુંબકની ભૌમિતિક લંબાઈ $2l$ કરતાં જરાક ઓછું હોય છે. આ પુસ્તકમાં વ્યાવહારીક સરળતા ખાતર ચુંબકીય લંબાઈ $2l_m = \frac{5}{6} \times 2l$, ને ચુંબકની ભૌમિતિક લંબાઈ જેટલી ગણવામાં આવેલ છે.

આડછેદનું ક્ષેત્રફળ A હોય તેવા વિદ્યુતપ્રવાહ I, ધારિત સૉલેનોઇડના દરેક આંટાને પ્રવાહ-ગૂંચળા તરીકે સમજી શકાય, અને તેથી દરેક આંટા સાથે ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ IA સંકળાયેલી છે તેમ ગણી શકાય. દરેક આંટાની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ એક જ દિશામાં હોવાથી, સૉલેનોઇડની ચુંબકીય ચાકમાત્રા એ દરેક આંટાઓની ચુંબકીય ચાકમાત્રાઓના સદિશ સરવાળા જેટલી હોય છે. જો સૉલેનોઇડની $2l$ લંબાઈમાં N આંટા હોય, તો તેની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

$$m_s = \mathrm{NIA} \tag{5.6.3}$$

સમીકરણ (5.6.1) અને (5.6.3) પરથી આપણે સૉલેનોઇડનું ધ્રુવમાન વ્યાખ્યાયીત કરી શકીએ,

$$p_S = \frac{m_s}{2l} = \frac{\mathrm{NIA}}{2l} = n\mathrm{IA} \tag{5.6.4}$$

જ્યાં $n = \frac{\mathrm{N}}{2l}$ = સૉલેનોઇડની એકમલંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા

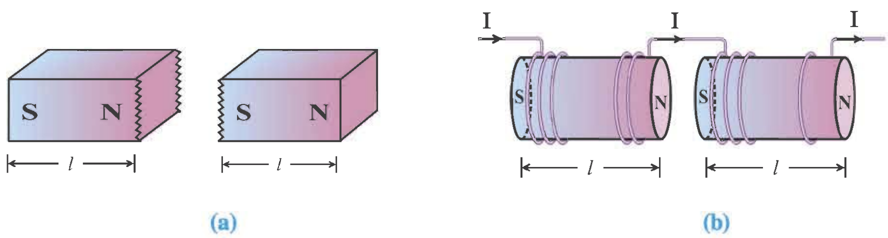
સમીકરણ (5.6.4) પરથી ધ્રુવમાનનો એકમ A m છે.

પરિચ્છેદ (5.3) માં દર્શાવ્યા મુજબ, ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ ની અક્ષ પર ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$$\vec{\mathrm{B}}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{2\vec{m}}{x^3} \tag{5.6.5}$$

આથી, ગજિયા ચુંબક અથવા સૉલેનોઇડ વડે ઉદ્‌ભવતું અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્ર, સમીકરણ (5.6.5)માં $\vec{m}$ ની જગ્યાએ અનુક્રમે $\vec{m}_b$ અથવા $\vec{m}_s$ મૂકીને ગણી શકાય.

જો ગજિયા ચુંબકના ટુકડા થાય તો શું થાય ?



આકૃતિ 5.9 ગજિયા ચુંબકના અને સૉલેનોઇડના ટુકડા

જો આકૃતિ 5.8માં દર્શાવેલ સૉલેનોઇડના બે સરખા ટુકડા આકૃતિ 5.9.(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ કરવામાં આવે, તો દરેક ટુકડાનું ધ્રુવમાન nIA જેટલું સમાન (અચળ) જ રહે છે, કારણ કે એકમલંબાઈ દીઠ આંટાની સંખ્યા (n) સમાન જ રહે છે. આ સામ્યતા પરથી આપણે કહી શકીએ કે ગજિયા ચુંબકના દરેક ટુકડાઓનું ધ્રુવમાન પણ સમાન જ રહે છે.

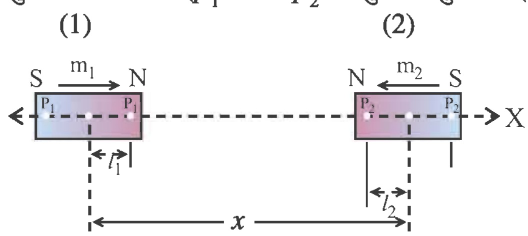
બન્ને કિસ્સાઓમાં, ચુંબકીય લંબાઈ મૂળ લંબાઈ કરતાં અડધી થાય છે. આથી, ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ પણ અડધી થાય છે.

5.6.1 સ્થિતવિદ્યુત સાથે સામ્યતા (The Electrostatic Analogue) : સમીકરણો (5.6.1) અને (5.6.5)ને વિદ્યુતભાર માટેનાં તેવાં જ સમીકરણો (પ્રકરણ 1) સાથે સરખાવો. અહીં જોઈ શકાય છે કે ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ વાળા ગજિયા ચુંબક અથવા પ્રવાહ-ગૂંચળાથી મોટા અંતર માટે ચુંબકીય ક્ષેત્રનું મૂલ્ય, ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $p = 2aq$ ધરાવતા વિદ્યુત-ડાઇપોલ વડે ઉદ્‌ભવતા વિદ્યુતક્ષેત્રનાં સમીકરણોમાં $\vec{E} \rightarrow \vec{B}$, $\vec{p} \rightarrow \vec{m}$, $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}$ મૂકીને મેળવી શકાય.

ટેબલ 5.1 : વિદ્યુત અને ચુંબકીય ડાઇપોલ વચ્ચેની સામ્યતાનો સારાંશ

રાશિ	સ્થિત-વિદ્યુતશાસ્ત્ર	ચુંબકત્વ
અચળાંક	$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$\frac{\mu_0}{4\pi}$
ક્ષેત્ર -	$\vec{E}$ q (વિદ્યુતભાર)	$\vec{B}$ p (ધ્રુવમાન)
બળ ડાઇપોલ-મોમેન્ટ	$q\vec{E}$ $\vec{p} = q(2\vec{a})$	$p\vec{B}$ $\vec{m} = p(2\vec{l})$
વિષુવવૃત્તીય ક્ષેત્ર $y >> a$ $y >> l$	$\vec{E}(y) = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}}{(y^2+a^2)^{\frac{3}{2}}}$ $= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{p}}{y^3}$	$\vec{B}(y) = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{m}}{(y^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$ $= -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{m}}{y^3}$
અક્ષીય ક્ષેત્ર $z >> a$ $z >> l$	$\vec{E}(z) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\vec{p}z}{(z^2-a^2)^2}$ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\vec{p}}{z^3}$	$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\vec{m}z}{(z^2-l^2)^2}$ $= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\vec{m}}{z^3}$
બાહ્ય ક્ષેત્રમાં ટૉર્ક	$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$	$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$
બાહ્ય ક્ષેત્રમાં સ્થિતિ-ઊર્જા	$U = -\vec{p}\cdot\vec{E}$	$U = -\vec{m}\cdot\vec{B}$

ઉદાહરણ 1 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ એક અક્ષ પર રહેલા, $\vec{m_1}$ અને $\vec{m_2}$ ડાઇપોલ-મોમેન્ટવાળા બે નાના ગજિયા ચુંબકો વચ્ચે લાગતું બળ શોધો. (p_1 અને p_2 અનુક્રમે ચુંબકો (1) અને (2)ના ધ્રુવમાન છે.)



$x >> l_1, \quad x >> l_2$

ઉકેલ : ચુંબક (1) વડે ચુંબક (2) પર લાગતું બળ શોધવા માટે, ચુંબક (1) વડે ચુંબક (2)ના ધ્રુવો પાસે ઉદ્‌ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર શોધો. ચુંબક (1)ની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ m_1 વડે ચુંબક (2)ના ઉત્તર ધ્રુવ પાસે ઉદ્‌ભવતું અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્ર (આકૃતિ પરથી)

$$B_N = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m_1}{(x-l_2)^3} \tag{1}$$

તે જ રીતે ચુંબક (2) ના દક્ષિણ ધ્રુવ પાસે ઉદ્‌ભવતું અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$$B_S = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m_1}{(x+l_2)^3} \tag{2}$$

આથી, ચુંબક (2)ના p_2 ધ્રુવમાનવાળા ઉત્તર ધ્રુવ પર લાગતું અપાકર્ષી બળ F_N (સ્થિતવિદ્યુતના સૂત્ર $F = qE$ મુજબ)

$$F_N = p_2 B_N = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2p_2 m_1}{(x-l_2)^3} \tag{3}$$

જે ચુંબક (1)થી દૂરની તરફ લાગે છે.

તે જ રીતે ચુંબક (2)ના દક્ષિણ ધ્રુવ પર લાગતું આકર્ષી બળ

$$F_S = p_2 B_S = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2p_2 m_1}{(x+l_2)^3} \tag{4}$$

જે ચુંબક (1) તરફ લાગે છે.

આથી, ચુંબક (2) પર લાગતું પરિણામી બળ

$$F = F_N - F_S$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot 2p_2 m_1 \left[\frac{1}{(x-l_2)^3} - \frac{1}{(x+l_2)^3}\right] = \frac{\mu_0}{2\pi} \; p_2 m_1 \left[\frac{(x+l_2)^3 - (x-l_2)^3}{\{(x-l_2)(x+l_2)\}^3}\right]$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \; p_2 m_1 \left[\frac{6x^2 l_2}{(x^2 - l_2^{\,2})^3}\right]$$ [કારણ કે $(a \pm b)^3 = a^3 \pm b^3 \pm 3ab(a \pm b)$ અને અંશમાં $l_2^{\,3} << x^2 l_2$]

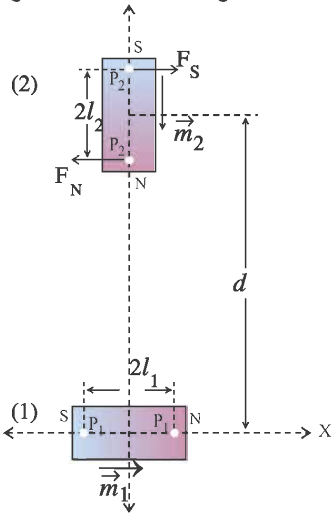
$$\therefore \; F = \frac{\mu_0 m_1}{2\pi} \cdot \frac{2l_2 p_2 \cdot 3x^2}{x^6}$$ ($\because$ $l_2^2 << x^2$, હોવાથી l_2^2ને અવગણી શકાય.)

$$\therefore \; F = \frac{3\mu_0 m_1 m_2}{2\pi x^4} \tag{5}$$

જ્યાં $m_2 = 2l_2 p_2$ = ચુંબક (2)ની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ આ પરિણામી બળ ચુંબકોની આપેલ ગોઠવણી માટે અપાકર્ષી છે અને તે ચુંબક (2) પર ચુંબક (1)થી દૂર તરફ લાગે છે.

[જો બે માંથી કોઈ એક ચુંબકની દિશા ઉલટાવી નાખવામાં આવે, તો પરિણામી બળ કેવું હશે ? વિચારો !]

ઉદાહરણ 2 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ એકબીજાને લંબરૂપે મૂકેલા બે નાના ગજિયા ચુંબકો માટે ચુંબક (1) વડે ચુંબક (2) પર લાગતું ટૉર્ક શોધો. ($l_1 << d, l_2 << d$)



ઉકેલ : આકૃતિ પરથી જોઈ શકાય છે કે ચુંબક (2) ના બન્ને ધ્રુવો ચુંબક (1)ની વિષુવરેખા પર આવેલા છે.

નાના ગજિયા ચુંબક (1) વડે તેના વિષુવવૃત્તીય સમતલમાં રહેલા ચુંબક (2)ના ઉત્તર ધ્રુવ પર $(d - l_2)$ અંતરે ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$$B_N = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1}{(d-l_2)^3} \quad (1)$$

તે જ રીતે ચુંબક (1) વડે તેના વિષુવવૃત્તીય સમતલમાં રહેલા ચુંબક (2) ના દક્ષિણ ધ્રુવ પર $(d + l_2)$ અંતરે ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$$B_S = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1}{(d+l_2)^3} \quad (2)$$

આથી, ચુંબક (2)ના p_2 ધ્રુવમાનવાળા ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો પર લાગતાં બળો F_N અને F_Sનાં મૂલ્યો

$$F_N = p_2 B_N = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 p_2}{(d-l_2)^3} \quad (3)$$

$$F_S = p_2 B_S = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1 p_2}{(d+l_2)^3} \quad (4)$$

પરંતુ $l_1 << d$ અને $l_2 << d$ હોવાથી, l_1 અને l_2ને સમીકરણો (3) અને (4)માં dની સાપેક્ષે અવગણી શકાય.

$$\therefore F_S = F_N = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1 p_2}{d^3} \quad (5)$$

અહીં ચુંબક (2) પર લાગતાં બળો F_S અને F_N વિરુદ્ધ દિશામાં લાગે છે, પરંતુ એકરેખસ્થ નથી, તેથી તે બળયુગ્મ રચે છે. આમ, આ બળોના કારણે લાગતું ટૉર્ક

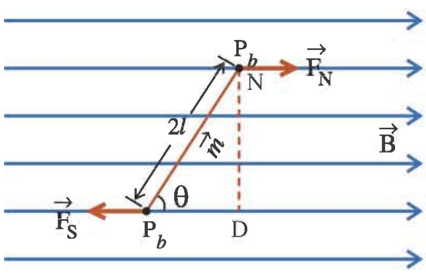
$$\vec{\tau} = \vec{F}_N \times 2\vec{l}_2 = \vec{F}_S \times 2\vec{l}_2$$

પરંતુ $\vec{F}_N \perp \vec{l}_2$ અને $\vec{F}_S \perp \vec{l}_2$ હોવાથી ચુંબક (2)ના કેન્દ્રની સાપેક્ષે ટૉર્કનું મૂલ્ય

$$\tau = 2F_N l_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1 2l_2 p_2}{d^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m_1 m_2}{d^3} \quad (6)$$

જ્યાં $2l_2 p_2 = m_2$ = ચુંબક (2)ની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ.

5.7 ચુંબકીય ડાઇપોલ (ગજિયા ચુંબક) પર નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં લાગતું ટૉર્ક (Torque Acting on a Magnetic Dipole (Bar Magnet) in a Uniform Magnetic Field)



આકૃતિ 5.10 નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં મેગ્નેટિક મોમેન્ટ $\vec{m}$ વાળા ચુંબકીય ડાઇપોલ પર લાગતું ટૉર્ક

પ્રકરણ 4માં તમે શીખી ગયા કે ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ ધરાવતા લંબચોરસ ગૂંચળાને નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં મૂકતાં તેના પર લાગતું ટૉર્ક

$$\left.\begin{aligned} \vec{\tau} &= \vec{m} \times \vec{B} \\ \therefore \tau &= mB\sin\theta \end{aligned}\right\} \quad (5.7.1)$$

જ્યાં θ એ $\vec{m}$ અને $\vec{B}$ વચ્ચેનો ખૂણો છે (ક્યારેક ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટને સંજ્ઞા $\vec{\mu}$ વડે પણ દર્શાવવામાં આવે છે.)

