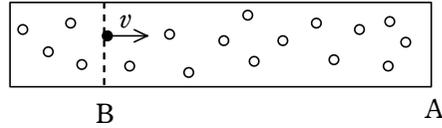


ローレンツ力

91. ローレンツ力とは

- (1) 1m^3 中の自由電子数が n 個ある導線中に電流が流れている。すべての自由電子の速さは一定で $v[\text{m/s}]$ である。電子1個の電気量を $e[\text{C}]$ 、導線の断面積を $S[\text{m}^2]$ として以下の問いに答えよ。



これより、1秒間に断面Aを通過した電子数を数えることにする。Bの位置にある自由電子（黒点）がちょうど1秒後に断面Aを通過したとする。

- ① AB間の距離はいくらか
- ② 断面Aの断面積が $S[\text{m}^2]$ であることを利用し、AB間の導線の体積を S, v であらわせ。
- ③ AB間の導線に含まれる自由電子は何個か。 n, v, S であらわせ。
- ④ 1秒間に断面Aを通過する自由電子は何個か。 n, v, S であらわせ。
- ⑤ 1秒間に断面Aを通過した自由電子が持つ電気量は全体でいくらか。 e, n, v, S であらわせ。
- ⑥ この導線を流れる電流はいくらか

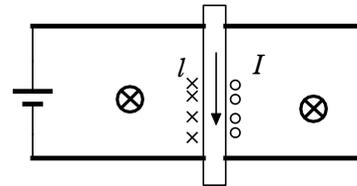
(2) 二本のレールを幅 l で平行に設置し

レール上にアルミパイプを乗せ、

電流 I を右図のように流した。

レール間には磁束密度 B の磁束が右図のように一様に存在している。

これに関して以下の問いに答えよ。



- ① この導線に作用する力の向きを答えよ。
- ② 導線に作用する力の大きさを I, B, l を用いて表せ。
- ③ この導線に作用する力は電流が流れたときのみ作用し、電流が流れていないときには作用しない。このことを考慮して、この力は導線内の何に作用している力と考えられるか。
- ・ 導線の断面積を S 、自由電子密度を n (1m^3 中の自由電子数)、電子1個の電気量 $-e$ とする。
- ④ この導線の体積を l, S で表せ。
- ⑤ この導線内に自由電子は何個存在しているか。 n, l, S で表せ。
- ⑥ ローレンツ力とは磁場が電荷に作用する力である。導線内の自由電子1個に作用するローレンツ力はいくらか。 B, I, n, S で表せ。
- ⑦ 電流 I は1秒間にある断面を通過する電気量である。導線内の自由電子の速さを v とするとき、電流 I を e, n, v, S で表せ。
- ⑧ 自由電子に作用するローレンツ力の大きさを e, v, B で表せ。

解説

- (1) ① v ② vS ③ nvS ④ nvS ⑤ $envS$ ⑥ $I=envS$

- (2) ① 右向き ② $F=IBl$

③ 電流が流れるか流れないかの違いは自由電子が動いているかどうかの違いである。よって、導線に作用している力は自由電子に作用していると考えられる。

自由電子

- ④ lS ⑤ $n l S$

⑥ 自由電子1個あたりのローレンツ力は導線に作用する力を自由電子数で割ればよい。

$$\frac{IBl}{n l S} = \frac{IB}{n S}$$

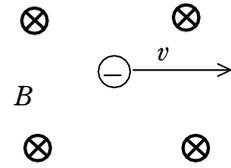
- ⑦ $I=envS$

- ⑧ ⑥⑦より、 $f = \frac{IB}{nS} = \frac{envSB}{nS} = evB$

ローレンツ力

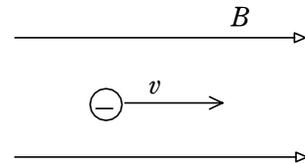
92. 荷電粒子に作用するローレンツ力

(1) 右図のように右向きに速さ v で移動している電気量 $-e$ の電子がある。周辺は磁束密度 B の様な磁場が向う向きに存在している。これに関して以下の問いに答えよ。



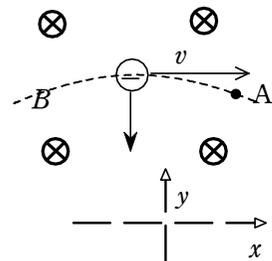
- ① 負電荷が右向きに移動している。このことは電流がどちら向きに流れているのと同じか。
- ② 電流の周りに発生する磁場を参考に右図の電子の周りに発生している磁力線を \circ \times を用いて図示せよ。
- ③ この電子に作用しているローレンツ力の方向を図示せよ。
- ④ この電子に作用しているローレンツ力の大きさを e, v, B で表せ。

