

【19 磁場】

- ・ 磁場

$$H \text{ [N/Wb]} \quad (+ 1 \text{ Wbが受ける磁気力の大きさと向き})$$

- ・ 直線電流がつくる磁場

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad [\text{A/m}]$$

- ・ 円形電流がつくる磁場

$$H = \frac{I}{2r} \quad [\text{A/m}]$$

- ・ ソレノイドがつくる磁場

$$H = nI \quad [\text{A/m}]$$

- ・ 磁束密度

$$B = \mu H \quad [\text{T}]$$

- ・ 電磁力

$$F = IBl = \mu IHl \quad [\text{N}]$$

- ・ ローレンツ力

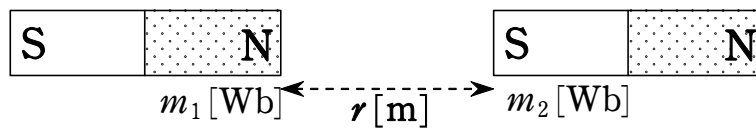
$$F = qvB \quad [\text{N}]$$

()年 ()科 ()組 ()番 名前()

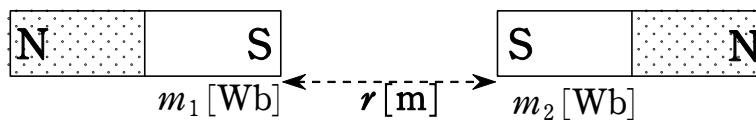
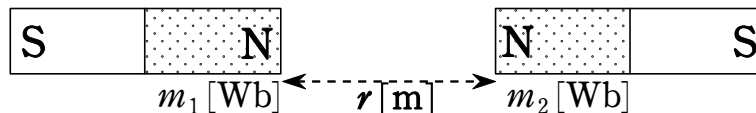
第3章 電流と磁場

