પ્રકરણ 4

ગતિમાન વિદ્યુતભારો અને ચુંબકત્વ

• બહુવિકલ્પ પ્રશ્નો (MCQ I)

નીચેના પ્રશ્નોમાં એક જ વિકલ્પ સાચો છે :

4.1 એકસમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર $\mathbf{B} = B_0\hat{\mathbf{k}}$ માં બે વિદ્યુતભારિત કણો સંપૂર્ણ રીતે પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં હોય એવા સમાન સર્પિલાકાર (helical) માર્ગો પર ગતિ કરે છે.

(a) તેમના વેગમાનનાં z-ઘટકો સમાન હોવા જોઈએ.

(b) તેમના વિદ્યુતભારો સમાન હોવા જોઈએ.

(c) તેઓ અનિવાર્યપણે કણ-પ્રતિકણની જોડી રજૂ કરે છે.

(d) વિદ્યુતભાર અને દળ ગુણોત્તર : $\left(\frac{e}{m}\right)_1 + \left(\frac{e}{m}\right)_2 = 0$ ને સંતોષે છે.

4.2 બાયો-સાવર્ટનો નિયમ સૂચવે છે કે, ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રૉન (વેગ $\boldsymbol{\upsilon}$) ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** ઉત્પન્ન કરે છે, જેવા કે

(a) $\mathbf{B} \perp \boldsymbol{\upsilon}$

(b) $\mathbf{B} \parallel \boldsymbol{\upsilon}$

(c) તે વ્યસ્ત ઘનના નિયમનું પાલન કરે છે.

(d) તે ઇલેક્ટ્રૉન અને અવલોકન બિંદુને જોડતી રેખાની દિશામાં હોય છે.

4.3 R ત્રિજ્યાની પ્રવાહધારિત વર્તુળાકાર લૂપ x-y સમતલમાં એવી રીતે મૂકી છે કે તેનું કેન્દ્ર ઊગમબિંદુ પર હોય. હવે $x > 0$ માટે લૂપનો અડધો ભાગ એવી રીતે વાળવામાં આવે છે કે તે ભાગ y-z સમતલમાં રહે તો, ...

(a) ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું મૂલ્ય હવે ઘટી જશે.

(b) ચુંબકીય ચાકમાત્રા બદલાતી નથી.

(c) $(0.0.z)$, $z >> R$ પાસે **B** નું મૂલ્ય વધી જશે.

(d) $(0.0.z)$, $z >> R$ પાસે **B** નું મૂલ્ય બદલાતું નથી.

4.4 એક ઇલેક્ટ્રૉનને પ્રવાહધારિત લાંબા સોલેનોઇડની અક્ષ પર અચળ વેગથી પ્રક્ષેપિત કરવામાં આવે છે. નીચેનામાંથી કયું વિધાન સત્ય છે ?

(a) ઇલેક્ટ્રૉન અક્ષની દિશામાં પ્રવેગિત થશે.

(b) ઇલેક્ટ્રૉનનો માર્ગ અક્ષને અનુલક્ષીને વર્તુળાકાર હશે.

(c) ઇલેક્ટ્રૉન અક્ષ સાથે $45°$ ના ખૂણે બળ અનુભવશે અને તેથી હેલિકલ (સ્પાઇરલ) માર્ગે ગતિ કરશે.

(d) સોલેનોઇડની અક્ષ પર ઇલેક્ટ્રૉન અચળ વેગથી ગતિ ચાલુ રાખશે.

4.5 સાઇક્લોટ્રૉનમાં, કોઈ વિદ્યુતભારિત કણ

(a) સતત પ્રવેગિત થશે.

(b) ની ચુંબકીયક્ષેત્રને કારણે 'D' વચ્ચેના અવકાશમાં ઝડપ વધે છે.

(c) ની 'D'માં ઝડપ વધે છે.