$\vec{m}$ ડાઇપોલ-મોમેન્ટવાળા ગજિયા ચુંબક અથવા ચુંબકીય સોયને નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં મૂકીને આ હકીકત સમજી શકાય છે (જુઓ આકૃતિ 5.10). ચુંબકીય ધ્રુવમાનના સંદર્ભમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$નું મૂલ્ય એકમ ધ્રુવમાન પર લાગતા બળના મૂલ્ય તરીકે ગણી શકાય.

ચુંબકીય ક્ષેત્ર, ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો પર સમાન પરંતુ વિરુદ્ધ દિશામાંનાં બળો $\vec{F}_N$ અને $\vec{F}_S$ લગાડે છે. આ બળો એકરેખસ્થ ન હોવાથી તેઓ બળયુગ્મ રચે છે. આ બળો વચ્ચેનું લંબઅંતર ND છે. આ બળયુગ્મની અસર હેઠળ ચુંબકીય ડાઇપોલ ભ્રમણ કરીને નવા સ્થાને ગોઠવાય છે, જે ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ સાથે θ ખૂણો બનાવે છે.

સમીકરણ (5.7.1)માં જો ખૂણો θ (રેડિયનમાં) નાનો હોય તો $\sin\theta \approx \theta$.

$$\therefore \ \tau = mB\theta \tag{5.7.2}$$

આકૃતિમાં આ ટૉર્ક, ડાઇપોલને ઘડિયાળની દિશામાં ભ્રમણ કરાવવા પ્રયત્ન કરે છે. જો આપણે ડાઇપોલને આ સમતુલિત સ્થિતિમાંથી વિષમઘડી દિશામાં θ ખૂણે ભ્રમણ કરાવવા પ્રયત્ન કરીએ, તો સમીકરણ (5.7.2) વડે દર્શાવેલ ટૉર્ક વિરુદ્ધ દિશામાં લાગશે. આથી આપણે આ પુનઃસ્થાપક ટૉર્કને ઋણ ચિહ્ન સાથે લખી શકીએ.

$$\therefore \ \tau = -mB\theta \tag{5.7.3}$$

ન્યૂટનના બીજા નિયમ મુજબ (ચાકગતિ માટે)

$$I_m \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mB\theta \tag{5.7.4}$$

અહીં I_m એ આકૃતિને લંબ એવી ચુંબકીય ડાઇપોલના મધ્યબિંદુમાંથી પસાર થતી અક્ષને અનુલક્ષીને ડાઇપોલની જડત્વની ચાકમાત્રા છે.

$$\therefore \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mB}{I_m}\theta = -\omega^2\theta \tag{5.7.5}$$

સમીકરણ (5.7.5) એ કોણીય સરળ આવર્તગતિના સમીકરણ જેવું સમીકરણ છે, આથી કોણીય આવૃત્તિ

$$\omega = \sqrt{\frac{mB}{I_m}} \tag{5.7.6}$$

$$\therefore \ T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I_m}{mB}}, \tag{5.7.7}$$

જેના પરથી $B = \dfrac{4\pi^2 I_m}{mT^2}$ (5.7.8)

બાહ્ય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં મુકેલા ચુંબકીય ડાઇપોલની સ્થિતિ-ઊર્જા

$$U_B = \int \tau d\theta = \int mB\sin\theta d\theta = mB\int \sin\theta d\theta$$

$$\therefore U_B = -mB\cos\theta = -\vec{m}\cdot\vec{B} \tag{5.7.9}$$

જ્યારે ચુંબકીય ડાઇપોલ, ક્ષેત્ર $\vec{B}$ને લંબરૂપે હોય, એટલે કે $\theta = 90°$ હોય, ત્યારે તેની સ્થિતિ-ઊર્જા શૂન્ય છે તેમ ગણીને સમીકરણ (5.7.9)માં આપણે સંકલનના અચળાંકને શૂન્ય લીધો છે.

$\theta = 0°$ માટે $U_B = -mB\cos 0° = -mB$

જે ચુંબકીય ડાઇપોલની મહત્તમ સ્થિત અવસ્થા દર્શાવતી લઘુતમ સ્થિતિ-ઊર્જા દર્શાવે છે.

$\theta = 180°$ માટે $U_B = -mB\cos 180° = mB$

જે ચુંબકીય ડાઇપોલની મહત્તમ અસ્થાયી અવસ્થા દર્શાવતી મહત્તમ સ્થિતિ-ઊર્જા છે.

ઉદાહરણ 3 : નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલી ચુંબકીય સોયની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ 6.7×10^{-2} A m^2 અને જડત્વની ચાકમાત્રા 15×10^{-6} kg m^2 છે. તે 6.70 sમાં 10 આંદોલન પૂરાં કરે છે, તો ચુંબકીય ક્ષેત્રનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

ઉકેલ : આંદોલનનો આવર્તકાળ $T = \frac{6.70}{10} = 0.67$ s, અને

$$B = \frac{4\pi^2 I_m}{mT^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times 15 \times 10^{-6}}{6.7 \times 10^{-2} \times (0.67)^2} = 0.02 \text{ T}$$

ઉદાહરણ 4 : 600 G જેટલા બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એક નાનો ગજિયો ચુંબક રાખેલો છે, જ્યારે તેની અક્ષ, બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્ર સાથે 30° ખૂણો બનાવે, ત્યારે તે 0.012 N *m* જેટલું ટૉર્ક અનુભવે છે.

(a) ચુંબકની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ કેટલી હશે ?

(b) તેને મહત્તમ સ્થાયી અવસ્થામાંથી મહત્તમ અસ્થાયી અવસ્થામાં લઈ જતાં કેટલું કાર્ય થયું હશે ?

(c) ગજિયા ચુંબકની જગ્યાએ તેટલી જ ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતો સૉલેનોઈડ રાખવામાં આવે છે, જેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 2×10^{-4} m^2 અને આંટાની સંખ્યા 1000 છે. સૉલેનોઈડમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય શોધો.

ઉકેલ : $B = 600$ G $= 600 \times 10^{-4}$ T, $\theta = 30°$, $\tau = 0.012$ N *m*, $N = 1000$, $A = 2 \times 10^{-4} m^2$

(a) સમીકરણ (5.7.1) પરથી

$\tau = mB\sin\theta$

$\therefore 0.012 = m \times 600 \times 10^{-4} \times \sin 30°$

$\therefore m = 0.40$ A m^2 (કારણ કે $\sin 30° = \frac{1}{2}$)

(b) સમીકરણ (5.7.9) પરથી, મહત્તમ સ્થાયી અવસ્થા $\theta = 0°$ અને મહત્તમ અસ્થાયી અવસ્થા $\theta = 180°$ એ છે. આથી, થતું કાર્ય

$W = U_B(\theta = 180°) - U_B(\theta = 0°) = mB - (-mB) = 2mB$

$= 2 \times 0.40 \times 600 \times 10^{-4} = 0.048$ J

(c) સમીકરણ (5.6.3) પરથી

$m_s = NIA$

પરંતુ $m_s = m = 0.40$ A m^2, ભાગ (a) પરથી,

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

$\therefore I = 2$ A

5.8. ચુંબકત્વ માટે ગાઉસનો નિયમ (Gauss's Law for Magnetic Field)

આકૃતિઓ (5.3-*a*) અને (5.3-*b*) પરથી આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે, કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠ, જેવા કે (i) અથવા (ii) માટે પૃષ્ઠમાં દાખલ થતી ક્ષેત્રરેખાઓ અને પૃષ્ઠમાંથી બહાર નીકળતી ક્ષેત્રરેખાઓ એકસરખી જ છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ હંમેશાં બંધ ગાળાઓ રચતી હોવાથી, કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ હંમેશાં શૂન્ય હોય છે.

$$\therefore \oint_{\text{બંધ પૃષ્ઠ}} \vec{B} \cdot \vec{da} = 0 \qquad (5.8.1)$$

જ્યાં $\vec{B}$ ચુંબકીય ક્ષેત્ર છે અને $\vec{da}$ એ બંધ પૃષ્ઠનો એક સૂક્ષ્મ પૃષ્ઠ (ક્ષેત્રફળ) સદિશ છે. "કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચોખ્ખું (કુલ અથવા net) ચુંબકીય ફલક્સ શૂન્ય હોય છે." આ વિધાનને ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટેનો ગાઉસનો નિયમ કહે છે.

વિદ્યુતક્ષેત્ર માટેના ગાઉસના નિયમ મુજબ,

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = 0 = \frac{\Sigma q}{\varepsilon_0} \tag{5.8.2}$$

સમીકરણ (5.8.2)માં જો $\sum q = 0$ હોય, તો

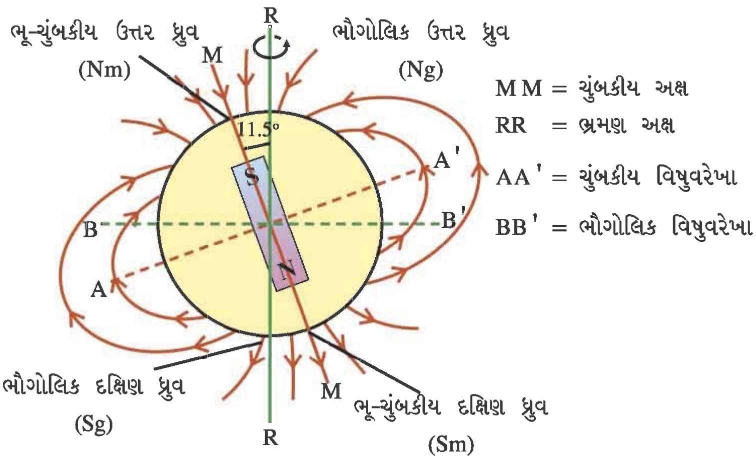
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = 0 \tag{5.8.3}$$

આ સમીકરણને સમીકરણ (5.8.1) સાથે સરખાવતાં, આપણે લખી શકીએ કે ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટેનો ગાઉસનો નિયમ દર્શાવે છે કે કોઈ પણ ચોખ્ખો ચુંબકીય એકાકી ધ્રુવ (ચુંબકીયભાર ?) બંધ પૃષ્ઠ વડે ઘેરાયેલો હોતો નથી. ચુંબકીય ફલક્સનો એકમ વેબર (Wb) છે.

$1\ \text{Wb} = 1\ \text{T m}^2 = 1\ \text{N m A}^{-1}$

5.9. પૃથ્વીનું ચુંબકત્વ અને ચુંબકીય તત્ત્વો (The Magnetism of Earth અને Magnetic Elements)

હવે આપણે જાણીએ છીએ કે પૃથ્વીને પોતાનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર છે. પૃથ્વીની સપાટી પર આ ચુંબકીય ક્ષેત્ર 10^{-5} T (T = ટેસ્લા)ના ક્રમનું છે. પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર, આકૃતિ 5.11માં દર્શાવ્યા મુજબ (કાલ્પનિક) ચુંબકીય ડાઇપોલના ચુંબકીય ક્ષેત્રને મળતું આવે છે.

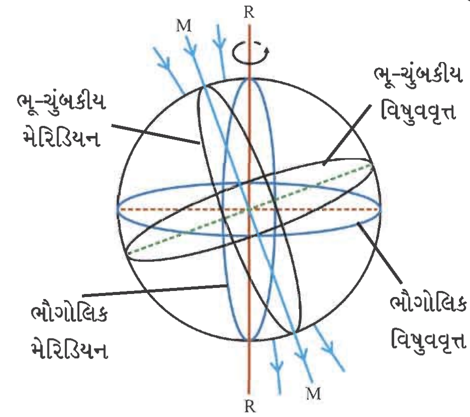


આકૃતિ 5.11 પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર

આ (કાલ્પનિક) ચુંબકની ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$, 8.0×10^{22} J T^{-1}ના ક્રમની છે. આ ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $\vec{m}$ની અક્ષ MM, પૃથ્વીની ભ્રમણઅક્ષ RR પર આવેલ નથી, પરંતુ તે લગભગ 11.5° ઢળતી (કોણ બનાવે) છે. ચુંબકીય ડાઇપોલની અક્ષ MM પૃથ્વીના ભૌગોલિક ઉત્તર ધ્રુવને ઉત્તર કૅનેડામાં કોઈ જગ્યાએ અને ભૌગોલિક દક્ષિણ ધ્રુવને એન્ટાર્કટિકામાં છેદે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ દક્ષિણ ગોળાર્ધમાંથી નીકળે છે અને ઉત્તર ગોળાર્ધમાં પ્રવેશે છે. સમક્ષિતિજ સમતલમાં મુક્ત રીતે ભ્રમણ કરી શકે તેવી ચુંબકીય સોયનો ઉત્તર ધ્રુવ જે દિશામાં સ્થિર થાય છે તે દિશામાં પૃથ્વીના ડાઇપોલનો દક્ષિણ ધ્રુવ રહેલો છે. આપણે સામાન્ય રીતે પૃથ્વી પરની આ દિશાને "પૃથ્વીના ચુંબકીય ઉત્તર" તરીકે ઓળકીએ છીએ. પૃથ્વીના ચુંબકીય ધ્રુવો તેના ભૌગોલિક ધ્રુવોથી આશરે 2000 km દૂર આવેલા છે.

ભૌગોલિક અને ભૂ-ચુંબકીય વિષુવરેખાઓ એકબીજાને 6° પશ્ચિમ અને 174° પૂર્વરેખાંશ પર છેદે છે. ભારતમાં ત્રિવેન્દ્રમ પાસેનું થુમ્બા, ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત પર હોવાથી, તેને રૉકેટ-પ્રક્ષેપણ કેન્દ્ર તરીકે પસંદ કરવામાં આવ્યું છે.

પૃથ્વી પરના દરેક સ્થળને કોઈક અક્ષાંશ અને રેખાંશ હોય છે, જે કોઈ પણ સારા પંચાંગના પુસ્તકમાંથી મળી શકે. પૃથ્વી પરના કોઈ પણ સ્થળેથી પસાર થતું રેખાંશવૃત્ત તે સ્થળે ભૌગોલિક ઉત્તર-દક્ષિણ દિશા નક્કી કરે છે. પૃથ્વીની સપાટી પર કોઈ પણ સ્થળે રેખાંશવૃત્ત અને ભૌગોલિક ભ્રમણઅક્ષમાંથી પસાર થતા કાલ્પનિક સમતલને **ભૌગોલિક મેરિડિયન** કહેવાય (જુઓ આકૃતિ 5.12) છે.