A 磁気力

異なる磁極は引き合い、



同じ磁極は反発する。



$$m \quad [\quad]$$

磁気量

$$F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

磁気量のクーロンの法則

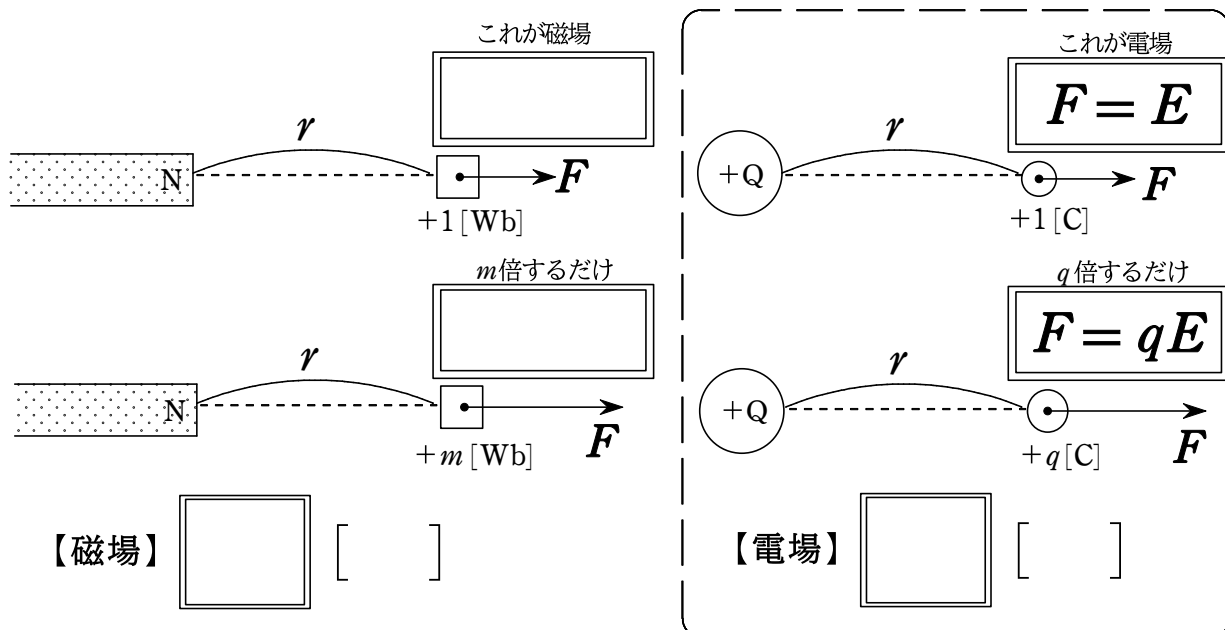
←しかし、これを使う問題をほとんど見たことがないので覚えなくていいです。

B 磁場

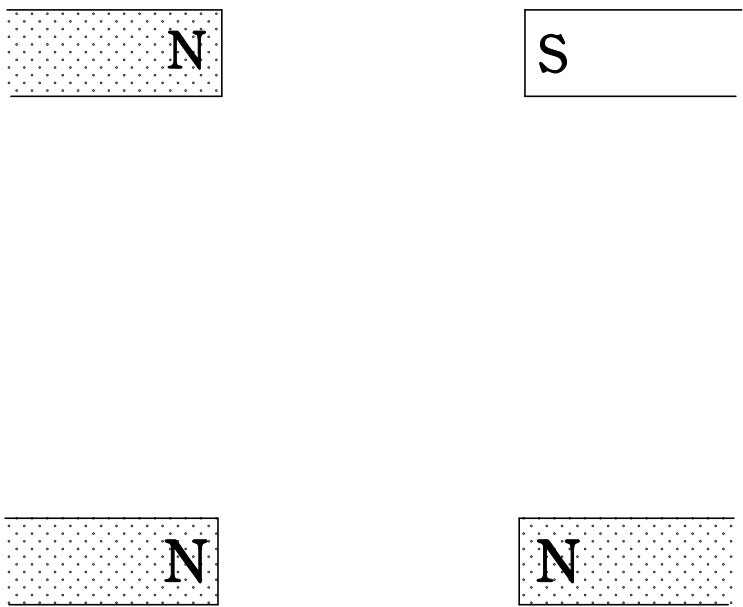
磁場の定義

距離 r 離れた場所にある、 $+1$ [Wb] のN極が受ける力の大きさと向きを、その場所の磁場 H の大きさと向きとする。

→ 要は、電場とまったく同じ考え方です。電場が不十分な人はこの機会に確認を！



C 磁力線

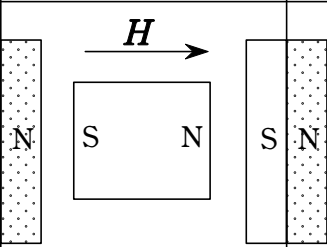
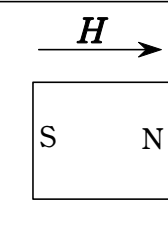
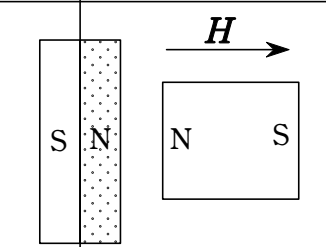


- 磁力線の性質
- 1、接線の向きが磁場の向き
(方位磁針の向きにもなる)
 - 2、N極から出てS極に入る
 - 3、密集しているところほど
磁場が強い
 - 4、交差や枝分かれをしない

ほぼ電気力線と同じです

D 磁化

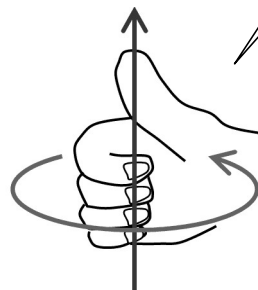
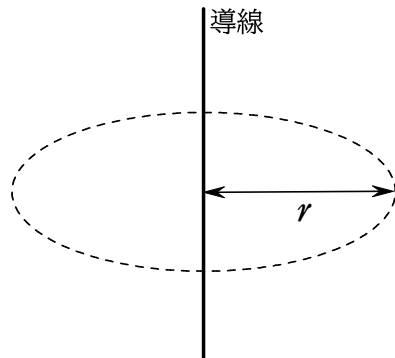
磁石に鉄をくっつけておくと、鉄が磁石のようになることってありますよね。そのことを「磁化」といいます。