(2) 電気量 $-e$ の電子が磁束密度 B の空間を磁束線に沿って速さ v で移動している。これに関して、以下の問いに答えよ。



- ① 電子が右向きに動いていることは電流がどちら向きに動いているのと同じか
- ② 電子の周りに生じている磁力線を \circ \times で図示せよ。
- ③ この場合は外部の磁力線（磁束線）と電子による磁力線は互いに直角関係になっている。この場合、電子は磁場からどのような力を受けるか。

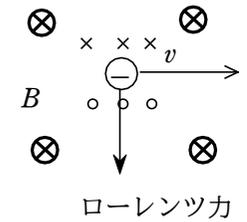
(3) 紙面向う向きの磁束密度 B の磁場中で xy 平面上を x 軸正の方向に電気量 $-e$ の電子が速さ v で移動している。これに関して以下の問いに答えよ。



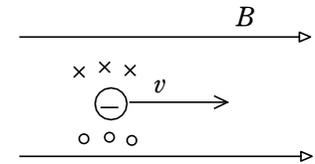
- ① ローレンツ力の作用する方向及び大きさを答えよ。
- ② ローレンツ力の x 成分、 y 成分を答えよ。
- ③ ローレンツ力の x 成分を考慮して、電子の速さは今後どのようにになると予想されるか。
- ④ 電子は進行方向と異なる方向に力を受けているので、電子は曲線を描くようになる。電子の描く曲線の極率半径（曲線を円の一部分と考えたときの円の半径）を R とするとき、この電子に作用する向心加速度の大きさを R, v で表せ。
- ⑤ 電子の質量を m とする。向心力はローレンツ力の y 成分である。電子に関する運動方程式を立てよ。
- ⑥ 電子の極率半径 R を e, B, v, m で表せ。
- ⑦ 電子はしばらく後、上図の点Aに達した。点Aでの電子の速さ、ローレンツ力の大きさを答えよ。
- ⑧ 点Aでの極率半径を e, B, v, m で表せ。

解説

- (1) ① 電流は正電荷の流れであるので、電子の移動方向と逆になる。よって、左向き
 ②③ 右図の通り
 ④ $f = evB$



- (2) ① 左向き ② 右図の通り
 ③ 磁力線は同じ向きの場合反発し、逆向きのときは引き合う。直角のときは力が作用しない。電子は力を受けない。



- (3) ① y 軸下向きに evB
 ② x 成分 0 y 成分 $-evB$
 ③ x 成分の力が0なので、 x 方向には加速しない。よって、電子の速さは変わらない。
 ④ $a = \frac{v^2}{R}$
 ⑤ $evB = m \frac{v^2}{R}$
 ⑥ ⑤を解くと $R = \frac{mv}{eB}$
 ⑦ ③より、電子の速さは変わらない。よって、 v 電気量も、電子の速さも磁束密度も変わらないのでローレンツ力の大きさも変わらない。よって、 evB
 ⑧ ⑤と同じ運動方程式になるので、極率半径も同じである。よって、 $R = \frac{mv}{eB}$
 ⑨ 電子の描く曲線は極率半径が同じ曲線である。この曲線は円である。（一様な磁場に直角に侵入した荷電粒子は等速円運動をする。）

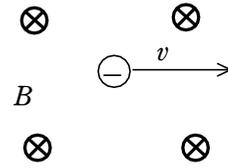
- (4) ① evB ② $evB = m \frac{v^2}{R}$ ③ ②を解くと $R = \frac{mv}{eB}$
 ④ $R = \frac{mv}{eB}$ 周期 T は円周を速さで割ればよいので、 $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{v} \times \frac{mv}{eB} = \frac{2\pi m}{eB}$
 $f = \frac{1}{T}$ より、 $f = \frac{eB}{2\pi m}$
 ⑤ 電子の回転数が電磁波の振動数となる。 $f = \frac{eB}{2\pi m}$