(d) 'D'માં ઝડપ ઘટે છે અને 'D' વચ્ચેના અવકાશમાં ઝડપ વધે છે.

4.6 ચુંબકીય ચાકમાત્રા **M** ધરાવતી પ્રવાહધારિત વર્તુળાકાર લૂપને બાહ્ય ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** માં યાદચ્છિક રીતે ગોઠવેલ છે. લૂપને તેના સમતલને લંબ અક્ષને અનુલક્ષીને $30°$ નું ભ્રમણ કરાવવા માટે કરવું પડતું કાર્ય

(a) MB

(b) $\sqrt{3}\frac{MB}{2}$

(c) $\frac{MB}{2}$

(d) શૂન્ય

• બહુવિકલ્પ પ્રશ્નો (MCQ II)

નીચેના પ્રશ્નોમાં એક અથવા એક કરતાં વધુ વિકલ્પ સાચા હોઈ શકે છે :

4.7 બૉહર મૉડેલ અનુસાર H-પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉન માટે ગાયરો-મૅગ્નેટિક રેશિયો ....

(a) તે કઈ કક્ષામાં છે તેના પર આધારિત નથી.

(b) ઋણ છે.

(c) ધન છે.

(d) ક્વૉન્ટમ નંબર n સાથે વધે છે.

4.8 I જેટલો સ્થાયી પ્રવાહધારિત તાર વિચારો કે, જે તેની લંબાઈને લંબ સમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** માં મૂકેલ છે. તારમાં રહેલા વિદ્યુતભારો ધ્યાનમાં લો. એ જ્ઞાત છે કે ચુંબકીય બળ કોઈ કાર્ય કરતું નથી. આ સૂચવે છે કે,

(a) વાહકની અંદર વિદ્યુતભારોની ગતિ **B** દ્વારા પ્રભાવિત (અસરગ્રસ્ત) થતી નથી, કારણ કે તે ઊર્જાનું શોષણ કરતા નથી.

(b) **B** ના કારણે તારની અંદરથી કેટલાક વિદ્યુતભારો સપાટી તરફ ખસી જાય છે.

(c) જો તાર **B** ની અસર હેઠળ ગતિ કરે તો, બળ દ્વારા કોઈ કાર્ય થતું નથી.

(d) જો તાર **B** ની અસર હેઠળ ગતિ કરે તો, ચુંબકીય બળ દ્વારા આયનો કે જેમને તારમાં સ્થિર માનવામાં આવે છે, તેમની ઉપર કોઈ કાર્ય થતું નથી.

4.9 બે સમાન પ્રવાહધારિત સમાક્ષી લૂપોમાં, વિરુદ્ધ દિશાઓમાં પ્રવાહ I વહે છે. એક સરળ ઍમ્પેરિયન લૂપ બંનેમાંથી એક વખત પસાર થાય છે. આ લૂપને C કહીએ, તો

(a) $\oint_c \mathbf{B}\cdot\mathbf{dl} = \mp 2\mu_0 I$

(b) $\oint_c \mathbf{B}\cdot\mathbf{dl}$ નું મૂલ્ય Cની પસંદગીથી સ્વતંત્ર છે.

(c) C ઉપર કોઈ એવું બિંદુ હોઈ શકે છે, જ્યાં **B** અને **dl** લંબ હશે.

(d) C ના દરેક બિંદુ પર **B** નાશ પામે (શૂન્ય બને) છે.

4.10 અવકાશનો કોઈ સમઘન વિભાગ કેટલાક સમાન વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રોથી ભરેલો છે. આ સમઘનની કોઈ એક સપાટીને લંબરૂપે એક ઇલેક્ટ્રૉન **v** વેગથી સમઘનમાં દાખલ થાય છે અને આ સમતલથી વિરુદ્ધ સમતલમાંથી પૉઝિટ્રૉન **–v** વેગથી દાખલ થાય છે. આ ક્ષણે

(a) બંને કણો પર વિદ્યુત બળોને લીધે સમાન પ્રવેગ ઉત્પન્ન થશે.