	強磁性体	常磁性体	反磁性体
磁化の され方	 磁場の向きに 強く磁化される	 磁場の向きに 弱く磁化される	 磁場と逆向きに 弱く磁化される
例	鉄、コバルト、ニッケル	アルミニウム、空気	銅、水、水素

2 電流のつくる磁場

電流は周囲に磁場をつくります！！
(電流と磁場は切っても切れない関係なのです。)

直線電流がつくる磁場



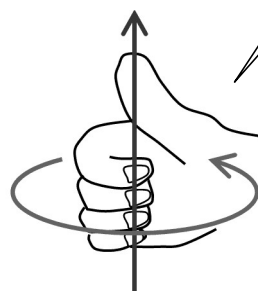
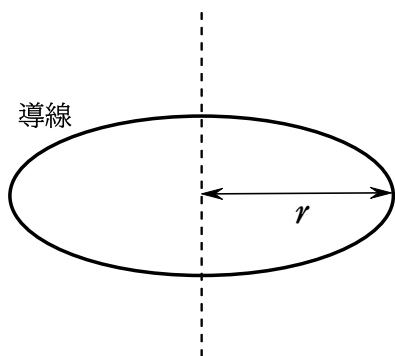
右ねじの法則

親指が電流 I の向き
4本の指が磁場 H の向き

同じ円周上において磁場の大きさは同じです。向きは円の接線方向です。

$$H = \quad [\quad]$$

円形電流がつくる磁場



右ねじの法則

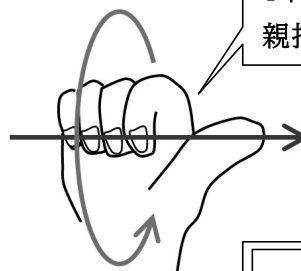
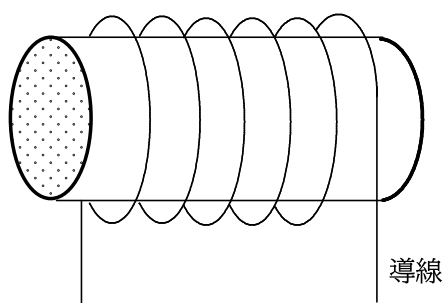
4本の指が電流 I の向き
親指が磁場 H の向き

$$H = \quad [\quad]$$

N回巻きなら↓

$$H = \quad [\quad]$$

ソレノイドがつくる磁場



4本の指が電流 I の向き
親指が磁場 H の向き

$$H = \quad [\quad]$$

n : 単位長さ当たりの巻き数

※ 上の式の導出は、「アンペールの法則」や「ビオ・サバールの法則」といった大学で習う微積分を解かなければならないので、残念ながら、高校物理では暗記するしかありません。まあシンプルな式なので頑張りましょう。

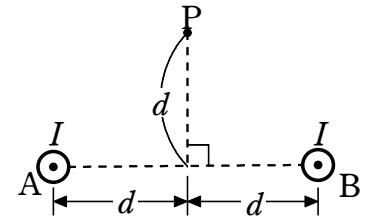
- 1 $1.0 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ の S 極を置くと、右向きに $1.2 \times 10^{-2} \text{ N}$ の磁気力を受ける場所の磁場 $\vec{H} [\text{N/Wb}]$ の向きと強さを求めよ。
- 2 4.0 A の直線電流からの距離が 0.50 m の点での磁場の強さは何 A/m か。
- 3 半径 0.10 m の 10 回巻きの円形コイルに 0.50 A の電流を流すとき、円の中心における磁場の強さは何 A/m か。
- 4 長さ 0.10 m 、巻数 200 のソレノイドに 0.40 A の電流を流すと、その内部にできる一様な磁場の強さは何 A/m か。