ローレンツ力

⑨ ⑥⑧より、この電子の描く曲線がどのような曲線か推定せよ。

(4) 磁束密度 B の磁場中に電気量 $-e$ 、質量 m の電子が

右図のように速さ v で移動している。これに関して以下の問いに答えよ。



① この電子に作用するローレンツ力の大きさを e, v, B で答えよ。

② この電子は等速円運動をしている。円運動の回転半径を R とすると、この電子の運動方程式を立てよ。

③ この円運動の回転半径を e, m, v, B で表せ。

④ この円運動の周期 T 、及び回転数 f を e, m, B で表せ。

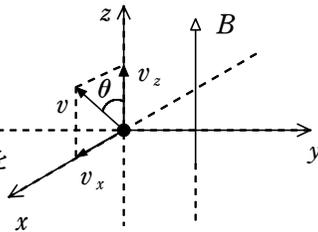
⑤ 電子が加速すると電磁波を発生する。この電磁波の振動数を e, m, B で表せ。

⑥ 磁場中を回転する電子から出る電磁波の周期を測定することにより、電子が回転している空間の何が分かるか。

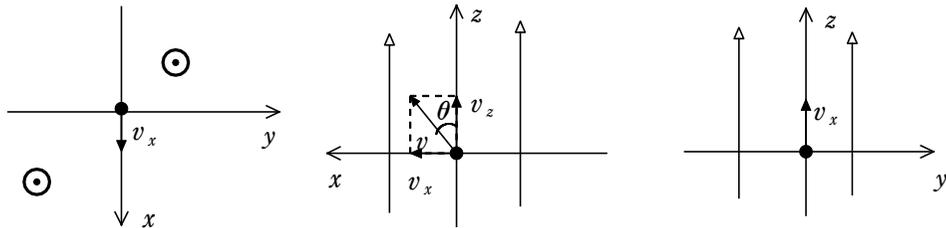
93. 荷電粒子の三次元運動

(1) 右図のように xyz 軸のある空間において、

原点に電気量 $-e$ の電子が存在しており、 xz 平面($y=0$)上を z 軸から x 軸正方向に角度 θ の方向に速さ v で移動している。この空間には z 軸正方向に一樣な磁束密度 B の磁束が存在している。電子の質量を m として以下の問いに答えよ。



① 電子の速度の xyz 成分 v_x, v_y, v_z をそれぞれ v, θ を用いて表せ。(下図を参考にせよ)



② 速度の xyz 各成分 v_x, v_y, v_z によって生じるローレンツ力の方向及び大きさを e, v, B, θ を用いてそれぞれ答えよ。

(磁場と直角な速度成分がローレンツ力を生じる)

③ z 軸方向のローレンツ力に注目し、電子が原点を出発して t 秒後の z 座標を v, θ, t で表せ。

・ この電子は z 軸正の方向から見たとき、円運動をしているように見える。

④ ローレンツ力(xyz 各成分の合力)の方向及び大きさを v, θ, B, e で答えよ。

⑤ 円運動の半径を R とすると、向心加速度を v_x, R を用いて表せ。

⑥ この電子の xy 平面上での運動方程式を立てよ。

⑥ $f = \frac{eB}{2\pi m}$ において、 e, m は既知であるので、磁束密度 B がわかることになる。

解説

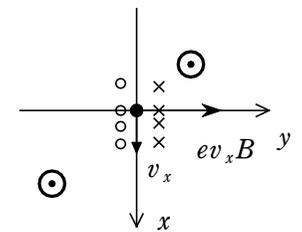
(1) ① 図より x 成分 $v_x = v \sin \theta$ y 成分 $v_y = 0$ z 成分 $v_z = v \cos \theta$

② v_z は磁束線に平行であるからローレンツ力を生じない。0

v_y は大きさが0であるからローレンツ力を生じない。0

v_x は磁束線に直角であるからローレンツ力を生じる。

速度成分 v_x の周りの磁場を $\odot \times$ で描くと右図のようになるので、ローレンツ力は y 軸正方向に $ev_x B$ となる。



よって、

v_x によって生じるローレンツ力は y 軸正方向に $evB \sin \theta$

③ z 軸方向にローレンツ力は存在しない。よって、 z 軸方向は等速運動となる。

t 秒後の z 座標は $z = v_z t = v \cos \theta t$

④ ローレンツ力は v_x のみが y 軸方向に作るだけである。ローレンツ力は y 成分のみで大きさは、 $evB \sin \theta$

⑤ $\frac{v_x^2}{R}$

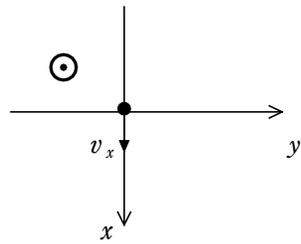
⑥ $evB \sin \theta = m \frac{v^2 \sin^2 \theta}{R}$