(b) બંને કણો પર ચુંબકીય બળોને લીધે સમાન પ્રવેગ ઉત્પન્ન થશે.

(c) બંને કણો સમાન દરથી ઊર્જા મેળવશે અથવા ગુમાવશે.

(d) દ્રવ્યમાન કેન્દ્ર (CM)ની ગતિ ફક્ત **B** દ્વારા નક્કી થાય છે.

4.11 એક વિસ્તાર કે જેમાં વિદ્યુતભારિત કણ સતત અચળ વેગથી ગતિ ચાલુ રાખશે. જ્યાં,

(a) $\mathbf{E} = 0,\ \mathbf{B} \neq 0$

(b) $\mathbf{E} \neq 0,\ \mathbf{B} \neq 0$

(c) $\mathbf{E} \neq 0,\ \mathbf{B} = 0$

(d) $\mathbf{E} = 0,\ \mathbf{B} = 0$

● અતિટૂંક જવાબી પ્રશ્નો (VSA)

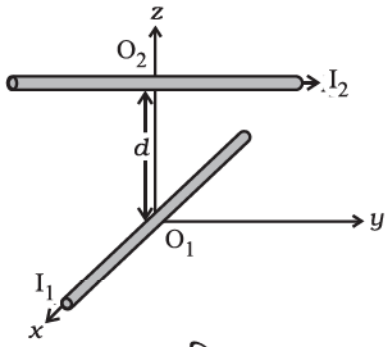
4.12 સાઈક્લોટ્રોન આવૃત્તિ $\omega = eB/m$ નું સાચું પરિમાણ $[T]^{-1}$ છે તે ચકાસો.

4.13 દર્શાવો કે જે બળ કોઈ કાર્ય નથી કરતું તે વેગ આધારિત બળ હોવું આવશ્યક છે.

4.14 ચુંબકીય બળ **v** પર આધારિત છે જે પોતે (**v**) જડત્વીય નિર્દેશ ફ્રેમ પર આધારિત છે, તો શું દરેક જડત્વીય નિર્દેશ ફ્રેમમાં ચુંબકીય બળ જુદું-જુદું હશે ? તો શું એ તર્કસંગત (વ્યાજબી) છે કે જુદી-જુદી નિર્દેશ ફ્રેમોમાં પરિણામી પ્રવેગનું મૂલ્ય જુદું-જુદું હોય ?

4.15 સાઈક્લોટ્રોનમાં જો રેડિયો આવૃત્તિ (rf) વિદ્યુતક્ષેત્રની આવૃત્તિ કરતાં બમણી થાય, તો તેમાં કોઈ વિદ્યુતભારિત કણની ગતિનું વર્ણન કરો.

4.16 I_1 અને I_2 પ્રવાહધારિત બે લાંબા તારોને આકૃતિ 4.1 માં દર્શાવ્યા મુજબ ગોઠવેલ છે. એક I_1 પ્રવાહધારિત તાર x-અક્ષ ઉપર છે અને બીજો I_2 પ્રવાહધારિત તાર કે જેને y-અક્ષને સમાંતર કોઈ રેખા ઉપર છે. જેને $x = 0$ અને $z = d$ વડે દર્શાવેલ છે. x-અક્ષ ઉપર રહેલા તારને લીધે બિંદુ O_2 પર લાગતું બળ શોધો.



આકૃતિ 4.1

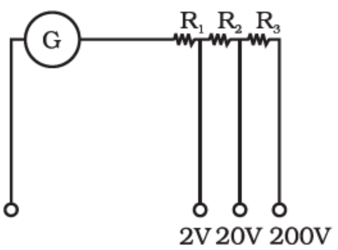
● ટૂંક જવાબી પ્રશ્નો (SA)

4.17 કોઈ પ્રવાહધારિત લૂપ R ત્રિજ્યાના વર્તુળના ત્રણ સમાન ચતુર્થાંસ ($\frac{1}{4}$ ભાગ)થી બનેલી છે. તે x-y, y-z અને z-x સમતલોના ધન ચરણમાં આવેલા છે. એકબીજા સાથે જોડાયેલા આ ચતુર્થાંસોનાં કેન્દ્રો ઊગમબિંદુ પર છે. ઊગમબિંદુ પાસે **B** નું મૂલ્ય અને દિશા શોધો.