5

● 紙面の裏から表の向き

⊗ 紙面の表から裏の向き

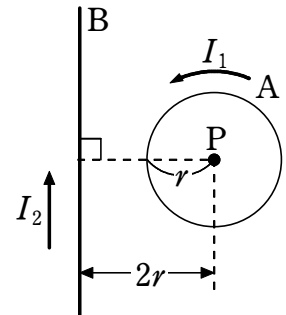
十分に長い2本の導線 A, B を $2d$ [m] 離して平行に張る。図のように, A, B ともに紙面の裏から表の向きに I [A] の電流を流した。点 P での磁場の強さ H [A/m] を求めよ。円周率を π とする。



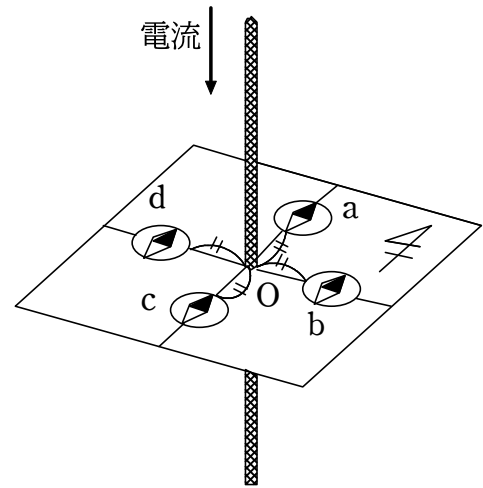
6

図のように, 半径 r [m] の円形コイル A と, 十分に長い直線状の導線 B を同じ平面内に置く。A の中心 P と B との距離を $2r$ [m] とし, A, B にはそれぞれ I_1, I_2 [A] の電流を図に示す向きに流す。円周率を π とする。

- (1) 点 P での磁場 H [A/m] を求めよ。紙面に垂直に裏から表へ向かう向きを正とする。
- (2) $H=0$ とするには, I_2 は I_1 の何倍にすればよいか。



- 7 図のように、水平な厚紙の上に小さな方位磁針を 4 つ置く。各方位磁針は厚紙の中心の点 O から 6.0 cm の位置にあり、どれも北をさしている。点 O に導線を鉛直方向に通し、電流を上から下向きに流した。地球の磁場の向きは北向きとする。また、方位磁針どうしが及ぼしあう力は無視できるものとする。



- (1) 流す電流が $\sqrt{3}\pi \text{ A}$ (π は円周率) のとき、方位磁針 b, d は向きを変えなかったが, a, c は南北の軸から 30° 振れた。地球の磁場の水平分力 $H_0 [\text{A/m}]$ を求めよ。
- (2) $3\sqrt{3}\pi \text{ A}$ の電流を流すと、各方位磁針はどちらを向くか。

B 磁束密度

電流が磁場から力を受けるときは、磁場が伝わるまわりの物質のことも考えないといけません。その地点の磁場「 H 」に透磁率「 μ 」をかけたものを、磁束密度「 B 」といいます。透磁率「 μ 」は物体によって変わる値です。

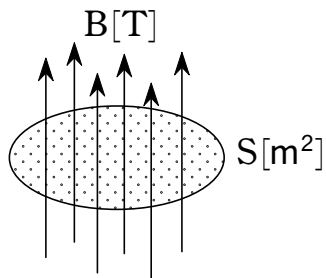
【磁束密度】

[]

つまり、周りの物質（空気中とか水中とか鉄の中とか）のことも考えた磁場の伝わり方のことです。今後は「 H 」の代わりに「 B 」を使うことが多くなります。

磁束

磁束密度 $B[\text{T}] \times$ 面積 $S[\text{m}^2]$ を磁束 Φ といいます。磁場の「たば」ですね。

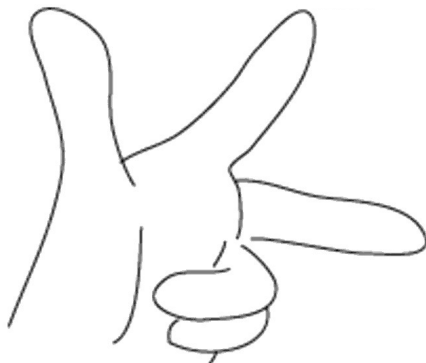


【磁束】

[]