⑦ ⑥を解くと $R = \frac{mv \sin \theta}{eB}$

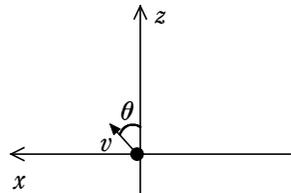
ローレンツ力

- ⑦ この円運動の回転半径を v, θ, B, m, e で表せ。
 ⑧ この円運動の回転周期を B, m, e で表せ。

⑨ この電子を z 軸正の方向から見たときに見える電子の運動する円運動の概形を右図に描け。また、この円の中心の座標を答えよ。



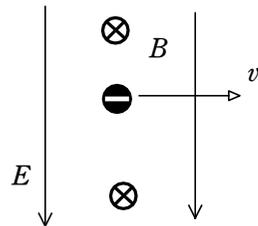
⑩ y 軸正の方向からこの電子の運動を見たときのこの電子の描く図形の概形を右図に描け



- ⑪ 原点を出発した電子は再び z 軸を横切る。再び横切るまでの時間はいくらか。
 ⑫ この電子の軌道はどのような図形を描いているか。
 ⑬ ローレンツ力は速度に対して直角方向にしか作用しない。この点に注目して原点を出発後 t 秒後のこの電子の速さを v で表せ。

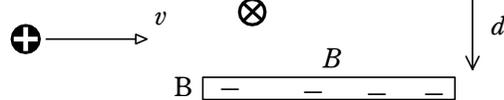
94. 直進条件

(1) 右図のように電場 E が下向きに、磁束密度 B の磁場が紙面向う向きに存在している空間で電気量 $-e$ 、質量 m の電子が右向きに速さ v で移動している。これに関して以下の問いに答えよ。



- ① 電子に作用するローレンツ力の方向と大きさを e, v, B で表せ。
 ② 電子に作用しているクーロン力の方向と大きさを e, E で表せ。
 ③ この電子は直進している。ローレンツ力とクーロン力はどのような関係にあるか。
 ④ 電場の強さ E を v, B で表せ。

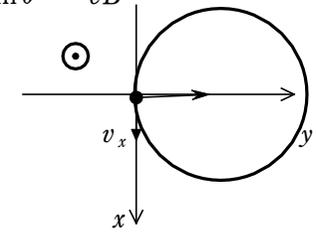
(2) 右図のように金属板 A, B 間に電圧 V をかけて電荷を帯電させた。



AB間の距離は d であり、極板間に磁束密度 B の一様な磁場が紙面手向う向きに存在している。

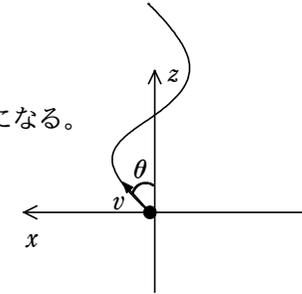
⑧ 周期は円周を速さで割ると良い。 $T = \frac{2\pi R}{v \sin \theta} = \frac{2\pi m}{eB}$

⑨ ローレンツ力の向く方向に中心があり、初速度が接線となる円を描く。中心は、原点より、 y 軸方向に半径分だけずれた位置である。



$$(x, y) = (0, R) = \left(0, \frac{mv \sin \theta}{eB}\right)$$

⑩ 通常円運動を真横から見た場合は単振動となる。単振動しながら z 軸正の方向に等速運動するので、正弦曲線を描くことになる。よって、右図のようになる。



⑪ ⑧⑨より、出発点に戻るまでの時間は $\frac{2\pi m}{eB}$ である。⑨図の原点に z 軸があるので、再び z 軸と交差するのは1周したときである。よって、 $\frac{2\pi m}{eB}$

⑫ このような運動を螺旋(らせん)運動という。

⑬ 速度の直角方向に力が作用するということは力が作用する方向には物体は動いていないので、ローレンツ力は仕事をしない。よって、運動エネルギーの増減がないので、物体の速さは一定となる。速さは v

解説

(1) ① 下向き evB ② 上向き eE

③ 同一作用線上逆向き同じ大きさ(つりあい関係)