આકૃતિ 5.12 પૃથ્વીના ભૌગોલિક અને ભૂ-ચુંબકીય, વિષુવવૃત્ત અને મેરિડિયન

આ ઉપરાંત પૃથ્વીના દરેક સ્થળેથી ભૂચુંબકીય ડાઇપોલની ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ પણ પસાર થતી હોય છે. આથી, **પૃથ્વીની સપાટી પર કોઈ સ્થળે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખા સમાવતા અને ચુંબકીય અક્ષમાંથી પસાર થતા કાલ્પનિક સમતલને ચુંબકીય મેરિડિયન કહે છે.**

ઉદાહરણ 5 : પૃથ્વીના ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત પર કોઈ સ્થળે ચુંબકીય ક્ષેત્ર 0.4 G છે. પૃથ્વીની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ શોધો. આ સ્થળે પૃથ્વીની ત્રિજ્યા 6.4×10^6 m ધારો. ($\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$, અને 1 G $= 10^{-4}$ T)

ઉકેલ : સમીકરણ (5.6.6) પરથી વિષુવરેખા પરનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર

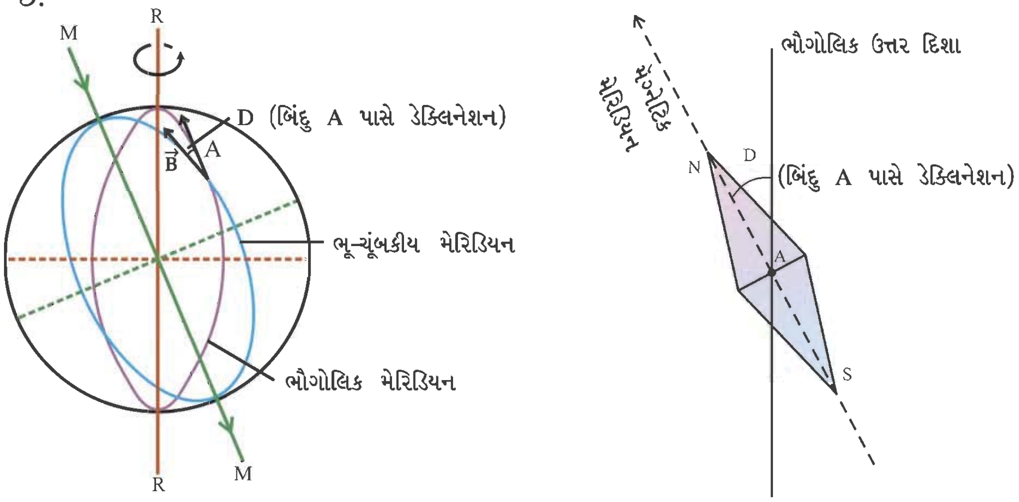
$$B_E = \frac{\mu_0 m}{4\pi y^3}$$

પરંતુ $B_E = 0.4$ G $= 4 \times 10^{-5}$ T

$$\therefore\ m = \frac{4\pi y^3 B_E}{\mu_0} = \frac{B_E y^3}{\left(\mu_0/4\pi\right)} = \frac{4\times10^{-5}\times(6.4\times10^6)^3}{10^{-7}} = 1.05 \times 10^{23}\ \text{Am}^2$$

5.9.1. ભૂ-ચુંબકીય તત્ત્વો (Geomagnetic Elements) : પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનું વૈજ્ઞાનિક ઢબે વર્ણન કરવા માટે કેટલાંક ચુંબકીય પ્રાચલો (parameters) વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવ્યાં છે, જેમને ભૂ-ચુંબકીય તત્ત્વો કહે છે.

મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન (Magnetic Declination) : કોઈ પણ સ્થળે મૅગ્નેટિક મેરિડિયન અને ભૌગોલિક મેરિડિયન વચ્ચેના ખૂણાને તે સ્થળનું મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન કહે છે. બીજા શબ્દોમાં પૃથ્વીની સપાટી પર કોઈ પણ સ્થળે સાચા ભૌગોલિક ઉત્તર અને ભૂ-ચુંબકીય ઉત્તર વચ્ચેનો ખૂણો એટલે તે સ્થળ પાસેનું મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન (D) અથવા ફક્ત ડેક્લિનેશન છે.



(a) પૃથ્વીની સપાટી પર A બિંદુએ ડેક્લિનેશન (b) બિંદુ A પાસે સમતલ સપાટીમાં રાખેલી ચુંબકીય સોય

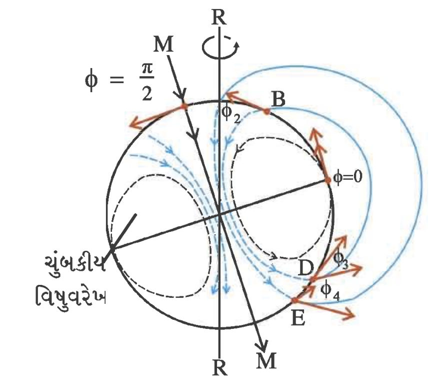
આકૃતિ 5.13

આકૃતિ 5.13 (a)માં પૃથ્વીની સપાટી પરનું બિંદુ A દર્શાવ્યું છે. આ બિંદુએ સાચી ભૌગોલિક ઉત્તર દિશા, તે બિંદુ પાસેથી પસાર થતાં ભૌગોલિક મેરિડિયનના રેખાંશવૃત્ત (ને A બિંદુએ દોરેલ સ્પર્શક)ની દિશા પરથી મળી શકે. જો કોઈ ચુંબકીય સોયને, તે સમતલ સપાટીમાં મુક્ત ભ્રમણ કરી શકે તેમ રાખી હોય, તો તે A બિંદુએ ચુંબકીય મેરિડિયનની દિશામાં ગોઠવાય છે. ચુંબકીય સોયનો ઉત્તર ધ્રુવ, ભૂ-ચુંબકીય ઉત્તર ચુંબકીય મેરિડિયનને A બિંદુએ દોરેલ સ્પર્શકની દિશા દર્શાવે છે. બિંદુ A પાસે ભૌગોલિક મેરિડિયન અને ચુંબકીય મેરિડિયન વચ્ચેનો ખૂણો A બિંદુ પાસેનું મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન દર્શાવે છે.

મોટા અક્ષાંશ માટે ડેક્લિનેશન વધારે હોય છે, જ્યારે વિષુવવૃત્ત પાસે તે ઓછું હોય છે. ભારતમાં ડેક્લિનેશન નાનું છે, જેનું મૂલ્ય મુંબઈ માટે 0°58' પશ્ચિમ છે, જ્યારે દિલ્હી માટે 0°41' પૂર્વ છે. આમ, આ બન્ને સ્થળે ચુંબકીય સોય લગભગ સાચી ઉત્તર દિશા જ દર્શાવે છે.

5.9.2 મૅગ્નેટિક ડિપ ઍન્ગલ (નમનકોણ) (Magnetic dip angle or inclination) : આપેલા સ્થળે મૅગ્નેટિક ડિપ અથવા inclination (ϕ) એ મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં સમક્ષિતિજ સપાટી સાથે પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે (ઉપર અથવા નીચે તરફ) બનતો ખૂણો છે.

ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ પૃથ્વીની સપાટી પર દરેક જગ્યાએ સમક્ષિતિજ હોતી નથી, કૅનેડા પાસેના કોઈ સ્થળે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ લંબરૂપે નીચે તરફ હોય છે, જ્યારે ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત પરના કોઈ પણ સ્થળે ક્ષેત્રરેખાઓ સમક્ષિતિજ હોય છે, આમ, ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત પર ડિપ ઍન્ગલ શૂન્ય હોય છે. જેમ આપણે ચુંબકીય ધ્રુવો તરફ જઈએ તેમ ડિપ ઍન્ગલ વધે છે અને ચુંબકીય ધ્રુવો પર તે 90° થઈ જાય છે.

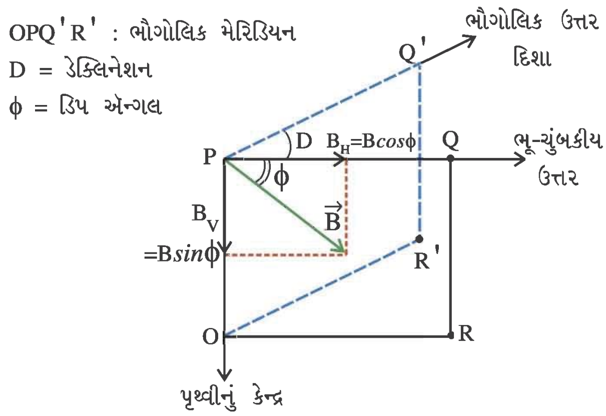


આકૃતિ 5.14 મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં પૃથ્વીની સપાટી પર જુદાં-જુદાં સ્થળે મૅગ્નેટિક ડિપ ઍન્ગલ [માત્ર જાણ સારું]

પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક અને ઊર્ધ્વ ઘટક (Horizontal Component and Veritical Component of Earth's Magnetic Field)

આકૃતિ 5.15માં કોઈ સ્થળ (P) પાસે પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર ($\vec{B}$) ડેક્લિનેશન ઍન્ગલ (D) અને ડિપ ઍન્ગલ (ϕ) દર્શાવ્યા છે.

P બિંદુ પાસે ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ને ભૂ-ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવની દિશામાંના સમક્ષિતિજ ઘટક $\vec{B}_H$ અને પૃથ્વીના કેન્દ્ર તરફના ઊર્ધ્વ ઘટક $\vec{B}_V$માં અલગ ઘટકો વડે દર્શાવ્યું છે. ભૌગોલિક મેરિડિયન સાથે $\vec{B}_H$ વડે બનતો કોણ ડેક્લિનેશન ઍન્ગલ (D) છે, જ્યારે મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં $\vec{B}_H$ અને $\vec{B}$ વચ્ચેનો કોણ એ ડિપ ઍન્ગલ અથવા inclination (ϕ) છે.



આકૃતિ 5.15 પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ના ઘટકો

ડેક્લિનેશન D, ડિપ ઍન્ગલ ϕ, અને પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રના સમક્ષિતિજ ઘટક $\vec{B}_H$ને ભૂ-ચુંબકીય ઘટકો અથવા પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રના ઘટકો કહે છે. આકૃતિ (5.15) માં દર્શાવેલ મૅગ્નેટિક મેરિડિયન OPQR માટે,

$$B_V = B sin\phi \tag{5.9.1}$$

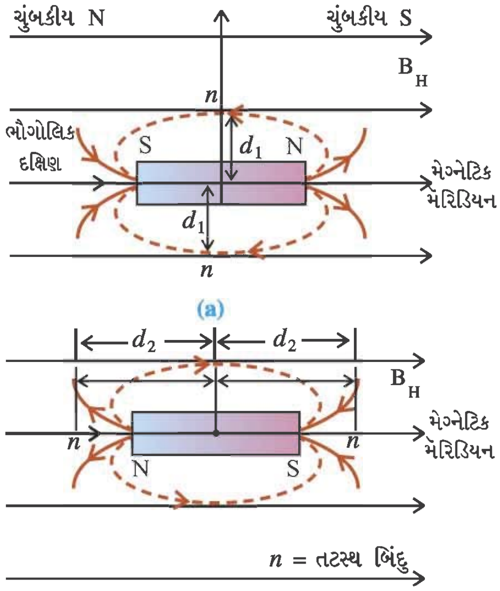
$$B_H = B cos\phi \tag{5.9.2}$$

$$\therefore\ tan\phi = \frac{B_V}{B_H} \tag{5.9.3}$$

$$\text{અને } B = \sqrt{{B_V}^2 + {B_H}^2} \tag{5.9.4}$$

ઉદાહરણ 6 : એક ટૂંકા બાર મૅગ્નેટની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ 1.6 A m^2 છે. તેને મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં એવી રીતે મૂક્યો છે કે જેથી તેનો ઉત્તર ધ્રુવ ઉત્તર દિશામાં રહે. આ સ્થિતિમાં તટસ્થબિંદુ મૅગ્નેટના કેન્દ્રથી 20 cmના અંતરે મળે છે, તો પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક શોધો.

હવે જો મૅગ્નેટને તેનો ઉત્તર ધ્રુવ દક્ષિણ દિશામાં રહે તેમ મૂકીએ તો તટસ્થબિંદુ ક્યાં મળશે ?



(a)

(b)

ઉકેલ : આકૃતિ પરથી જોઈ શકાય છે કે મૅગ્નેટની વિષુવરેખા પર પૃથ્વીના સમક્ષિતિજ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ક્ષેત્રરેખા અને ચુંબકની ક્ષેત્રરેખા એકબીજાની વિરુદ્ધ છે. આથી, આ કિસ્સામાં ચુંબકની વિષુવરેખા પર બે બિંદુઓ, ઉપર અને નીચે સમાન અંતરે, એવી રીતે મળે કે જેથી ઉપર્યુક્ત ક્ષેત્રો સમાન મૂલ્યનાં અને પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં હોય. આવાં બિંદુઓ પાસે પરિણામી ચુંબકીય ક્ષેત્ર શૂન્ય બને. આવાં બિંદુઓને તટસ્થબિંદુઓ **(null-points)** કહે છે.

અહીં, $m = 1.6 \text{ A } m^2$

તટસ્થ બિંદુનું, ચુંબકના કેન્દ્રથી અંતર, ધારો કે d_1 છે.

$\therefore d_1 = 20 \text{ cm} = 0.2 \ m$

હવે, વિષુવરેખા પર d_1 અંતરે નાના ગજિયા ચુંબક વડે મળતું ક્ષેત્ર,

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{d_1^3} = B_H \text{ થવું જોઈએ.}$$

$$\therefore B_H = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \frac{1.6}{(0.2)^3} = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$$

હવે, જો ચુંબકને (b)માં દર્શાવેલ સ્થિતિમાં મૂકવામાં આવે તો, આકૃતિ પરથી સ્પષ્ટ છે કે ચુંબકની અક્ષ પર B_H અને ચુંબકનાં ક્ષેત્રો પરસ્પર વિરુદ્ધ છે. તેથી હવે, તટસ્થબિંદુઓ અક્ષ પર મળશે.

ધારો કે ચુંબકના કેન્દ્રથી તટસ્થબિંદુઓનું અંતર d_2 છે.

$$\therefore \quad B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2m}{d_2^3} = B_H$$

$$\therefore d_2^3 = \frac{10^{-7} \cdot 2m}{B_H} = \frac{10^{-7} \times 2 \times 1.6}{2 \times 10^{-5}} = 16 \times 10^{-3}$$

$$\therefore d_2 = 2.52 \times 10^{-1} = m = 25.2 \text{ cm}$$

ઉદાહરણ 7 : એક ચુંબકને એક સ્થળે વળ વગરના તારથી મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં સમક્ષિતિજ લટકાવ્યું છે. હવે, આધાર તારના ઉપરના છેડેથી 180°નો વળ ચઢાવવામાં આવે છે. આથી, ચુંબકનું 30° જેટલું આવર્તન થાય છે. હવે, આ ચુંબકના બદલે બીજું ચુંબક લઈ તારના ઉપરના છેડે 270°નો વળ ચઢાવતાં તેનું પણ 30° જેટલું આવર્તન થતું હોય, તો આ બંને ચુંબકોની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ સરખાવો.