□ フレミングの左手の法則(親指から順にFBI)

□ I から B へ右ねじ

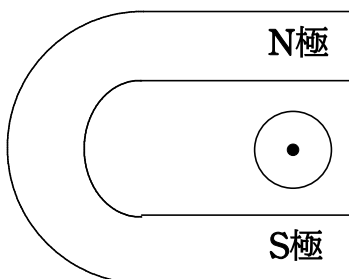


or

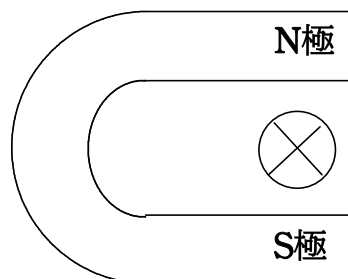


オススメ

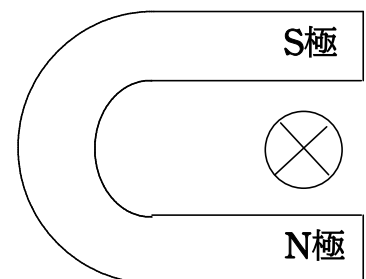
ブランコはどちらに動く？



左 or 右



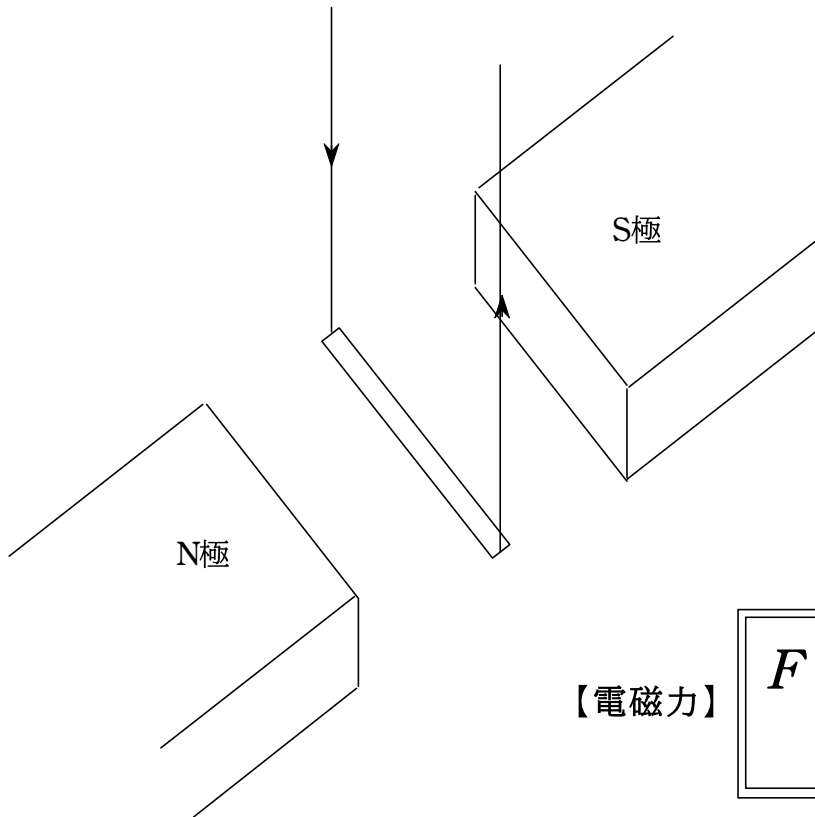
左 or 右



左 or 右

3 電流が磁場から受ける力

① 電流が磁場に対して垂直なとき



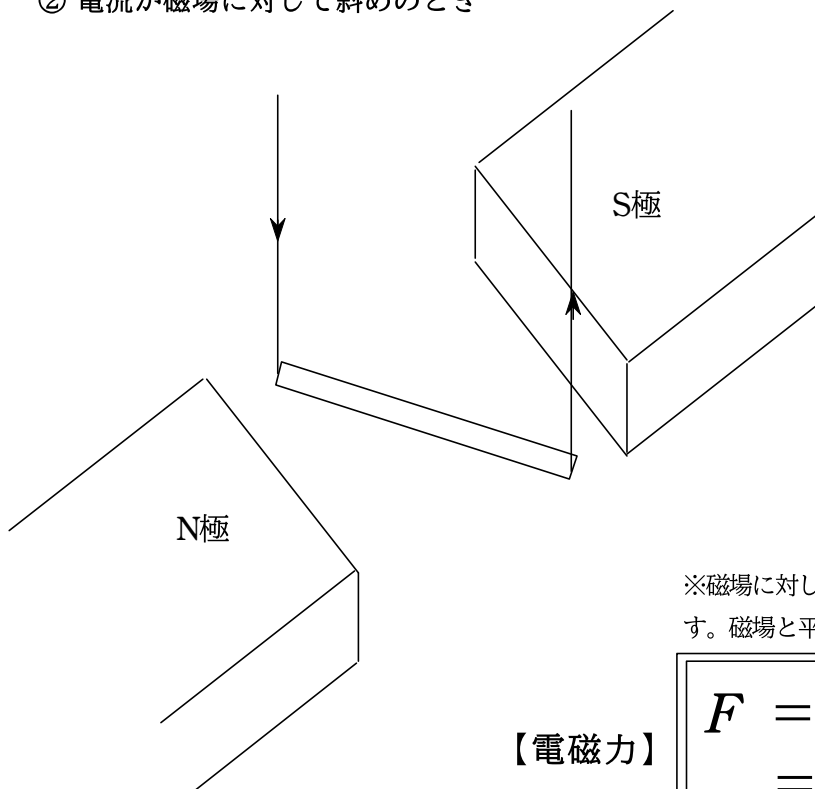
【電磁力】