(2) ① 下向き $E = \frac{V}{d}$ ② 上向き evB

③ イオンが直進するので、力がつりあっている。 $e \frac{V}{d} = evB$

これを解くと、 $v = \frac{V}{Bd}$

④ クーロン力は $e \frac{V}{d}$ 、ローレンツ力は evB とともに質量には関係ない。重水素イオンは通常の水素イオンと質量のみ異なるので、同じように直進する。

⑤ v が小さくなるので、ローレンツ力 evB が小さくなる。クーロン力のほうが強いので、イオンは下向きに曲がり、金属板 B に衝突する。

⑥ ⑤と逆でローレンツ力 evB が大きくなるので、イオンは上向きに曲がり、金属板 A に衝突する。

⑦ クーロン力もローレンツ力も2倍になるので、 α 粒子は直進する。

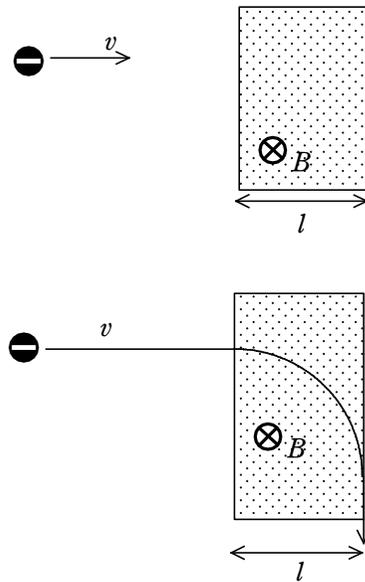
ローレンツ力

この極板間に電荷 e の陽イオンをいろいろ速さを変えて金属板に平行に進入させた。金属板は十分に長く、 d は十分に小さいものとする。これに関して以下の問いに答えよ。

- ① AB間の電場の方向及び強さを V, d で表せ。
 - ・ 質量 m の水素イオン ${}^1_1H^+$ を v で進入させたところ金属板間に侵入した電子が直進し金属板を抜けた。
- ② ローレンツ力の方向及び大きさを e, v, B で表せ。
- ③ 水素イオンの速さ v を B, V, d で表せ。
- ④ 質量 $2m$ の重水素イオン ${}^2_1H^+$ を同じ速度で進入させたところ、このイオンはどのように進むか
 - ・ 水素イオン ${}^1_1H^+$ を v よりも遅い速度で金属板間に侵入させた。
- ⑤ このイオンの進路はどうなるか
 - ・ 水素イオンを v よりも速い速度で進入させた。
- ⑥ このイオンの進路はどうなるか
 - ・ α 粒子 (${}^4_2He^{2+}$) を速度 v で進入させた。
- ⑦ この α 粒子の進路はどうなるか。

95. 荷電粒子の偏向

(1) 紙面向う向きに磁束密度 B の一様な磁場が幅 l の領域に存在している。この領域にいろいろな速さの質量 m 、電気量 $-e$ の電子を入射させた。電子の速さを次第に大きくしていったところ速さ v を超えたところ磁場領域の右側に電子が達した。これに関して以下の問いに答えよ。



- ・ 右の電子の経路は速さ v で入射したときのものである。
- ① この電子に作用するローレンツ力の大きさを e, v, B で表せ。
 - ② 磁場内での回転半径はいくらか。 l で表せ。
 - ③ 向心加速度の大きさを v, l で表せ。
 - ④ この電子の運動方程式を立てよ。

(この装置は荷電粒子の電気量、質量が変化しても直進する条件は速度のみである。そのため、いろいろな種類の荷電粒子において、ある速度の荷電粒子のみを通過させる装置である。この装置を速度選別器と呼んでいる。)

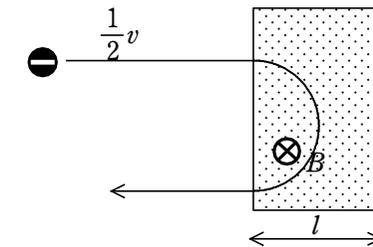
解説

(1) ① evB ② l ③ $\frac{v^2}{l}$ ④ $evB = m\frac{v^2}{l}$

⑤ ④を解くことにより $v = \frac{eBl}{m}$

⑥ ⑤より l (回転半径) と v は比例関係にあることが分かる。 $\frac{1}{2}v$ になると、回転半径は $\frac{1}{2}l$

⑦ 回転半径が半分になるので、右図のように電子はUターンする。



⑧ 60° ⑨ $30^\circ, 60^\circ$ の直角三角形に注目して $\frac{2}{\sqrt{3}}l$

⑩ $\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{V^2}{l}$ ⑪ $eVB = \frac{\sqrt{3}}{2} m \frac{V^2}{l}$