ઉકેલ : જો તારમાં ચઢતો (પરિણામી) વળ δ હોય તો,

$$\delta_1 = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ = 150 \times \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

$$\text{અને } \delta_2 = 270^\circ - 30^\circ = 240^\circ = 240 \times \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

જો તારનો વળ-અચળાંક k હોય તો, પુનઃસ્થાપક ટૉર્ક $\tau_1 = k\delta_1$ અને $\tau_2 = k\delta_2$

હવે, પ્રથમ ચુંબક જો મૅગ્નેટિક મેરિડિયન સાથે α કોણ બનાવતું હોય, તો તેના પર પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રના કારણે લાગતું ટૉર્ક

$\tau_1' = m_1 B_H \ sin\alpha$

બીજા ચુંબકનું આવર્તન પણ આટલું જ થતું હોવાથી,

$\tau_2' = m_2 B_H \sin\alpha$

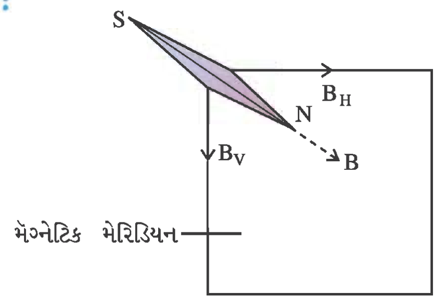
સમતોલન સ્થિતિમાં, $\tau_1 = \tau_1'$ અને τ_2, τ_2'

$$\frac{\tau_1'}{\tau_2'} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

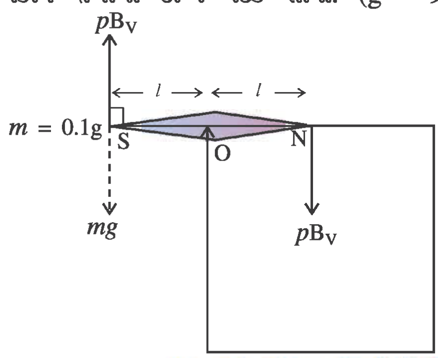
$$\therefore \frac{m_1}{m_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{150}{240} = \frac{5}{8}$$

ઉદાહરણ 8 : એક વળ વગરની દોરી વડે એક ચુંબકીય સોયને મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં ભ્રમણ કરી શકે તેમ લટકાવવામાં આવી છે. તે સમક્ષિતિજ રહી શકે તે માટે તેના એક છેડા પર 0.1 g વજન મૂકવું પડે છે. જો આ સોયનું ચુંબકીય ધ્રુવમાન 10 A m હોય, તો આ સ્થળે પૃથ્વીનાં ચુંબકીય ક્ષેત્રોનો ઊર્ધ્વ ઘટક શોધો. ($g = 9.8$ m s^{-2})

ઉકેલ :



(a) સામાન્ય સ્થિતિ



(b) વજન મૂક્યા બાદની સ્થિતિ

આકૃતિ (a)માં જ્યારે કોઈ વજન મૂકેલ નથી તે વખતની ચુંબકીય સોયની મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં સ્થિતિ દર્શાવી છે.

આકૃતિ (b)માં સોયના S ધ્રુવ પર m જેટલું દળ મુકેલ છે.

સોય સમક્ષિતિજ રહે તે માટે આકૃતિ (b) માં દર્શાવેલ બધાં બળોના ટૉર્કનો સદિશ સરવાળો શૂન્ય થવો જોઈએ.

$\therefore -pB_V(l) - pB_V(l) + m.g(l) = 0$

[અત્રે સમઘડી દિશામાં ભ્રમણ આપતા ટૉર્કને ઋણ ગણેલ છે.]

$\therefore 2pB_V = mg$

$$\therefore B_V = \frac{mg}{2p} = \frac{10^{-4} \times 9.8}{2 \times 10} \qquad m = 0.1g = 10^{-4}\ kg,$$

$$\therefore B_V = 4.9 \times 10^{-5}\ T \qquad p = 10\ A\ m$$

ઉદાહરણ 9 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મૅગ્નેટિક મેરિડિયન સાથે સમતલ PSTU એ α કોણ બનાવે છે અને સમતલ PSVW $(90° - \alpha)$ કોણ બનાવે છે. α કોણ બનાવતા PSTU મૅગ્નેટિક ડિપ ઍન્ગલનું મૂલ્ય માપતા તે ϕ_1 છે અને સમતલ PSVWમાં તેનું મૂલ્ય ϕ_2 છે. જો આ સ્થળે સાચો ડિપ ઍન્ગલ ϕ હોય, તો સાબિત કરો કે, $\cot^2\phi = \cot^2\phi_1 + \cot^2\phi_2$.

ઉકેલ : $\tan\phi = \dfrac{B_V}{B_H}$ (1)

હવે સમતલ PSTUમાં સમક્ષિતિજ ઘટક $B_H \cos\alpha$ બને છે.

$$\therefore \tan\phi_1 = \frac{B_V}{B_H \cos\alpha} \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_1} = \tan\phi\ \cot\phi_1$$

(સમીકરણ (1) પરથી) (2)

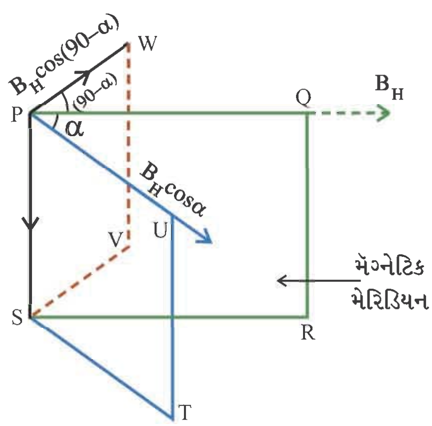
તેવી જ રીતે સમતલ PSVW માટે

$\sin\alpha = \tan\phi \cdot \cot\phi_2$ (3)

સમીકરણ (2) અને (3)નો વર્ગ કરી સરવાળો કરતાં,

$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1 = \tan^2\phi\ (\cot^2\phi_1 + \cot^2\phi_2)$

$\therefore \cot^2\phi = \cot^2\phi_1 + \cot^2\phi_2$



5.10 મૅગ્નેટાઇઝેશન અને મૅગ્નેટિક તીવ્રતા (Magnetization અને Magnetic Intensity)

ધારો કે N આંટાવાળા એક સૉલેનોઇડની લંબાઈ l છે. જો તેમાંથી I_f પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે, તો સૉલેનોઇડમાં ઉત્પન્ન થયેલું ચુંબકીય ક્ષેત્ર (શૂન્યાવકાશ કે હવામાં),

$$B_0 = \mu_0 n I_f \tag{5.10.1}$$

જ્યાં $n = \frac{N}{l}$ = સૉલેનોઇડની એકમલંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા

આ પ્રવાહ I_fને મુક્ત પ્રવાહ (free current) કહે છે. જો આપણે એકમલંબાઈ દીઠ મુક્ત પ્રવાહને i_f વડે દર્શાવીએ, તો

$$i_f = nI_f \tag{5.10.2}$$

$$\therefore\ B_0 = \mu_0 i_f \tag{5.10.3}$$

જે પદાર્થ (દ્રવ્ય)ના ચુંબકીય ગુણધર્મોનો અભ્યાસ કરવાનો હોય તેને આ સૉલેનોઇડમાં મૂકવામાં આવે છે. ધારો કે પદાર્થની લંબાઈ l છે અને તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ A છે. મૅગ્નેટાઇઝિંગ પ્રવાહ I_fના કારણે સૉલેનોઇડમાં ઉત્પન્ન થયેલું ચુંબકીય ક્ષેત્ર B_0, આ પદાર્થને મૅગ્નેટાઇઝ કરે છે કે જેથી તેમાં ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ, ધારો કે $\vec{m}$ ઉત્પન્ન થાય છે. પદાર્થની આ ચુંબકીય ચાકમાત્રા તેની સપાટી પર ઉદ્ભવેલા (પ્રેરિત) પ્રવાહ લૂપમાં વહેતા પ્રવાહ I_bના કારણે છે, તેમ ગણી શકાય. આ પ્રવાહને બદ્ધ પ્રવાહ કહે છે. આ પ્રવાહ લૂપની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ

$$\vec{m} = I_b \vec{A} \tag{5.10.4}$$

જ્યાં A = પદાર્થના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ = પ્રવાહ લૂપનું ક્ષેત્રફળ

પદાર્થના એકમકદ દીઠ ઉદ્ભવેલી (પ્રેરિત) કુલ (net) ડાઈપોલ-મોમેન્ટને પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન M કહે છે. આમ,

$$M = \frac{m}{V} = \frac{I_b A}{lA} = \frac{I_b}{l} = i_b \tag{5.10.5}$$

અહીં $i_b = \frac{I_b}{l}$ = પદાર્થની એકમલંબાઈ દીઠ બદ્ધ પ્રવાહ

M નો એકમ A m^2 m^{-3} = A m^{-1} છે.

અહીં M એ સદિશ રાશી છે. જેની દિશા $\vec{m}$ની દિશામાં હોય છે.

આમ, સૉલેનોઇડમાં મૂકેલા મૅગ્નેટિક કોર પદાર્થમાં કુલ ચુંબકીય ક્ષેત્ર બન્ને પ્રવાહો i_f અને i_bના કારણે છે.

$$\therefore\ B = \mu_0 (i_f + i_b) \tag{5.10.6}$$

સમીકરણ (5.10.5)નો ઉપયોગ સમીકરણ (5.10.6)માં કરતાં

$$B = \mu_0 (i_f + M) \tag{5.10.7}$$

$$\therefore\ \frac{B}{\mu_0} - M = i_f \tag{5.10.8}$$

અહીં $\frac{B}{\mu_0} - M$ને ચુંબકીય તીવ્રતા H તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે અને તેનું મૂલ્ય મૅગ્નેટાઇઝિંગ પ્રવાહ i_f જેટલું હોય છે. એટલે કે,

$$\frac{B}{\mu_0} - M = H = i_f \tag{5.10.9}$$

$$B = \mu_0 (H + M) \tag{5.10.10}$$

આમ, પદાર્થની અંદર ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર B, H અને M પર આધારિત છે. વળી, એવું જણાય છે કે, જો H બહુ પ્રબળ ન હોય તો પદાર્થમાં ઉદ્ભવતું મૅગ્નેટાઇઝેશન M, ચુંબકીય તીવ્રતા Hના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$\therefore$ $M = \chi_m H$ (5.10.11)

જ્યાં χ_m એ અચળાંક છે, જેને તે પદાર્થના દ્રવ્યની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી કહે છે. તે પરિમાણરહીત રાશિ છે. તેનું મૂલ્ય પદાર્થના દ્રવ્યની જાત અને તાપમાન પર આધારિત છે. તેના વડે પદાર્થ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં કેવા પ્રકારની વર્તણૂક ધરાવતો હશે, તેની માહિતી મળે છે. કેટલાક પદાર્થોની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી ટેબલ (5.2)માં માત્ર જાણકારી માટે સારું આપી છે.

ટેબલ 5.2 300 K તાપમાને કેટલાક પદાર્થોની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી
(માત્ર જાણ સારું)

ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થ	χ_m	પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થ	χ_m
બિસ્મથ	-1.66×10^{-5}	ઍલ્યુમિનિયમ	2.3×10^{-5}
તાંબું	-9.8×10^{-6}	કેલ્શિયમ	1.9×10^{-5}
હીરો	-2.2×10^{-5}	ક્રોમિયમ	2.7×10^{-4}
સોનું	-3.6×10^{-5}	લિથિયમ	2.1×10^{-5}
સીસું	-1.7×10^{-5}	મૅગ્નેશિયમ	1.2×10^{-5}
પારો	-2.9×10^{-5}	નિઓલિયમ	2.6×10^{-5}
નાઇટ્રોજન (STP)	-5.0×10^{-9}	ઑક્સિજન (STP)	2.1×10^{-6}
ચાંદી	-2.6×10^{-5}	પ્લેટિનમ	2.9×10^{-4}
સિલિકોન	-4.2×10^{-6}	ટંગસ્ટન	6.8×10^{-5}

સમીકરણ (5.10.6)નું અર્થઘટન કરતાં જણાય છે કે સૉલેનોઇડમાં મૅગ્નેટિક પદાર્થ મૂક્યા વગર જો સૉલેનોઇડમાં તેટલું જ ચુંબકીય ક્ષેત્ર $[B = \mu_0 (i_f + i_b)]$ ઉત્પન્ન કરવું હોય તો સોલેનોઇડમાંથી I_f ઉપરાંત વધારાનો પ્રવાહ I_m પસાર કરવો પડે કે જેથી એકમ લંબાઈ દીઠ વધારાનો મૅગ્નેટાઇઝિંગ પ્રવાહ $nI_m = i_b$ મળે.

જે પદાર્થો માટે χ_m ધન હોય તેમને પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થો કહે છે, જેમના માટે $\vec{M}$ અને $\vec{H}$ બન્ને એક દિશામાં હોય છે. જે પદાર્થો માટે χ_m ઋણ હોય તેમને ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થો કહે છે, જેમના માટે $\vec{M}$ અને $\vec{H}$ એકબીજાની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે.

સમીકરણ (5.10.11) સમીકરણ (5.10.10)માં મૂકતાં,

$B = \mu_0 [H + \chi_m H] = \mu_0 (1 + \chi_m) H = \mu H$ (5.10.12)

જ્યાં $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$ને પદાર્થની પરમીએબિલિટી (મૅગ્નેટિક પરમીએબિલિટી) કહે છે.

$\frac{\mu}{\mu_0}$ ને પદાર્થની સાપેક્ષ પરમીએબિલિટી કહે છે, જેને μ_r વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

$\therefore$ $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m$ (5.10.13)

જે પરથી,

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \qquad (5.10.14)$$

નોંધ : શૂન્યાવકાશનું મૅગ્નેટાઇઝેશન થઈ શકતું નથી. આથી શૂન્યાવકાશ માટે $M = 0$ હોય છે. આથી શૂન્યાવકાશ માટે, સમીકરણ (5.10.10) પરથી $B = \mu_0 H$.

ઉદાહરણ 10 : એક સૉલેનોઇડમાં મૂકેલા દ્રવ્યની સાપેક્ષ પરમીએબિલિટી 400 છે. સૉલેનોઇડના તારમાંથી વહેતો પ્રવાહ 2A છે. જો એક સેન્ટિમીટર લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા 10 હોય, તો

(a) H, (b) B, (c) χ_m (d) M અને (e) વધારાના મૅગ્નેટાઇઝિંગ (મૅગ્નેટાઇઝેશન) પ્રવાહ I_mનું મૂલ્ય શોધો. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1} લો).

ઉકેલ : અહીંયાં, $\mu_r = 400$, I = 2A, $n = 10 \dfrac{\text{આંટા}}{\text{cm}} = 1000 \dfrac{\text{આંટા}}{\text{m}}$

(a) ચુંબકીય તીવ્રતા $H = i_f = nI = 1000 \times 2 = 2000$ A m^{-1}

(b) ચુંબકીય ક્ષેત્ર $B = \mu_0 \mu_r H = 4\pi \times 10^{-7} \times 400 \times 2000 = 1.0$ T

(c) સૉલેનોઇડના કોરમાં રહેલા દ્રવ્યની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી

$\chi_m = \mu_r - 1 = 400 - 1 = 399$

(d) મૅગ્નેટાઇઝેશન

$M = \chi_m H = 399 \times 2000 = 7.98 \times 10^5 \approx 8 \times 10^5$ A m^{-1}

(e) વધારાનો મૅગ્નેટાઇઝિંગ (મૅગ્નેટાઇઝેશન) પ્રવાહ I_m સમીકરણ $M = nI_m = i_b$ પરથી

$$I_m = \frac{M}{n} = \frac{8 \times 10^5}{1000} = 800 \text{ A}$$

ઉદાહરણ 11 : વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરતા એક ટોરોઇડના વાઇન્ડિંગ વચ્ચેનો અવકાશ 6.8×10^{-5} સસેપ્ટિબિલિટીવાળા ટંગસ્ટન વડે ભરેલો છે, તો પદાર્થમાંનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર, ટંગસ્ટનની ગેરહાજરીમાં જે ચુંબકીય ક્ષેત્ર હોય તેના કરતાં કેટલા ટકા વધ્યું હશે ?