$$F = \quad \quad \quad \begin{bmatrix} \quad \\ \quad \end{bmatrix}$$

$$= \quad \quad \quad \begin{bmatrix} \quad \\ \quad \end{bmatrix}$$

$$B = \mu H$$

② 電流が磁場に対して斜めのとき



【電磁力】

$$F = \quad \quad \quad \begin{bmatrix} \quad \\ \quad \end{bmatrix}$$

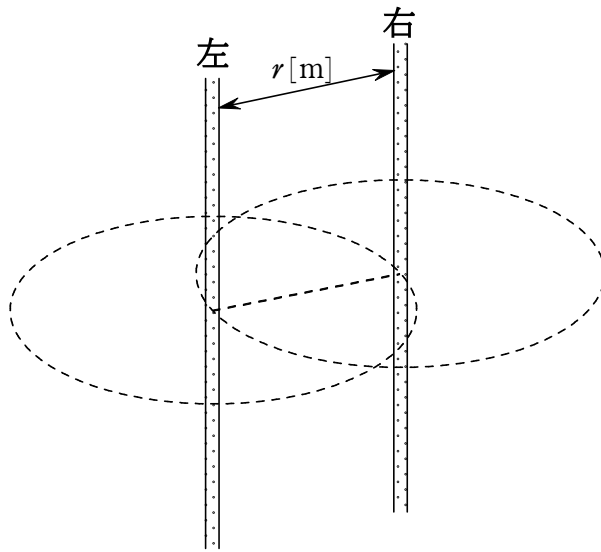
$$= \quad \quad \quad \begin{bmatrix} \quad \\ \quad \end{bmatrix}$$