⑫ $V = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{eBl}{m}$

(2) ① evB ② $\frac{v^2}{r}$

ローレンツ力

⑤ 電子の速さ v を e, m, B, l で表せ。

・ 電子の速さを $\frac{1}{2}v$ にして入射させた。

⑥ 電子の回転半径はいくらになるか。 l で答えよ。

⑦ この電子の軌道の概形を右図に描け。

・ 電子の速さを v より大きくして入射させると、点 O を中心とする円運動をし、 B 点より外へ出た。そのときの角度が右図のように 30° となった。

⑧ $\angle AOB$ は何度か

⑨ BO の長さはいくらか。 l で表せ。

⑩ 電子の速さを V として、向心加速度の大きさを V, l で表せ。

⑪ 運動方程式を立てよ。

⑫ 電子の速さ V を求めよ。

(2) 右図のように速度 v

の速度選別器を通過した

速度 v の水素イオンを

磁束密度 B の一様な

磁場が紙面向う向きに

存在している幅 l の

空間の点 A に向けて発した

ところ磁場領域より L 離れた

位置にあるスクリーン上の点 P, Q の2点に像ができた。点 O は磁場がないとき像ができる位置である。 ${}^1_1H^+$ の質量を m 、 ${}^2_1H^+$ の質量を $2m$ 、陽子の持つ電気量を e とし、 $L \gg l$ として、以下の問いに答えよ。

① この水素イオンに作用するローレンツ力の大きさを e, v, B で表せ。

② ${}^1_1H^+$ が磁場中で描く円軌道の半径を r とするとき、 ${}^1_1H^+$ の向心加速度の大きさを r, v で表せ。

③ r を e, v, B, m で表せ。

④ ${}^2_1H^+$ の描く円軌道の半径を r で表せ。

⑤ ${}^1_1H^+$ の作る像は P, Q のどちらか

⑥ $\theta \neq 0$ のとき $\sin \theta \approx \theta$ であり、 $\angle QAO \approx 0$ であるとして、 $\angle QAO$ を e, v, B, m, l で表せ。

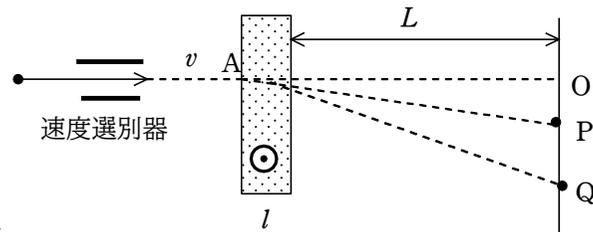
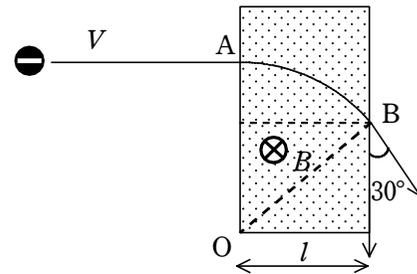
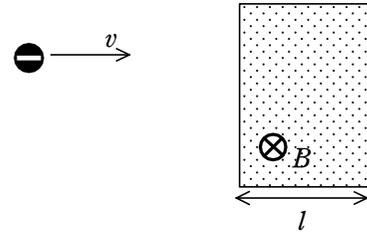
⑦ 距離 OQ を e, v, B, m, l, L で表せ。

⑧ ⑥ のとき、 $OP:OQ$ はいくらか。

⑨ 水素イオンが点 P 、点 Q にぶつかる直前のイオンの速さをそれぞれ v で表せ。

96. 磁場と電場中での荷電粒子の運動

(1) 右図のように右方向に電場 E 、紙面手前向きに



③ 運動方程式 $evB = m \frac{v^2}{r}$ より、 $r = \frac{mv}{eB}$

④ ③より r は m に比例することが分かる。 m が2倍になれば r も2倍になる。よって、 $2r$

⑤ ${}^1_1H^+$ の方が回転半径が小さいために大きく曲がる。よって、 Q

⑥ 右図において $\angle QAO = \theta$ である。

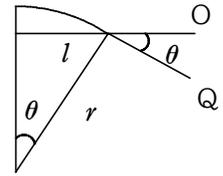
$$\theta = \sin \theta = \frac{l}{r} = \frac{eBl}{mv}$$