ઉકેલ : ટંગસ્ટનની ગેરહાજરીમાં, પ્રવાહધારિત ટોરોઇડમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$B_0 = \mu_0 H$

આ પ્રવાહધારિત ટોરોઇડમાં ટંગસ્ટન ભર્યા બાદ ચુંબકીય ક્ષેત્ર

$B = \mu H$

$$\therefore \frac{B - B_0}{B_0} = \frac{\mu - \mu_0}{\mu_0}$$

પરંતુ $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \Rightarrow \dfrac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m \Rightarrow \dfrac{\mu}{\mu_0} - 1 = \chi_m \Rightarrow \dfrac{\mu - \mu_0}{\mu_0} = \chi_m$

આથી $\dfrac{B - B_0}{B_0} = \chi_m$

$\therefore$ ટંગસ્ટન ભર્યા બાદ પ્રવાહધારિત ટોરોઇડના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં થતો વધારો ટકાવારીમાં

$$\frac{B - B_0}{B_0} \times 100 = (6.8 \times 10^{-5}) \times 100 = 6.8 \times 10^{-3} \%$$

5.11 દ્રવ્ય (પદાર્થ)ના ચુંબકીય ગુણધર્મો : ડાયા, પેરા અને ફેરો મૅગ્નેટિઝમ (Magnetic Properties of Materials : Dia, Para and Ferro Magnetism)

આપણે જાણીએ છીએ કે અણુમાં રહેલા દરેક ઇલેક્ટ્રૉનની મૅગ્નેટિક ડાઇપોલ-મોમેન્ટ, તેની કક્ષીય મૅગ્નેટિક ડાઇપોલ-મોમેન્ટ અને સ્પિન ડાઇપોલ-મોમેન્ટના સદિશ સરવાળા જેટલી હોય છે. અણુમાં આ રીતે દરેક ઇલેક્ટ્રૉનની પરિણામી મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ સદિશ સરવાળા રૂપે ગણી શકાય. જો આવી દરેક મૅગ્નેટિક મોમેન્ટની પરિણામી મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરતી હોય, તો તે પદાર્થ (દ્રવ્ય) **મૅગ્નેટિક** પદાર્થ કહેવાય.

બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર હેઠળ પદાર્થની વર્તણૂકના આધારે તેનું વર્ગીકરણ ડાયામૅગ્નેટિક, પેરામૅગ્નેટિક અથવા ફેરો મૅગ્નેટિક પદાર્થ તરીકે કરવામાં આવે છે. ડાયા, પેરા અને ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થોનું વર્ગીકરણ તેમની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી, સાપેક્ષ પરમીએબિલિટી અને પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થનું માત્રાત્મક વર્ગીકરણ કરવા માટેનો નાનો અંક εના સંદર્ભમાં ટેબલ 5.3માં ટૂંકમાં દર્શાવેલ છે. (આ εને માધ્યમની પર્મિટિવીટી ગણવાની નથી.)

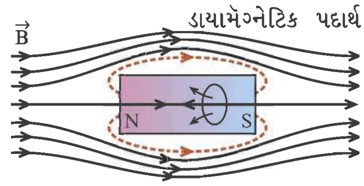
ટેબલ 5.3

ડાયામૅગ્નેટિક	પેરામૅગ્નેટિક	ફેરોમૅગ્નેટિક
$-1 < \chi_m < 0$	$0 < \chi_m < \varepsilon$	$\chi_m >> 1$
$0 \le \mu_r < 1$	$1 < \mu_r < 1 + \varepsilon$	$\mu_r >> 1$
$\mu < \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$\mu >> \mu_0$

5.11.1 ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થો : સોનું, ચાંદી, તાંબું, સિલિકોન, પાણી અને બિસ્મથ જેવા પદાર્થોના અણુ-પરમાણુઓ કાયમી ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતા નથી. ઇલેક્ટ્રૉન્સની કક્ષીય ગતિ અને તેમના સ્પિન એ પ્રકારના હોય છે કે જેથી તેમની કુલ ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ શૂન્ય થાય. આવા પદાર્થો ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થો કહેવાય છે.

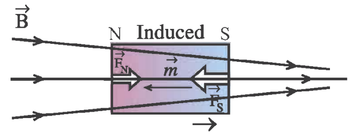
જ્યારે ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થને બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે, ત્યારે દરેક અણુમાં પરિણામી (net) મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ પ્રેરિત થાય છે જે બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે. આ કારણથી ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થનો દરેક અણુ અપાકર્ષણ અનુભવે છે.

આકૃતિ 5.16માં દર્શાવ્યા મુજબ ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થના ટુકડાને બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલ છે. $\vec{B}$ની ક્ષેત્રરેખાઓ પદાર્થમાં પ્રેરિત (નબળા) ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે અપાકર્ષણ અનુભવે છે અને તેથી પદાર્થમાં કુલ ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઘટે છે.



આકૃતિ 5.16 બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થ

જ્યારે ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થના ટુકડાને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે, ત્યારે પ્રેરિત ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં હોય છે, જ્યારે પ્રેરિત ઉત્તર ધ્રુવ તીવ્ર ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં હોય છે. આથી પ્રેરિત S-ધ્રુવ પર લાગતું ચુંબકીય બળ ($\vec{F}_S$ ડાબી તરફ) પ્રેરિત N-ધ્રુવ પર લાગતા બળ ($\vec{F}_N$ જમણી તરફ) કરતાં વધારે હોય છે. આ કારણે ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થનો ટુકડો નબળા ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ પરિણામી બળ અનુભવે છે. ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થોની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી χ_m ઋણ હોય છે. સુપર કંડક્ટર્સ માટે $\chi_m = -1$ અને $\mu_r = 0$.

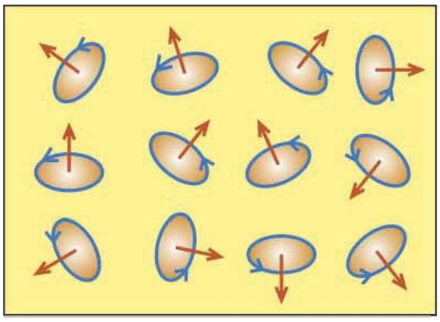


$\vec{F} = \vec{F}_S - \vec{F}_N$ (ડાબી તરફ)

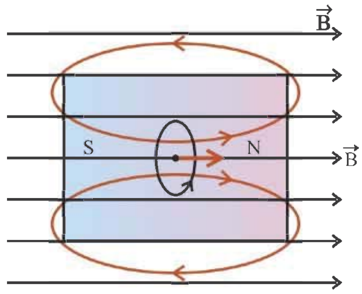
આકૃતિ 5.17 અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલા ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થ પર લાગતું બળ

જ્યારે સુપર કંડક્ટર્સને બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે ત્યારે ક્ષેત્રરેખાઓ સંપૂર્ણપણે બહાર ધકેલાય છે. સુપર કંડક્ટર્સમાં જોવા મળતું સંપૂર્ણ ડાયામૅગ્નેટિઝમ તેના શોધકના નામ પરથી મિઝનર (Meissner) અસર કહેવાય છે. સુપર કંડક્ટિંગ ચુંબકોનો ઉપયોગ ચુંબકત્વથી ઊંચકાતી ઝડપી ટ્રેઇન્સમાં કરી શકાય.

5.11.2 પેરામૅગ્નેટિઝમ : પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થમાં અણુઓ/પરમાણુઓ કાયમી ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતા હોય છે. સામાન્ય રીતે આ અણુઓ એવી રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે કે જેથી તેમની મૅગ્નેટિક ડાઇપોલ-મોમેન્ટ અસ્તવ્યસ્ત રીતે ગોઠવાયેલી હોય છે. આથી, આવા પદાર્થની પરિણામી મૅગ્નેટિક ડાઇપોલ-મોમેન્ટ શૂન્ય હોય છે (જુઓ આકૃતિ 5.18).

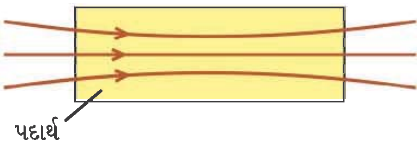


આકૃતિ 5.18 સામાન્ય સંજોગોમાં પેરામૅગ્નેટિક ડાઇપોલ્સ

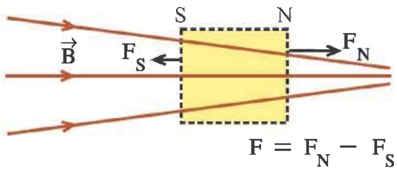


આકૃતિ 5.19 $\vec{B}$ ને સમાંતર ગોઠવાયેલા એક મૅગ્નેટિક ડાઇપોલની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ

જ્યારે પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થને બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં મૂકવામાં આવે, ત્યારે આ સૂક્ષ્મ ડાઇપોલ્સ ક્ષેત્ર $\vec{B}$ ની દિશામાં ગોઠવાય છે. જોકે, ઉષ્મીય ગતિના કારણે બધા જ ડાઇપોલ્સની ગોઠવણ બાહ્યક્ષેત્ર સાથે 100 % સમાંતર થતી નથી. (આકૃતિ 5.19)માં $\vec{B}$ ને સમાંતર ગોઠવાયેલા મૅગ્નેટિક ડાઇપોલનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર દર્શાવ્યું છે.



આકૃતિ 5.20 પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થમાં ક્ષેત્રરેખાઓ



આકૃતિ 5.21 અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થ

અહીં સૂક્ષ્મ ચુંબકો બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રને સમાંતર એવી રીતે ગોઠવાય છે કે જેથી અનુક્રમે આવતા બે સૂક્ષ્મ ચુંબકોના ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવો પરસ્પર સામસામે આવી એકબીજાની અસર નાબૂદ કરે છે. પરંતુ, પૃષ્ઠ પર બન્ને છેડે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ પરિણામી ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવ રચાય છે. આમ, અહીં પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન થાય છે. પદાર્થની અંદર મૅગ્નેટાઇઝેશનના કારણે ઉદ્‌ભવતી ક્ષેત્રરેખાઓ બાહ્ય ક્ષેત્રરેખાઓની દિશામાં હોય છે. આથી પદાર્થમાં ક્ષેત્રનું મૂલ્ય અને પરિણામે ક્ષેત્રરેખા ઘનતા વધી જાય છે (જુઓ આકૃતિ 5.20).

જ્યારે પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે (આકૃતિ 5.21) ત્યારે મૅગ્નેટાઇઝ્ડ પદાર્થનો પરિણામી ઉત્તર ધ્રુવ વધારે પ્રબળ ક્ષેત્ર અનુભવે છે, જ્યારે દક્ષિણધ્રુવ સરખામણીમાં નબળું ચુંબકીય ક્ષેત્ર અનુભવે છે. આથી, પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થ પર પરિણામી બળ ($F_N - F_S$) પ્રબળ ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ (જમણી તરફ) લાગે છે. વ્યવહારમાં આ બળ ઘણું નબળું હોય છે.

ઍલ્યુમિનિયમ, સોડિયમ, કૅલ્શિયમ, STPએ ઑક્સિજન અને કૉપર ક્લોરાઇડ એ પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થનાં કેટલાંક ઉદાહરણો છે. પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થોની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી χ_m ધન હોય છે.

ક્યુરિનો નિયમ : પિઅરે ક્યુરિએ 1895માં અનુભવ્યું કે પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન M બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ ના સમપ્રમાણમાં અને તેના નિરપેક્ષ તાપમાન Tના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે, જે ક્યુરિના નિયમ કહેવાય છે. જે મુજબ

$$M = C\frac{B}{T} \tag{5.11.1}$$

જ્યાં C = ક્યુરિનો અચળાંક

સમીકરણ (5.11.1) પરથી

$$M = C\frac{B}{\mu_0}\frac{\mu_0}{T} = CH\frac{\mu_0}{T}$$

$$\therefore \frac{M}{H} = \chi_m = C\frac{\mu_0}{T} \tag{5.11.2}$$

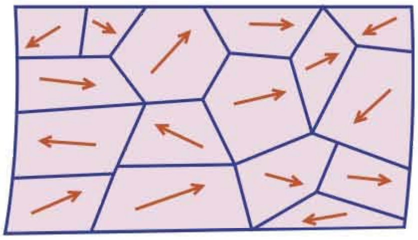
$$\therefore\ \mu_r - 1 = C\frac{\mu_0}{T} \tag{5.11.3}$$

આપણે જેમ બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્ર વધારીએ અથવા પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થનું તાપમાન ઘટાડીએ, અથવા બન્ને કાર્ય સાથે કરીએ, તેમ અણુઓની ક્ષેત્રને સમાંતર મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ વધતી જાય છે. આથી મૅગ્નેટાઇઝેશન M વધે છે. જ્યારે બધા જ અણુઓની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ બાહ્યક્ષેત્રને સમાંતર ગોઠવાઈ જાય ત્યારે M, μ_r અને χ_m મહત્તમ થાય છે. આ ઘટનાને **સંતૃપ્ત (satuaration) મૅગ્નેટાઇઝેશન** કહે છે. આ સ્થિતિ પછી ક્યુરીનો નિયમ જળવાતો નથી.

જો પદાર્થના V કદમાં N અણુઓ આવેલા હોય, અને દરેકની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ $\vec{m}$ હોય, તો સેચ્યુરાઇઝેશન મૅગ્નેટાઇઝેશન

$$\vec{M}_{max} = \frac{N\vec{m}}{V} \tag{5.11.4}$$

5.11.3 ફેરોમૅગ્નેટિઝમ : લોખંડ, કોબાલ્ટ, નિકલ તેમજ તેમની મિશ્ર ધાતુઓના અણુઓ તેમની બાહ્ય કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનના સ્પિનના કારણે કાયમી ચુંબકીય મોમેન્ટ ધરાવતા હોય છે. આ પદાર્થોના અણુઓ એવી રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે કે જેથી અમુક ચોક્કસ વિસ્તાર, (જેને **ડોમેઇન (domain)** કહે છે) પૂરતી તેમની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ એક જ દિશામાં ગોઠવાયેલી હોય છે. આવા પદાર્થને મૅગ્નેટાઇઝ ન કર્યો હોય ત્યારે આ પરિણામી મૅગ્નેટાઇઝેશન ધરાવતા ડોમેઇન્સ અસ્તવ્યસ્ત એ રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે, કે જેથી તે બધાની પરિણામી ચુંબકીય મોમેન્ટ શૂન્ય થાય (જુઓ આકૃતિ 5.22). આવા ડોમેઇનની રચના સમજવા માટે ક્વૉન્ટમ મિકેનિક્સ સમજવું પડે, જે આ પુસ્તકની મર્યાદા બહાર છે. સામાન્ય રીતે ડોમેઇનની સાઇઝ 1 mmના ક્રમની હોય છે અને એક ડોમેઇનમાં આશરે 10^{11} અણુઓ હોય છે. જુદી-જુદી દિશામાં મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ધરાવતા બાજુબાજુના ડોમેઇન્સની કિનારીઓને **ડોમેઇન વૉલ્સ (ડોમેઇનની દીવાલો)** કહે છે.