4.18 જેનો વિદ્યુતભાર e અને દળ m છે તેવો વિદ્યુતભારિત કણ વિદ્યુતક્ષેત્ર **E** અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર **B** માં ગતિ કરે છે. ગતિસંબંધિત પરિમાણરહિત રાશિઓ અને $[T]^{-1}$ પરિમાણ ધરાવતી રાશિઓની રચના કરો. (મેળવો.)

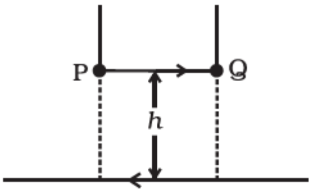
4.19 જેમાં સમાન વિદ્યુતક્ષેત્ર અને ચુંબકીયક્ષેત્ર છે તેવા એક સમઘન વિસ્તારમાં (જેનાં સમતલો યામપદ્ધતિનાં સમતલોને સમાંતર છે) એક ઇલેક્ટ્રૉન $\mathbf{v} = v_0\hat{i}$ વેગથી દાખલ થાય છે. સમઘનમાં ઇલેક્ટ્રૉનની કક્ષા x-y સમતલને સમાંતર સમતલમાં નીચે તરફ સર્પિલ મળે, તો ક્ષેત્રો **E** અને **B** નું રેખાંકન (ગોઠવણી) સૂચવો કે જેની અસર ઇલેક્ટ્રૉનને આવી ગતિ કરવા પ્રેરી શકે.

4.20 શું ચુંબકીય બળ ન્યૂટનના ત્રીજા નિયમને અનુસરે છે ? ઊગમબિંદુ પર આવેલા $\boldsymbol{dl}_1 = dl\hat{i}$ અને (0, R, 0) પર આવેલા $\boldsymbol{dl}_2 = dl\,\hat{j}$ બે પ્રવાહ ખંડો માટે ચકાસો. બંનેમાં પ્રવાહ I છે.



આકૃતિ 4.2

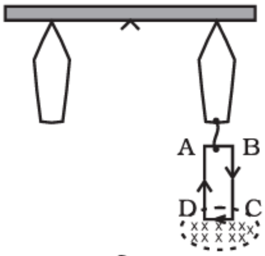
4.21 આકૃતિ 4.2 માં દર્શાવ્યા મુજબ ગૅલ્વેનોમિટર પરિપથનો ઉપયોગ કરીને મલ્ટિરેન્જ વૉલ્ટમિટરની રચના કરી શકાય છે. આપણે 10 Ω અવરોધ ધરાવતા ગૅલ્વેનોમિટરનો ઉપયોગ કરી એવા વૉલ્ટમિટરની રચના કરવી છે જે 2V, 20V અને 200V માપી શકે અને 1 mA પ્રવાહ માટે તે મહત્તમ કોણાવર્તન (deflection) ઉત્પન્ન કરે એના માટે ઉપયોગમાં લીધેલ R_1, R_2 અને R_3 શોધો.



આકૃતિ 4.3

4.22 આકૃતિ 4.3 માં દર્શાવ્યા અનુસાર 25 A પ્રવાહ ધારિત એક સુરેખ લાંબો તાર ટેબલ પર મૂકેલ છે. બીજો એક 1 m લંબાઈ અને 2.5 g દળ ધરાવતો તાર PQ છે જેમાંથી વિરુદ્ધ દિશામાં સમાન પ્રવાહ વહે છે. તાર PQ ઉપર અને નીચે તરફ સરકવા માટે મુક્ત (સ્વતંત્ર) છે. તાર PQ કેટલી ઊંચાઈ સુધી ઉપર જશે ?