⑦ $\tan \theta = \frac{OQ}{L}$ より、 $OQ = L \tan \theta$

$$\theta \approx 0 \text{ なので、} \sin \theta \approx \tan \theta \text{ よって、} OQ = \frac{eBlL}{mv}$$

⑧ OQ は質量 m に反比例する。よって、 $OP:OQ = 1:2$

⑨ 磁場中で作用するローレンツ力は仕事をしないのでイオンの速さは変わらない。よって、ともに v

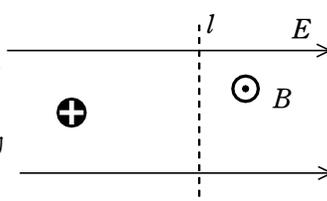


解説

(1) ① クーロン力 = eE ローレンツ力 = 0

ローレンツ力

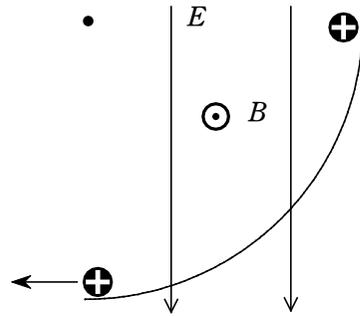
磁束密度 B の磁場がともに一様に存在している空間に質量 m 、電気量 e の陽イオンを静かにおいた。この陽イオンの運動について以下の問いに答えよ。



- ① 静止しているこの陽イオンに作用するクーロン力とローレンツ力の大きさをそれぞれ求めよ。
- ② この静止している陽イオンに生じる加速度の大きさと方向を答えよ。
- ③ この陽イオンはしばらくすると進行方向を変える。その方向は上、下どちらの方向か。
- ④ 十分に時間がたったとき、この陽イオンは一定速度となる。このとき、クーロン力とローレンツ力の関係（大きさ・方向）はどのようにになっているか
- ⑤ ④のとき、この速度の大きさ及び方向を答えよ。
- ⑥ ④のとき、このイオンが持つ運動エネルギーはどこから得たものか。
- ⑦ ④のとき、この陽イオンは最初の位置よりも右にいくらかずれた、直線 l 上を運動している。この直線は最初の陽イオンの位置より右にいくらかずれているか。

(2) 右図のような半径 r の $\frac{1}{4}$ 球の凹面に

下向きに電場 E が存在し、紙面手前向きに磁束密度 B の一様な磁場が存在している。質量 m 、電気量 e の正イオンを凹面上端に静かにおいたところ、球面に沿って滑り出し、下端から水平に飛び出した。この陽イオンの運動に関して以下の問いに答えよ。



- ① この陽イオンに作用するクーロン力の大きさはいくらか。 e, E で表せ。
- ② この陽イオンが下端から飛び出すまでにクーロン力がした仕事はいくらか。
- ③ ②のとき、ローレンツ力がした仕事はいくらか
- ④ 陽イオンが下端から飛び出したときの運動エネルギーはいくらか
- ⑤ ④のとき、この陽イオンの速さはいくらか
- ⑥ 陽イオンが下端から飛び出す直前、この陽イオンの向心加速度はいくらか。
- ⑦ ⑥のとき、陽イオンが凹面から受けている垂直抗力の大きさを N として、この陽イオンの運動方程式を N, B, e, v, E, m, r を用いて表せ。
- ⑧ この陽イオンが下端から飛び出したときの垂直抗力 N の満たすべき条件を答えよ。
- ⑨ この陽イオンが下端から飛び出すための電場 E の最小値を B, m, e, r で表せ。

(静止しているためローレンツ力は作用しない)