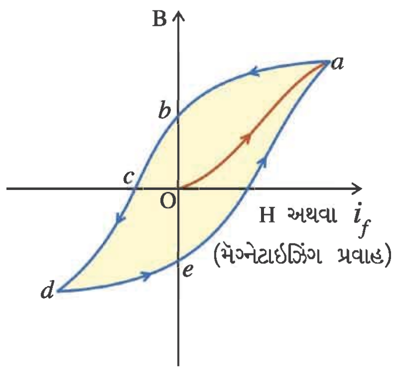
આકૃતિ 5.22
ડોમેઇન્સની અસ્તવ્યસ્ત ગોઠવણી

હિસ્ટરીસિસ (Hysteresis) : ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થ પર બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર રસપ્રદ છે. આ અસર સમજવા માટે, ધારો કે એક ચુંબકિત ન હોય તેવા ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થનું પ્રારંભિક ચુંબકીય ક્ષેત્ર B = 0 છે. ધારો કે આ પદાર્થને એક સૉલેનોઇડમાં મૂકવામાં આવે છે, જેમાં એકમલંબાઈ દીઠ n આંટા છે.

આકૃતિ 5.8(b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક નાના સૉલેનોઇડમાં, જેની ચુંબકીય વર્તણૂકનો અભ્યાસ કરવો છે, તે ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થનો સળિયો મૂકી શકીએ. સૉલેનોઇડમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં ઉત્પન્ન થતાં ચુંબકીય ક્ષેત્રને લીધે આ સળિયામાં ચુંબકીય મોમેન્ટ પ્રેરિત થાય છે. આપણે સળિયાનું કદ જાણીએ છીએ. એટલે એકમલંબાઈ દીઠ ચુંબકીય મોમેન્ટ, M પણ ગણી શકીએ. આપણે અગાઉ ભણી ગયાં છીએ કે,

$$\frac{B}{\mu_0} - M = i_f = H \text{ (જુઓ સમીકરણ (5.10.9))}$$

જ્યાં, i_f = સૉલેનોઇડ માટે એકમલંબાઈ દીઠ પ્રવાહ. H અને Mનાં પ્રાયોગિક મૂલ્યો પરથી B ગણી શકાય અને i_fનાં મૂલ્યો (એટલે કે Hનાં મૂલ્યો) બદલીને Bનાં અનુરૂપ મૂલ્યો શોધી શકાય, અને આવાં અવલોકનો પરથી B વિરુદ્ધ Hનો આલેખ દોરી શકાય આકૃતિ 5.23માં દર્શાવ્યો છે.



આકૃતિ 5.23 હિસ્ટરીસિસ લૂપ

ગ્રાફમાં બિંદુ 0 પાસે પદાર્થ સામાન્ય સ્થિતિમાં તેની (પદાર્થની) અંદરના ભાગમાં પરિણામી ચુંબકીય ક્ષેત્ર નથી. હવે H (કે i_f)માં વધારો કરતાં Bના મૂલ્યમાં વધારો થતો જાય છે, પણ આ વધારો રેખીય નથી. બિંદુ a પાસે B મહત્તમ બની જાય છે, એટલે કે સળિયો સંતૃપ્ત મૅગ્નેટાઇઝેશન સ્થિતિમાં આવે છે.

વક્ર Oa આ મુજબ સમજી શકાય : વક્ર Oથી શરૂ કરી પ્રારંભમાં, જ્યાં સુધી Hનું મૂલ્ય નાનું હોય છે, ત્યારે મોટા ભાગના પરમાણુઓ પોતપોતાના પડોશી પરમાણુઓ સાથે ગાઢ બંધનમાં હોવાથી ચુંબકીય ક્ષેત્રને ખાસ મચક આપતા નથી, પણ જે પરમાણુઓ ડોમેઇન્સની બાઉન્ડરી પાસે હોય છે, તેમની દશા ઢચુપચુ હોય છે અર્થાત્ હવે ડોમેઇન્સની સીમાઓ તીક્ષ્ણ ન રહેતાં ખસવા લાગે છે. આવી સ્થિતિમાં બે પડોશી ડોમેઇનમાંનો એક ડોમેઇન મોટો બને છે અને બીજો ડોમેઇન નાનો બને છે. હજુ, જો Hનું મૂલ્ય વધારતા જઈએ તો છેવટે સમગ્ર નમૂનામાં માત્ર એક જ ડોમેઇન રહે છે અને બિંદુ a પાસે **સંતૃપ્ત મૅગ્નેટાઇઝેશન** મળે છે.

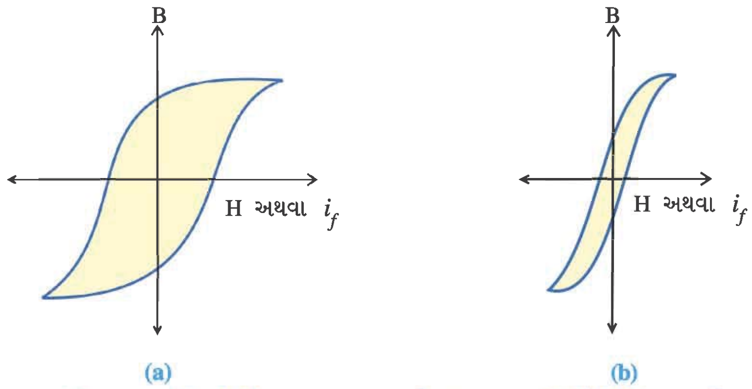
આ ઘટના પ્રતિવર્તી નથી. હવે, જો સૉલેનોઇડમાંથી પસાર થતા પ્રવાહમાં ઘટાડો કરતા જઈએ, તો પુનઃ પ્રથમ જેવું જ ડોમેઇન બંધારણ મળતું નથી અને H = 0 કરીએ ત્યારે B શૂન્ય થતો નથી, અર્થાત્ H = 0 કરીએ ત્યારે નમૂનામાં કંઈક ચુંબકીય મોમેન્ટ રહી જાય છે. આથી, H ઘટાડતાં મળતો વક્ર ab જેવો હોય છે.

H = 0 હોય ત્યારે મળતા Bના મૂલ્યને **રિટેન્ટિવિટી (retentivity કે remanence)** કહે છે. હવે, સૉલેનોઇડમાં વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઉલટાવી, પ્રવાહના મૂલ્યમાં વધારો કરવામાં આવે, તો આલેખ પર c વડે દર્શાવેલ Hના મૂલ્ય માટે B = 0 મળે છે. c પાસે Hના મૂલ્યને **કોઅર્સિવિટી (coercivity)** કહે છે. આ બિંદુ પાસે પાછા ડોમેઇન્સ (કોઈ બીજા બંધારણ પ્રમાણે) સંપૂર્ણ અસ્તવ્યસ્ત થઈ ગયાં હોય છે.

હજુ, ઊલટી દિશામાં પ્રવાહ વધારતાં B પણ ઊલટી દિશામાં વધતો જાય છે અને d પાસે ઊલટી દિશામાં્ સંતૃપ્ત મૅગ્નેટાઇઝેશન મળે છે. d પાસે પહોંચીને પ્રવાહ ઘટાડતા જઈએ, તો de વક્ર મળે છે અને પ્રવાહને પાછો ઊલટાવી, વધારતાં વક્ર ea મળે છે. આ થઈ હિસ્ટરીસિસ સાઇકલ B-H વક્ર વડે ઘેરાતું ક્ષેત્રફળ, નમૂનામાં એકમ કદ દીઠ દરેક સાઇકલમાં જૂલ-ઉષ્મા રૂપે વ્યય પામતી ઊર્જા દર્શાવે છે.

હાર્ડ ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો : જે પદાર્થોની રિટેન્ટિવિટી વધારે હોય છે, તેમને હાર્ડ ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો કહે છે. તેનો ઉપયોગ કાયમી ચુંબકો બનાવવામાં થાય છે. તેમની હિસ્ટરીસિસ સાઇકલ, દેખીતી રીતે જ પહોળી હોય છે એલ્નિકા (લોખંડની એક મિશ્રધાતુ જે Al, Ni, Co અને Cu ની બનેલી છે) હાર્ડ ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થ છે, એટલે તેમાંથી કાયમી ચુંબકો બનાવાય છે.

સૉફ્ટ ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો : જે પદાર્થોની રિટેન્ટિવિટી ઓછી હોય છે અર્થાત્ જેમની હિસ્ટરીસિસ સાઇકલ સાંકડી હોય છે (જુઓ આકૃતિ 5.24 (b)) તેવા પદાર્થોને **સૉફ્ટ ફેરોમૅગ્નેટિક** પદાર્થ કહે છે. દા.ત., નરમ લોખંડ. આ પદાર્થોનો ઉપયોગ ઇલેક્ટ્રૉમૅગ્નેટ બનાવવામાં થાય છે.



આકૃતિ 5.24 હિસ્ટરીસીસ લૂપ : (a) હાર્ડ, (b) નરમ, ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો

તાપમાનની અસર : ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થનું તાપમાન જેમજેમ વધારતા જઈએ, તેમતેમ ડોમેઇન બંધારણ વિકૃત થતાં આપેલા પદાર્થ માટે અમુક ચોક્કસ તાપમાને તે બંધારણ સંપૂર્ણ તૂટી પડે છે. દરેક પરમાણુની ચુંબકીય મોમેન્ટ એકબીજાથી સ્વતંત્ર થઈ જાય છે અને પદાર્થ પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થમાં ફેરવાઈ જાય છે.

જે તાપમાને આપેલો ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થ પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થમાં ફેરવાઈ જાય છે, તેને આપેલા **પદાર્થનું ક્યુરિ તાપમાન T_C** કહે છે. આમ, મળેલી પેરામૅગ્નેટિક અવસ્થામાં પદાર્થની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી અને તાપમાન (T) વચ્ચેનો સંબંધ નીચે પ્રમાણે છે :

$$\chi_m = \frac{C_1}{T - T_C}, \ (T > T_C) \tag{5.11.1}$$

જ્યાં, C_1 = અચળાંક

હવે છેલ્લે એક વાત નોંધી લઈએ કે, જ્યારે ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે, ત્યારે તે પ્રબળ ક્ષેત્ર તરફની દિશામાં આકર્ષાય છે.

હિસ્ટરીસિસ લૂપ દર્શાવે છે કે ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન તેના પૂર્વ-અવસ્થા પર તેમજ તેના પર લગાડવામાં આવેલ ક્ષેત્ર H પર આધાર રાખે છે. હિસ્ટરીસિસ લૂપનો આકાર અને કદ, ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થના ગુણધર્મો પર તેમજ તેના પર લગાડવામાં આવેલ મહત્તમ ચુંબકીય ક્ષેત્ર H પર આધાર રાખે છે.

5.12 કાયમી ચુંબકો અને વિદ્યુતચુંબકો (Permanent Magnets અને Electromagnets)

જે ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો ઓરડાના તાપમાને લાંબા સમય સુધી ચુંબકત્વ (મૅગ્નેટિઝ્મ) જાળવી રાખે, તેમને કાયમી ચુંબકો કહે છે. આવા પદાર્થોની રિટેન્ટિવિટી વધુ હોય છે. 400 વર્ષ પહેલાં, લોખંડના સળિયાઓને ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં જડીને (ફિક્સ કરીને) સતત ઠપકારી તેમાંથી ચુંબકો તૈયાર કરવામાં આવતા હતા. આ ઉપરાંત, જો કોઈ ચુંબકનો એક છેડો જડેલા લોખંડના સળિયા પર એક જ દિશામાં સતત ઘસવામાં આવે, તો તે સળિયો કાયમી ચુંબકત્વ ધારણ કરે છે. જ્યારે લોખંડનો સળિયો ધરાવતા સૉલેનોઇડમાંથી પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે, ત્યારે સળિયો ચુંબકત્વ પ્રાપ્ત કરે છે. હિસ્ટરીસિસના કારણે, પ્રવાહ બંધ કરવા છતાં સળિયો ચુંબકત્વ ધારણ કરી રાખે છે.

લોખંડ, હાર્ડ મિશ્રધાતુઓ અને એલ્નિકો જેવા પદાર્થો વધુ રિટેન્ટિવિટી અને વધુ કોઅર્સિવિટી ધરાવે છે અને તેથી તે કાયમી ચુંબકો બનાવવામાં વપરાય છે.

નરમ લોખંડની પરમીએબિલિટી વધુ અને રિટેન્ટિવિટી ઓછી હોય છે, તેથી તે વિદ્યુતચુંબકો બનાવવામાં વપરાય છે. આ માટે, નરમ લોખંડના સળિયાને આકૃતિ 5.7(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ કોર તરીકે સૉલેનોઇડમાં મૂકવામાં આવે છે. સૉલેનોઇડમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ બંધ કરવામાં આવે, ત્યારે તેની સાથે સંકળાયેલું ચુંબકીય ક્ષેત્ર લગભગ શૂન્ય થાય છે.

ઇલેક્ટ્રિક બેલ અને લાઉડસ્પિકરમાં વિદ્યુત ચુંબકોનો ઉપયોગ થાય છે. મોટા ઇલેક્ટ્રોમૅગ્નેટ્સનો ઉપયોગ ક્રેઇન્સમાં લોખંડના બનેલા ભારે પદાર્થો ઊંચકવામાં થાય છે.

કેટલીક વખત, ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થ ધરાવતા સૉલેનોઇડમાંથી AC પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે, જેમકે ટ્રાન્સફૉર્મર અને ટેલિફોનમાં. આવા પદાર્થોનું હિસ્ટરીસિસ લૂપ સાંકડું હોવું જોઈએ કે જેથી ઉષ્માના રૂપમાં ઊર્જાનો વ્યય ઘટાડી શકાય.

ઉદાહરણ 12 : એક મૅગ્નેટની કોઅર્સિવિટી 3×10^3 A m^{-1} છે. તેને ડિમૅગ્નેટાઇઝ કરવા, 10 cm લાંબા અને 50 આંટાવાળા એક સૉલેનોઇડમાં રાખ્યો છે, તો સૉલેનોઇડમાંથી કેટલો પ્રવાહ પસાર કરવો પડે ?

ઉકેલ : Hના જે મૂલ્ય માટે મૅગ્નેટનું મૅગ્નેટાઇઝેશન શૂન્ય બને તેને કોઅર્સિવિટી કહે છે.

સૉલેનોઇડ માટે, $H = nI$

અહીં, $H = 3 \times 10^3$, $n = \frac{N}{l} = \frac{50}{0.1} = 500$

$$\therefore I = \frac{H}{n} = \frac{3 \times 10^3}{5 \times 10^2} = 6 \text{ A}$$

ઉદાહરણ 13 : એક પેરામૅગ્નેટિક ક્ષાર (salt)માં 2.0×10^{24} પરમાણુ ડાઇપોલ્સ છે. આ દરેકની ડાઇપોલ-મોમેન્ટ 1.5×10^{-23} A m^2 (અથવા J T^{-1}) છે. આ ક્ષારના નમૂનાને 0.84 T વાળા નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકી તેને 4.2 K તાપમાન સુધી ઠંડો કરવામાં આવે છે. આ સ્થિતિમાં સંતૃપ્ત મૅગ્નેટાઇઝેશન 15% મળે છે, તો આ નમૂનાની, 0.98 T વાળા ક્ષેત્રમાં, 2.8 K તાપમાને ડાઇપોલ-મોમેન્ટ કેટલી હશે ? (ક્યુરિનો નિયમ લાગુ પડે છે, તેમ ધારો.)