• દીર્ઘ જવાબી પ્રશ્નો (LA)



આકૃતિ 4.4

4.23 100 આંટા ધરાવતું એક લંબચોરસ ગૂંચળું (coil) ABCD (XY સમતલમાં) આકૃતિ 4.4માં દર્શાવ્યા મુજબ તુલાની એક ભૂજા સાથે લટકાવેલું છે. ગૂંચળાના વજનને સંતુલિત કરવા માટે બીજી ભૂજા ઉપર 500 g દળ ઉમેરવામાં આવે છે. આ ગૂંચળામાંથી 4.9 A નો પ્રવાહ પસાર થાય છે અને 0.2 T નું અચળ ચુંબકીયક્ષેત્ર અંદરની તરફ (xz સમતલમાં) એવી રીતે લાગુ પાડવામાં આવે છે કે ફક્ત 1 cm લંબાઈ ધરાવતી CD ભૂજા જ ક્ષેત્રમાં રહે, તો વધારાનું કેટલું દળ 'm' ઉમેરવું જોઈએ કે જેથી તુલા ફરી સંતુલન પ્રાપ્ત કરે ?

4.24 એક લંબચોરસ વાહક ગૂંચળું બે વિરુદ્ધ બાજુઓ પર l લંબાઈના બે તાર ધરાવે છે. એકબીજા સાથે d લંબાઈના સળિયા વડે જોડાયેલા બે તાર ધરાવે છે. દરેક તાર સમાન દ્રવ્યના બનેલા છે પરંતુ, આડછેદમાં પરિબળ 2થી (1:2 ના પ્રમાણથી) અલગ પડે છે. જાડા તારનો અવરોધ R છે અને સળિયાઓ ઓછો અવરોધ ધરાવે છે. જે અચળ વૉલ્ટેજ ઉદ્ગમ V_0 સાથે જોડાયેલા છે. આ લૂપને સમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર **B** માં તેના સમતલ સાથે 45° ના કોણે મૂકેલ છે. લૂપ ઉપર સળિયાના કેન્દ્રમાંથી પસાર થતી અક્ષને અનુલક્ષીને ચુંબકીયક્ષેત્ર દ્વારા લાગતું ટૉર્ક (τ) શોધો.

4.25 સમાન ચુંબકીયક્ષેત્ર $\mathbf{B} = B_0 \hat{i}$ માં ઇલેક્ટ્રૉન અને પોઝિટ્રોનને અનુક્રમે (0, 0, 0) અને (0, 0, 1.5R) સ્થાનો પરથી ક્રમશઃ મુક્ત કરવામાં આવ્યા છે. દરેકના સમાન વેગમાનનું મૂલ્ય $p = eBR$ છે. વેગમાનની દિશા પર કઈ શરત મૂકતાં તેમના ગતિપથ એકબીજાને છેદે નહિ તેવી વર્તુળાકાર કક્ષાઓ હશે ?

4.26 R અવરોધ ધરાવતા $12a$ લંબાઈના નિયમિત વાહક તારને પ્રવાહધારિત લૂપના સ્વરૂપમાં નીચે મુજબ વાળવામાં આવે છે :

(i) a બાજુઓવાળો સમભૂજ ત્રિકોણ (ii) a બાજુઓવાળો ચોરસ (iii) a બાજુઓવાળો નિયમિત ષટ્કોણ. આ ગૂંચળાઓને વૉલ્ટેજ ઉદ્‌ગમ V_0 સાથે જોડેલ છે, તો દરેક કિસ્સામાં ગૂંચળાઓની ચુંબકીય ચાકમાત્રા શોધો.