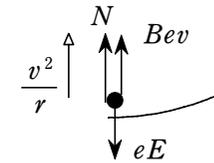
- ② $eE = ma$ より、 $a = \frac{eE}{m}$ 方向は電場の方向で右向き
- ③ 陽イオンが右向きに動くとローレンツ力が下向きに作用するので、下に方向を変える。
- ④ 一定速度とは力がつりあっている状態なので、逆向き同じ大きさ。
- ⑤ ローレンツ力は evB なので、 $evB = eE$ これより、 $v = \frac{E}{B}$ 方向は下向き
- ⑥ ローレンツ力は仕事しないので、電場から得たことになる。
- ⑦ ずれを x とすると、電場がした仕事は eEx となる。これが運動エネルギーとなる。

$$\text{よって、} \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \frac{E^2}{B^2} = eEx$$

$$\text{これより、} x = \frac{mE}{2eB^2}$$

- (2) ① eE ② $W = Fs = eEr$ ③ 0
- ④ クーロン力による仕事が運動エネルギーである。よって、 eEr
- ⑤ $\frac{1}{2}mv^2 = eEr$ これより、 $v = \sqrt{\frac{2eEr}{m}}$
- ⑥ $\frac{v^2}{r} = \frac{2eE}{m}$
- ⑦ 右図より

$$N + Bev - eE = m \frac{v^2}{r}$$



- ⑧ $N > 0$
- ⑨ ⑦⑧より、 $N = m \frac{v^2}{r} + eE - Bev > 0$

$$v = \sqrt{\frac{2eEr}{m}} \text{ を代入して、}$$

$$m \frac{2eE}{m} + eE > Be \sqrt{\frac{2eEr}{m}}$$

$$3E > B \sqrt{\frac{2eEr}{m}}$$

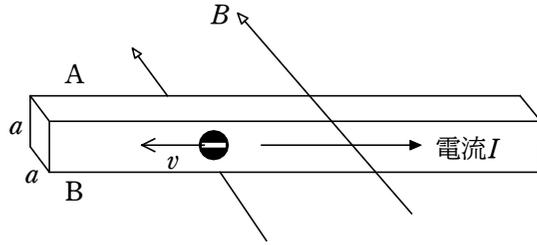
$$\text{これより、} E > \frac{2B^2er}{9m}$$

$$\text{最小値は } \frac{2B^2er}{9m} \text{ となる。}$$

ローレンツ力

97. ホール効果

右図のように断面が
1辺 a の正方形である
四角柱形の導線がある。
この導線右向きに電流
 I を流した。この周辺の
空間は電流の向きと
直角方向に磁束密度 B
の様な磁場が存在して



いる。導線内の自由電子密度を n 、電子の電気量を $-e$ 、自由電子の速さを v とし、右図の導線の上面をA、底面をBとするとき、以下の問いに答えよ。

- ① この導線の断面積はいくらか。 a で表せ。
- ② 電流 I を e, n, v, a で表せ。
- ③ 導線内の自由電子に作用するローレンツ力の方向(A \rightarrow B、B \rightarrow A)と大きさを e, v, B で表せ。
- ④ 導線内の自由電子はA、B面どちらに集まる傾向があるか。
- ⑤ 自由電子がA面又はB面に集まることによって、AB間に電場が生じる。AB間の電場はA \rightarrow B、B \rightarrow Aのどちら向きに生じるか。
- ⑥ 電流が流れ始めてしばらくすると、自由電子は直進するようになる。その理由を「ローレンツ力」、「クーロン力」の語を用いて説明せよ。
- ⑦ ⑤によって生じる電場の強さを E とすると、電子に作用するクーロン力の大きさを e, E で表せ。
- ⑧ E を v, B で表せ。
- ⑨ AB間に生じる電圧を E, a を用いて表せ。また、A, Bどちらが正極となるか。
- ⑩ AB間に生じる電圧を v, B, a で表せ。
- ⑪ ②を用いてAB間に生じる電圧 V を e, n, B, a, I で表せ。

解説

- ① a^2 ② $I = envS = enva^2$ ③ evB で上向き
- ④ ローレンツ力が上向きに作用するので、自由電子は上に集まる。A
- ⑤ 自由電子が上に集まるので、正電荷は下に集まる。電場は $+ \rightarrow -$ なので、B \rightarrow A
- ⑥ 導線内の自由電子には上向きにローレンツ力が、下向きにクーロン力が作用するようになり、自由電子が上に集まるにつれ、電場が次第に強くなり、電場によるクーロン力とローレンツ力がつりあうようになるため

(下線部が解答)

- ⑦ eE
- ⑧ ローレンツ力=クーロン力より $evB = eE$ よって、 $E = vB$
- ⑨ $V = Ed$ より $V = Ea$ 正電荷が集まっているBが正極
- ⑩ ⑧より $V = Ea = vBa$
- ⑪ ②より $v = \frac{I}{ena^2}$ これを⑩に代入して $V = \frac{IB}{ena}$

このようにして V が生じる現象をホール効果という。