ઉકેલ : દરેક પરમાણુ ડાઇપોલની ડાઇપોલ-મોમેન્ટ $= 1.5 \times 10^{-23}$ A m^2

આપેલ નમૂનામાં 2.0×10^{24} ડાઇપોલ્સ છે.

∴ મહત્તમ (સંતૃપ્ત) મૅગ્નેટાઇઝેશન $= 1.5 \times 10^{-23} \times 2.0 \times 10^{24} = 30$ A m^2

પણ 4.2 K તાપમાને 15 % મૅગ્નેટાઇઝેશન મળે છે.

$m_1 = 30 \times 0.15 = 4.5$ A m^2

હવે ક્યુરિના નિયમ મુજબ T_1 તાપમાને જો ઉદ્ભવતી ડાઇપોલ-મોમેન્ટ m_1 હોય અને T_2 તાપમાને ઉદ્ભવતી ડાઇપોલ-મોમેન્ટ m_2 હોય, તો

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{B_1}{T_1} \times \frac{T_2}{B_2} \quad \left(m \propto \frac{B}{T} \text{ પરથી}\right)$$

અહીં B_1 અને B_2 લાગુ પાડેલ ચુંબકીય ક્ષેત્રો છે.

$$\therefore m_2 = m_1 \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{B_2}{B_1}$$

અહીં, $m_1 = 4.5$ A m^2, $T_1 = 4.2$ K, $T_2 = 2.8$ K, $B_1 = 0.84$ T અને $B_2 = 0.98$ T

$$\therefore m_2 = \frac{4.5 \times 4.2 \times 0.98}{2.8 \times 0.84} = 7.87 \text{ A m}^2$$

સારાંશ

1. ચુંબકના બે કે વધુ ટુકડા કરીને તેના ઉત્તર અને દક્ષિણ ચુંબકીય ધ્રુવો જુદા પાડી શકાતા નથી. સ્વતંત્ર ચુંબકીય ધ્રુવો અસ્તિત્વ ધરાવતા નથી.
2. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ કોઈ પણ એક બિંદુએ છેદતી નથી.
3. ચુંબકની ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ સળંગ બંધ ગાળાઓ રચે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ ચુંબકના ઉત્તર ધ્રુવ પાસેથી બહાર નીકળી દક્ષિણ ધ્રુવ પાસે પહોંચી અને ત્યાંથી ચુંબકમાં થઈને પાછી ઉત્તર ધ્રુવ પાસે પહોંચીને બંધ ગાળાઓ રચે છે.
4. પ્રવાહ I ધરાવતા, A ક્ષેત્રફળના પ્રવાહ-લૂપની ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ, $m = IA$. જો લૂપને N આંટા હોય, તો $m = NIA$.
5. પ્રવાહ-લૂપ (ગૂંચળા)નું અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\vec{m}}{x^3}$.
6. અણુમાં ભ્રમણ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય ચુંબકીય મોમેન્ટ $m_0 = \frac{1}{2}evr$.
7. જ્યારે ગજિયા ચુંબકના બે ભાગ કરવામાં આવે, ત્યારે દરેક ટુકડાનું ધ્રુવમાન p_b તે જ (અચળ) રહે છે, પરંતુ દરેક ટુકડાની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ પહેલાં કરતાં અડધી થઈ જાય છે.
8. જ્યારે $\vec{m}$ મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ધરાવતા ચુંબકને બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં મૂકવામાં આવે, ત્યારે તેના પર લાગતું ટૉર્ક $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$ અથવા $\tau = mB\sin\theta$ અને તેની સ્થિતિ-ઊર્જા $U_B = -\vec{m}\cdot\vec{B}$.
9. ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટે ગાઉસનો નિયમ $\oint_{\text{બંધ પૃષ્ઠ}} \vec{B}\cdot\vec{da} = 0$.

   જે દર્શાવે છે કે "કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચોખ્ખું (net) ફ્લક્સ શૂન્ય હોય છે."
10. **મૅગ્નેટિક મેરિડિયન :** પૃથ્વી પર કોઈ પણ સ્થળે ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખા સમાવતા અને ચુંબકીય અક્ષમાંથી પસાર થતા કાલ્પનિક સમતલને મૅગ્નેટિક મેરિડિયન કહે છે.

11. પૃથ્વી પરના કોઈ પણ સ્થળે મૅગ્નેટિક મેરિડિયન અને ભૌગોલિક મેરિડિયન વચ્ચેના ખૂણાને તે સ્થળ પાસેનું મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન (D) કહે છે.
12. **મૅગ્નેટિક ડિપ અથવા ઈન્ક્લાઈનેશન (ϕ) :** મૅગ્નેટિક ડિપ અથવા ઈન્ક્લાઈનેશન ϕ એ મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાં સમક્ષિતિજ સપાટી સાથે પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે (ઉપર અથવા નીચે તરફ) બનતો ખૂણો છે.
$\phi = 0^o$ ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત પર
$\phi = 90^o$ ચુંબકીય ધ્રુવો પર
13. પદાર્થના એકમ કદ દીઠ ઉદ્ભવેલી (પ્રેરિત) કુલ net મૅગ્નેટિક મોમેન્ટને તે પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન કહે છે.
આમ, $\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V}$.
14. પદાર્થની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી χ_m, તે પદાર્થની ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં કેવા પ્રકારની વર્તણૂક હશે તે દર્શાવે છે. તે પરિણામરહિત રાશિ છે.
15. જ્યારે ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે ત્યારે તે નબળા ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ પરિણામી બળ અનુભવે છે. ડાયમૅગ્નેટિક પદાર્થની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી χ_m ઋણ હોય છે.
16. જ્યારે પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે ત્યારે તે પ્રબળ ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ (નબળું) પરિણામી બળ અનુભવે છે. પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી χ_m ધન હોય છે.
17. ક્યુરીના નિયમ મુજબ, પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થનું મૅગ્નેટાઇઝેશન $M = C\frac{B}{T}$.
જ્યારે બધા જ અણુઓની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ બાહ્ય ચુંબકીય ક્ષેત્રને સમાંતર ગોઠવાઈ જાય ત્યારે M, χ_m અને μ_r મહત્તમ બને છે, તથા તેને સેચ્યુરેશન મૅગ્નેટાઇઝેશન કહે છે. સેચ્યુરેશન મૅગ્નેટાઇઝેશન બાદ ક્યુરિનો નિયમ પળાતો નથી.
18. ફેરો મૅગ્નેટિક પદાર્થોના અણુઓ તેમની બાહ્ય કક્ષામાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનના સ્પિનના કારણે કાયમી મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ધરાવતા હોય છે. આ અણુઓની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ અમુક ચોક્કસ વિસ્તાર (ડોમેઇન) પૂરતી એક જ દિશામાં હોય છે. જ્યારે આ પદાર્થને મૅગ્નેટાઇઝ ન કર્યો હોય ત્યારે પરિણામી મૅગ્નેટાઇઝેશન ધરાવતા આ ડોમેઇન્સ એ રીતે અસ્તવ્યસ્ત ગોઠવાયેલા હોય છે કે જેથી તેમની પરિણામી મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ શૂન્ય થાય છે.
19. જે તાપમાને આપેલો ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થ પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થમાં ફેરવાઈ જાય છે, તેને આપેલા પદાર્થનું ક્યુરી તાપમાન T_C કહે છે. આમ, મળેલી પેરામૅગ્નેટિક અવસ્થામાં પદાર્થની મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટી અને તાપમાન (T) વચ્ચેનો સંબંધ આ મુજબ છે.
$\chi_m = \frac{C_1}{T - T_C}$, $(T > T_C)$ જ્યાં C_1 = અચળાંક
20. કાયમી ચુંબકોની રિન્ટેટિવિટી અને કોઅર્સિવિટી બંને વધુ હોય છે.
21. વિદ્યુતચુંબકો બનાવવા માટે વપરાતા નરમ લોખંડની પરમીએબિલિટી વધુ અને રિન્ટેટિવિટી ઓછી હોય છે.

સ્વાધ્યાય

નીચે વિધાનો માટે આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

1. 5.0 A m^2 જેટલી મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ધરાવતું એક ચુંબક, 7×10^{-4} Tના નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એવી રીતે રહેલું છે કે જેથી તેની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટનો સદિશ, ક્ષેત્ર સાથે 30^oનો કોણ બનાવે. આ કોણ 30^oથી વધારીને 45^o કરવા માટે કરવું પડતું કાર્ય આશરે .... J હોય.
(A) 5.56×10^{-4} (B) 24.74×10^{-4} (C) 30.3×10^{-4} (D) 5.50×10^{-3}
2. એક ગજિયો ચુંબક પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં T આવર્તકાળથી આંદોલન કરે છે. તેટલું જ દળ અને કદ ધરાવતા તેવા જ બીજા ચુંબકની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ, આ ચુંબક કરતાં 4 ગણી હોય, તો તેનો આવર્તકાળ .... હશે.
(A) $\frac{T}{2}$ (B) 2T (C) T (D) 4T

3. પ્રવાહ I ધારિત એક ગોળાકાર લૂપની જગ્યાએ તેટલી જ મૅગ્નેટિક ડાઈપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતો ગજિયો ચુંબક મૂકવામાં આવે છે, તો આ ગોળાકાર લૂપ પર આવેલું કોઈ પણ બિંદુ .... પર આવેલું હશે.

(A) ગજિયા ચુંબકના વિષુવવૃત્તીય સમતલ

(B) ગજિયા ચુંબકની અક્ષ

(C) A અને B બંને

(D) સિવાય કે, ગજિયા ચુંબકના વિષુવવૃત્તીય સમતલ અથવા ચુંબકની અક્ષ.

4. જ્યારે પ્રવાહધારિત ગૂંચળાની જગ્યાએ તેનો સમતુલ્ય મૅગ્નેટિક ડાઈપોલ મૂકવામાં આવે ત્યારે,

(A) તેના ધ્રુવો વચ્ચેનું અંતર l અચળ હોય છે.

(B) તેના દરેક ધ્રુવનું ધ્રુવમાન p અચળ હોય છે.

(C) તેની ડાઈપોલ-મોમેન્ટ ઉલટાઈ જાય છે.

(D) pl ગુણાકાર અચળ રહે છે.

5. ધારો કે એક ગજિયા ચુંબકના કેન્દ્રથી r અંતરે, તેની અક્ષ પર એક બિંદુ આવેલું છે. આ r અંતરે ચુંબકીય ક્ષેત્ર હંમેશા ....ના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

(A) $\frac{1}{r^2}$ (B) $\frac{1}{r^3}$

(C) $\frac{1}{r}$ (D) દરેક બિંદુએ $\frac{1}{r^3}$ પ્રમાણે જરૂરી નથી.

6. મૅગ્નેટિક મેરિડિયનનું સમતલ.......... .

(A) પૃથ્વીની ચુંબકીય અક્ષને લંબ હોય છે.

(B) પૃથ્વીની ભૌગોલિક (Geographic) અક્ષને લંબ હોય છે.

(C) પૃથ્વીની ચુંબકીય અક્ષમાંથી પસાર થતું હોય છે.

(D) પૃથ્વીની ભૌગોલિક અક્ષમાંથી પસાર થતું હોય છે.

7. ભૂ-ચુંબકીય ધ્રુવ પાસે, સમક્ષિતિજ સપાટી પર મુક્ત ભ્રમણ કરી શકે તેમ રાખેલી ચુંબકીય સોય

(A) ફક્ત ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં જ રહેશે. (B) કોઈ પણ દિશામાં રહેશે.

(C) ફક્ત પૂર્વ-પશ્ચિમ દિશામાં રહેશે. (D) કોઈ પણ હલનચલન વગર જડ બની જશે.

8. પૃથ્વીની સપાટી પર કોઈ સ્થળે પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રના સમક્ષિતિજ અને ઊર્ધ્વ ઘટક એકસરખા છે. આ સ્થળે મૅગ્નેટિક ડિપ ઍન્ગલ .... હશે.

(A) 30° (B) 45° (C) 0° (D) 90°

9. ગજિયા ચુંબકની અંદર, ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ

(A) હાજર નથી હોતી.

(B) ચુંબકના આડછેદના ક્ષેત્રફળને સમાંતર હોય છે.

(C) N-ધ્રુવથી S-ધ્રુવ તરફ હોય છે.

(D) S-ધ્રુવથી N-ધ્રુવ તરફ હોય છે.

10. અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં, ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થ પર લાગતું પરિણામી બળ .... હોય છે.

(A) પ્રબળ ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નબળા ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ

(B) ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ દિશામાં

(C) નબળા ચુંબકીય ક્ષેત્રથી પ્રબળ ચુંબકીય ક્ષેત્ર તરફ

(D) શૂન્ય

11. l જેટલી લંબાઈ ધરાવતા સ્ટીલના એક સુરેખ તારની ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ m છે. જો આ તારને અર્ધવર્તુળાકાર ચાપના રૂપમાં વાળવામાં આવે, તો તેની નવી ચુંબકીય ડાઈપોલ-મોમેન્ટ કેટલી હશે ?

(A) m (B) $\frac{2m}{\pi}$ (C) $\frac{m}{2}$ (D) $\frac{m}{\pi}$

12. કોઈ એક સ્થાન પર પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક તેના ઊર્ધ્વ ઘટક કરતાં $\sqrt{3}$ ગણો છે. આ સ્થાન પર angle of dip .... છે.

(A) 0 (B) $\frac{\pi}{2}$ rad (C) $\frac{\pi}{3}$ rad (D) $\frac{\pi}{6}$ rad

13. પૃથ્વી પર જે સ્થાને પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો શિરોલંબ ઘટક શૂન્ય હોય તે સ્થાને ઍન્ગલ ઑફ ડિપ .... હોય.

(A) 0° (B) 45° (C) 60° (D) 90°

14. પૃથ્વી પર જે સ્થાને પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો સમક્ષિતિજ ઘટક શૂન્ય હોય તે સ્થળ .... પર હોય.

(A) ભૌગોલિક વિષુવવૃત્ત (B) ભૂ-ચુંબકીય વિષુવવૃત્ત

(C) કોઈ એક ભૌગોલિક ધ્રુવ (D) કોઈ એક ભૂ-ચુંબકીય ધ્રુવ

15. જ્યારે પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થને ગજિયા ચુંબકના ઉત્તર અથવા દક્ષિણ ધ્રુવ પાસે લાવવામાં આવે છે, ત્યારે તે,

(A) અપાકર્ષણ અનુભવે છે. (B) આકર્ષણ અનુભવે છે.

(C) આકર્ષણ કે અપાકર્ષણ કશું અનુભવતો નથી.

(D) કયા ધ્રુવ પાસે લાવીએ છીએ, તો અનુસાર આકર્ષણ કે અપાકર્ષણ અનુભવે છે.