4.27 x-y સમતલમાં જેનું કેન્દ્ર ઊગમબિંદુ પર હોય તેવી R ત્રિજ્યાની પ્રવાહધારિત વર્તુળાકાર લૂપ વિચારો. માની લો કે z-અક્ષની દિશામાં રેખા સંકલન નીચે મુજબ છે :

$$\mathfrak{J}(\mathrm{L}) = \left| \int_{-\mathrm{L}}^{\mathrm{L}} \mathbf{B} \cdot \mathbf{dl} \right|$$

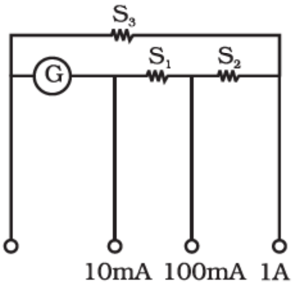
(a) દર્શાવો કે $\mathfrak{J}(\mathrm{L})$માં L સાથે એકસરખો વધારો થાય છે.

(b) યોગ્ય ઍમ્પિરિયન લૂપનો ઉપયોગ કરી દર્શાવો કે $\mathfrak{J}(\infty) = \mu_0 \mathrm{I}$, જ્યાં I એ તારમાંનો વિદ્યુતપ્રવાહ છે.

(c) ઉપરના પરિણામની સીધી ચકાસણી (પુષ્ટી) કરો.

(d) ધારો કે આપણે વર્તુળાકાર લૂપને બદલે સમાન પ્રવાહ I ધરાવતો R ભૂજાઓવાળો ચોરસ લઈએ છીએ, તો તમે $\mathfrak{J}(\mathrm{L})$ અને $\mathfrak{J}(\infty)$ વિશે શું કહી શકશો ?

4.28 આકૃતિ 4.5 માં દર્શાવ્યા મુજબ ગૅલ્વેનોમિટરનો ઉપયોગ કરી મલ્ટિરેન્જ પ્રવાહ મિટરની રચના કરી શકાય છે. 10 Ω અવરોધ ધરાવતું ગૅલ્વેનોમિટર કે જે 1 mA પ્રવાહ માટે મહત્તમ કોણાવર્તન દર્શાવે છે તેનો ઉપયોગ કરી 10 mA, 100 mA અને 1A માપી શકે તેવા પ્રવાહ મિટરો બનાવવાં છે, તો તેના માટે ઉપયોગમાં લીધેલ S_1, S_2 અને S_3 નાં મૂલ્યો શોધો.



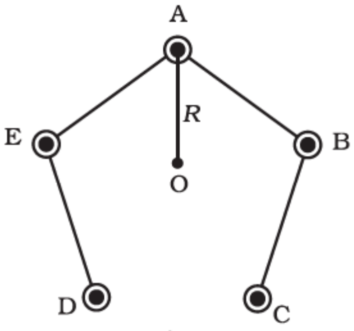
આકૃતિ 4.5

4.29 દરેકમાંથી પ્રવાહ I વહેતો હોય એવા પાંચ લાંબા તાર A, B, C, D અને E ને પંચકોણ પ્રિઝમની બાજુઓ બનાવે તે રીતે આકૃતિ 4.6 માં દર્શાવ્યા મુજબ ગોઠવેલ છે. દરેકમાં પ્રવાહ કાગળના સમતલમાંથી બહાર તરફ વહે છે.

(a) અક્ષ ઉપર આવેલા બિંદુ O પાસે ચુંબકીય પ્રેરણ કેટલું હશે ? અક્ષ દરેક તારથી સમાન R અંતરે આવેલી છે.

(b) જો કોઈ એક તાર (જેમકે A)માં પ્રવાહ બંધ કરવામાં આવે, તો O પાસે ચુંબકીયક્ષેત્ર કેટલું હશે ?

(c) જો કોઈ એક તાર (જેમકે A)માં પ્રવાહની દિશા ઉલટાવવામાં આવે, તો પરિણામ શું થશે ?



આકૃતિ 4.6