16. સમક્ષિતિજ સમતલમાં રાખેલી એક ચુંબકીય સોય પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં આંદોલન કરે છે. જો આ સોયનું તાપમાન વધારીને સોયના દ્રવ્યના ક્યુરિ તાપમાન કરતાં પણ ઊંચું લઈ જવામાં આવે તો,

(A) આંદોલનનો આવર્તકાળ ઘટશે.

(B) આંદોલનનો આવર્તકાળ વધશે.

(C) આંદોલનનો આવર્તકાળ તેટલો જ રહેશે.

(D) સોય આંદોલન કરતી બંધ થઈ જશે.

17. p ધ્રુવમાન અને $\vec{m}$ મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ ધરાવતા l લંબાઈના એક ગજિયા ચુંબકના $\frac{l}{2}$ લંબાઈના બે સરખા ભાગ કરવામાં આવે છે. દરેક ટુકડાની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ અને ધ્રુવમાન અનુક્રમે .... અને .... હશે.

(A) $\vec{m}$, $\frac{p}{2}$ (B) $\frac{\vec{m}}{2}$, p (C) $\frac{\vec{m}}{2}$, $\frac{p}{2}$ (D) $\vec{m}$, p

18. શૂન્યાવકાશ માટે મૅગ્નેટાઇઝેશન .... હોય છે.

(A) ઋણ (B) ધન (C) અનંત (D) શૂન્ય

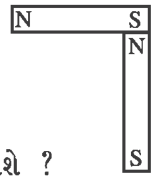
19. મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ $\vec{m}$ ધરાવતા એક ગજિયા ચુંબકને નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં એવી રીતે મૂકવામાં આવે છે કે જેથી $\vec{m} \parallel \vec{B}$ થાય. આ પરિસ્થિતિમાં તેના પર લાગતાં ટૉર્ક અને બળ અનુક્રમે .... અને .... હોય.

(A) 0, 0 (B) $\vec{m} \times \vec{B}$, mB (C) $\vec{m} \cdot \vec{B}$, mB (D) $\vec{m} \cdot \vec{B}$, $\vec{m} \times \vec{B}$

20. એક પદાર્થની સાપેક્ષ પરમિએબિલિટી 0.075 છે. તેની ચુંબકીય સસેપ્ટિબિલિટી .... હોય.

(A) 0.925 (B) –0.925 (C) 1.075 (D) –1.075

21. ડાઈપોલ મોમેન્ટ m ધરાવતા બે એક સરખા ચુંબકો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ ગોઠવાયેલ છે. આ સંયોજનની મૅગ્નેટિક ડાઈપોલ-મોમેન્ટ નું મૂલ્ય .... હોય.



(A) $2m$ (B) $\sqrt{2}\,m$ (C) $\frac{m}{\sqrt{2}}$ (D) $\frac{m}{2}$

22. અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલી ચુંબકીય સોય ક્ષેત્રને સમાંતર ન હોય ત્યારે શું અનુભવશે ?

(A) બળ, પણ ટૉર્ક નહીં. (B) ટૉર્ક, પણ બળ નહીં.

(C) બળ અને ટૉર્ક બંને. (D) બળ અથવા ટૉર્ક એક પણ નહીં.

23. એક સ્ટીમરને પશ્ચિમ સાથે, દક્ષિણ તરફ 10^oનો કોણ બનાવતી દિશામાં જવું છે. તે સ્થળે મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશન ઉત્તરથી પશ્ચિમ તરફ 17^o છે, તો સ્ટીમરે .... દિશામાં જવું જોઈએ.

(A) ભૂ-ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ સાથે પશ્ચિમ તરફ 83^o કોણ બનાવતી

(B) ભૂ-ચુંબકીય ઉત્તર ધ્રુવ સાથે પૂર્વ તરફ 83^o કોણ બનાવતી

(C) ભૂ-ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ સાથે પશ્ચિમ તરફ 27^o કોણ બનાવતી

(D) ભૂ-ચુંબકીય દક્ષિણ ધ્રુવ સાથે પૂર્વ તરફ 27^o કોણ બનાવતી

24. 100 આંટા/m ધરાવતા એક ટોરોઇડમાંથી 3 A પ્રવાહ વહે છે. ટોરોઇડનું કોર, લોખંડનું બનેલું છે, જેની સાપેક્ષ મૅગ્નેટિક પરમીએબિલિટી આપેલ પરિસ્થિતિમાં $\mu_r = 5000$ છે. લોખંડની અંદર ચુંબકીય ક્ષેત્ર .... હોય. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1} લો.)

(A) 0.15 T (B) 0.47 T (C) 1.5×10^{-2} T (D) 1.88 T

ઉત્તરો

1. (A)	2. (A)	3. (A)	4. (D)	5. (D)	6. (C)
7. (B)	8. (B)	9. (D)	10. (A)	11. (B)	12. (D)
13. (A)	14. (D)	15. (B)	16. (D)	17. (B)	18. (D)
19. (A)	20. (B)	21. (B)	22. (C)	23. (A)	24. (D)

નીચે આપેલ પ્રશ્નોના જવાબ ટૂંકમાં આપો :

1. કોઈ ગજિયા ચુંબકના બે ટુકડા તેની લંબાઈને લંબરૂપે/લંબાઈની દિશામાં કરવામાં આવે તો શું થાય ?
2. શું પ્રવાહધારિત ટોરોઇડને ઉત્તર ધ્રુવ અને દક્ષિણ ધ્રુવ હોય ?
3. દ્રવ્યના કયાં સ્વરૂપ/સ્વરૂપો ફેરોમૅગ્નેટિક ગુણધર્મ ન ધરાવતા હોય ?
4. કયા ચુંબકીય પદાર્થોના ચુંબકીય ગુણધર્મો પર તાપમાનની અસર થાય છે ?
5. કાયમી ચુંબકની રિટેન્ટિવિટી અને કોઅર્સિવિટી કેવી હોવી જોઈએ ?
6. જો ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થનું તાપમાન તેના ક્યુરિ તાપમાન કરતાં વધુ થાય તો શું થાય ?
7. ચુંબકીય તીવ્રતાનો એકમ શું છે ?
8. હિસ્ટરીસિસ લૂપ શું દર્શાવે છે ?

9. વિદ્યુતચુંબકોના ઉપયોગ ક્યાં થાય છે ?
10. જો *p* ધ્રુવમાનવાળો કોઈ સ્વતંત્ર ચુંબકીય ધ્રુવ કોઈ પૃષ્ઠ વડે ઘેરાયેલો હોય, તો ગાઉસના ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટેના નિયમનું સૂત્ર શું હોય ?
11. જો કોઈ ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે તો શું થાય ?
12. મૅગ્નેટિક સસેપ્ટિબિલિટીનો એકમ શું છે ?
13. દિલ્હી માટે ડેક્લિનેશન કેટલું છે ?
14. ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થોનાં નામ લખો.
15. નરમ લોખંડનો કયો ગુણધર્મ તેને વિદ્યુતચુંબક બનાવવા માટે ઉપયોગી થાય છે ?

નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

1. પ્રવાહ-ગૂંચળાના અક્ષીય ચુંબકીય ક્ષેત્રનું સમીકરણ તેની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટના સંદર્ભમાં મેળવો.
2. પ્રવાહ-ગૂંચળાના ચુંબકીય ક્ષેત્રના ઉત્તર અને દક્ષિણ ધ્રુવ દર્શાવતી સંજ્ઞા સમજાવો.
3. અણુના ન્યુક્લિયસની આજુબાજુ ભ્રમણ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય મૅગ્નેટિક મોમેન્ટનું સમીકરણ મેળવો.
4. ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટેનો ગાઉસનો નિયમ ટૂંકમાં સમજાવો.
5. ભૌગોલિક મેરિડિયન અને ભૂ-ચુંબકીય મેરિડિયન શું છે ? તેમની વચ્ચેનો ખૂણો શું દર્શાવે છે ?
6. મૅગ્નેટિક ડેક્લિનેશનની વ્યાખ્યા આપો. અક્ષાંશ સાથે ડેક્લિનેશન કેવી રીતે બદલાય છે ? તે લઘુતમ ક્યાં હોય છે ?
7. મૅગ્નેટિક ડિપની વ્યાખ્યા આપો. મૅગ્નેટિક વિષુવવૃત્ત પર ડિપ ઍન્ગલ કેટલો હોય છે ? જો આપણે ચુંબકીય ધ્રુવથી મૅગ્નેટિક વિષુવવૃત્ત તરફ જઈએ તો ડિપ ઍન્ગલ કેવી રીતે બદલાય ?
8. જ્યારે ડાયામૅગ્નેટિક પદાર્થને અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે ત્યારે શું થાય ? જરૂરી આકૃતિ દોરીને સમજાવો.
9. પેરામૅગ્નેટિક પદાર્થો માટે ક્યુરિનો નિયમ સમજાવો.
10. વિદ્યુતચુંબકો બનાવવા માટે નરમ લોખંડ કેમ ઉપયોગી છે તે સમજાવો.

નીચેના દાખલા ગણો :

1. 3000 આંટાવાળા એક ટોરોઇડના કોર (Core)ની અંદર અને બહારની ત્રિજ્યાઓ અનુક્રમે 11 cm અને 12 cm છે. જ્યારે 0.70 A પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે, ત્યારે કોરમાં ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર 2.5 T છે. કોરની સાપેક્ષ પરમીએબિલિટી શોધો. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}) [જવાબ : 685]
2. એક પેરામૅગ્નેટિક વાયુ 1.5×10^{-23} A m^2 ડાઈપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતા 2.0×10^{26} m^{-3} પરમાણુઓનો બનેલો છે. વાયુનું તાપમાન 27° C છે. (i) આ નમૂનાની મહત્તમ મૅગ્નેટાઇઝેશન તીવ્રતા શોધો. (ii) જો વાયુ પર 3.0 Tનું નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે, તો સંપૂર્ણ મૅગ્નેટાઇઝેશન મેળવી શકાશે ? શા માટે ?

   [**Hint :** વાયુના એક પરમાણુની ઉષ્મીય ઊર્જા $\frac{3}{2}k_B$T, અને ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મહત્તમ સ્થિતિ-ઊર્જા = mB. ઉષ્મીય ઊર્જા અને મહત્તમ સ્થિતિ-ઊર્જાનો ગુણોત્તર શોધો, અને તમારો જવાબ આપો.]($k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J K^{-1})

   [જવાબ : (i) 3.0×10^3 A m^{-1}, (ii) ના]
3. બે નાના સમાન ગજિયા ચુંબકોની મૅગ્નેટિક ડાઈપોલ-મોમેન્ટ 1.0 A m^2 છે. તેમને એક સમતલમાં એ રીતે મૂકવામાં આવે છે કે જેથી તેમની અક્ષ એકબીજાને લંબરૂપે રહે. એક ચુંબકની અક્ષમાંથી પસાર થતી આ રેખા બીજા ચુંબકના કેન્દ્રમાંથી પસાર થાય છે. જો બંને ચુંબકોનાં કેન્દ્ર વચ્ચેનું અંતર 2 m હોય, તો તેમનાં કેન્દ્રોને જોડતી રેખાના મધ્યબિંદુ પર ચુંબકીય ક્ષેત્ર નું મૂલ્ય શોધો. [જવાબ : $\sqrt{5} \times 10^{-7}$ T]

4. 100 A m ધ્રુવમાનવાળો એક ચુંબકીય ધ્રુવ એક ગજિયા ચુંબકથી 20 cm દૂર રહેલો છે. ગજિયો ચુંબક 200 A m ધ્રુવમાન ધરાવે છે અને તેની લંબાઈ 5 cm છે. જો આ ચુંબકીય ધ્રુવ ગજિયા ચુંબકની અક્ષ પર હોત, તો ચુંબકીય ધ્રુવ પર લાગતું બળ શોધો. [જવાબ : 2.5×10^{-2} N]

5. m જેટલી ચુંબકીય ડાઇપોલ-મોમેન્ટ ધરાવતા એક ચુંબકને મૅગ્નેટિક મેરિડિયનમાંથી 90°નું ભ્રમણ આપતાં થતું કાર્ય, તેને 60°નું ભ્રમણ આપતા થતા કાર્ય કરતાં n ગણું છે. n નું મૂલ્ય શોધો. [જવાબ : 2]

6. મૅગ્નેટિક મેરિડિયન સાથે 30°નો કોણ બનાવતા સમતલમાં લટકાવેલ મૅગ્નેટ, સમક્ષિતિજ સાથે 45°નો કોણ બનાવે છે. આ જગ્યાએ ઍન્ગલ ઑફ ડિપનું સાચું મૂલ્ય શોધો. [જવાબ : tan^{-1} (0.866)]

7. એક અણુમાં ન્યુક્લિઅસની આસપાસ 5.3×10^{-11} m ત્રિજ્યાની કક્ષામાં ભ્રમણ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની ઝડપ 2×10^{6} m s^{-1} છે. આ ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષીય મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ અને કોણીય વેગમાન શોધો.

ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર = 1.6×10^{-19} C, ઇલેક્ટ્રૉનનું દળ = 9.1×10^{-31} kg લો.

[જવાબ : 8.48×10^{-24} A m^2 અને 9.65×10^{-35} N m s]

8. 1 cm વ્યાસવાળા, પ્રવાહધારિત ગૂંચળાના કેન્દ્રથી તેની અક્ષ પર 10 cm અંતરે ચુંબકીય ક્ષેત્ર 10^{-4} T છે.

(a) આ ગૂંચળાની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ શોધો.

(b) આ ગૂંચળાના વિષુવવૃત્તીય સમતલમાં તેના કેન્દ્રથી 10 cm અંતરે ચુંબકીય ક્ષેત્ર શોધો.

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1} લો. [જવાબ : (a) 0.5 A m^2, (b) 5×10^{-5} T]

9. નળાકાર સળિયાના રૂપમાં રહેલા એક ચુંબકની લંબાઈ 5 cm અને વ્યાસ 2 cm છે. તેનું નિયમિત મૅગ્નેટાઇઝેશન 5×10^{3} A m^{-1} હોય, તો તેની net (કુલ) મૅગ્નેટિક ડાઇપોલ-મોમેન્ટ શોધો.

[જવાબ : 7.85×10^{-2} J T^{-1}]

10. આયનીકરણ પામેલો એક વાયુ 5×10^{21} m^{-3} ઇલેક્ટ્રૉન અને તેટલા જ m^{-3} આયનો ધરાવે છે. જો ઇલેક્ટ્રૉનની સરેરાશ ગતિ-ઊર્જા 6×10^{-20} J, અને આયનોની સરેરાશ ગતિ-ઊર્જા 8×10^{-21} J હોય, તો વાયુ પર 1.0 Tનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર લગાડતાં તેનું મૅગ્નેટાઇઝેશન શોધો. [જવાબ : 340 J T^{-1} m^{-3}]

11. એકદમ નજીક આંટાવાળા 6 cm લંબાઈના એક સૉલેનોઇડમાં 10 આંટા/cm છે, તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 3×10^{-4} m^2 અને તેમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ 1.0 A છે. સૉલેનોઇડની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ અને ધ્રુવમાન શોધો.

[જવાબ : સૉલેનોઇડની અક્ષ પર તેની મૅગ્નેટિક મોમેન્ટ = 1.8×10^{-2} A m^2, સૉલેનોઇડનું ધ્રુવમાન = 0.3 A m]

•