$$B = \mu H$$

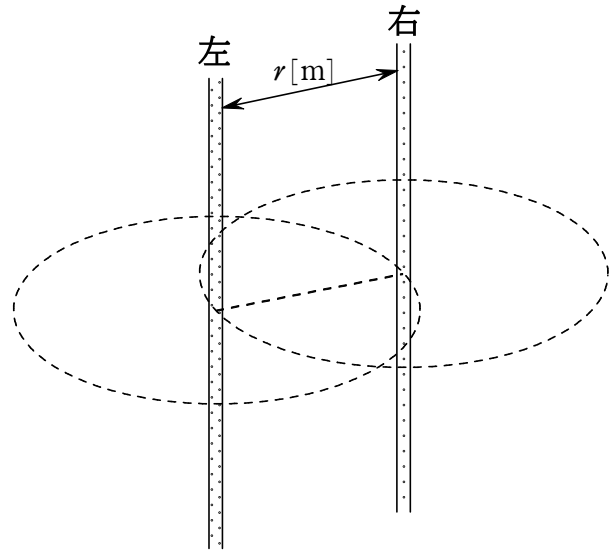
※磁場に対して垂直な向きの電流だけが力を受けます。磁場と平行な向きの電流は力を受けません。

C 平行電流が及ぼしあう力

同じ向きの電流 (引力)



逆向きの電流 (斥力)



左の導線に I_1 [A], 右の導線に I_2 [A] の大きさの電流が流れているとします。
すると、右の導線に流れる電流が左の導線の位置につくる磁場 H は、

となります。また、透磁率を μ とすると、磁束密度 B は、

となるので、左の導線 l [m] の部分が受ける力を求めると、

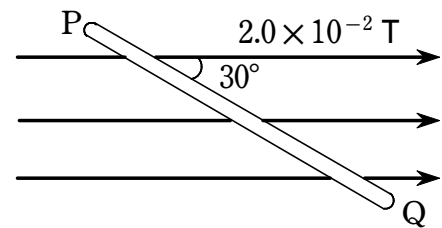
【平行電流が及ぼしあう力】

$$F = \text{—————} [\quad]$$

同様に右側の導線が受ける力を求めても同じ結果が得られます。

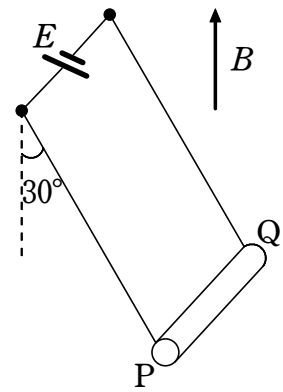
問題演習(アウトプット) シャベる、質問する、説明する、動く、他者と協力する

- 1 25 A/m の一様な磁場中に、磁場に対して垂直に導線を置き、2.0 A の電流を流す。この導線の 0.10 m の部分が受ける力の大きさは何 N か。透磁率を $1.26 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$ とする。
- 2 磁束密度が 0.50 T の一様な磁場中に、磁場に対して垂直に導線を置き、4.0 A の電流を流す。導線の 0.20 m の部分が受ける力の大きさは何 N か。
- 3 図のように、磁束密度が右向きに $2.0 \times 10^{-2} \text{ T}$ の一様な磁場内に、磁場と 30° の角をなす向きに長さ 0.10 m の導体棒 PQ を置く。P→Q の向きに 3.0 A の電流を流すとき、導体棒 PQ が受ける力の向きと大きさ $F[\text{N}]$ を求めよ。



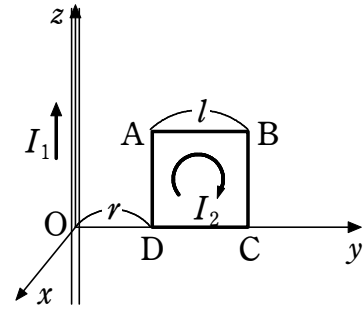
- 4 鉛直上向きの一様な磁場内で、質量 m [kg]、長さ l [m]、抵抗 R [Ω] の導体棒 PQ を等しい長さの 2 本の軽い導線で水平につりさげる。図のように、導線の上端を起電力 E [V] の電池でつないだところ、導線は鉛直線から 30° 傾いた。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

- (1) 導体棒 PQ に流れる電流の大きさ I [A] を求めよ。
- (2) 一様な磁場の磁束密度の大きさ B [T] を求めよ。



- 5 かつては、真空中で 1 m 離れた平行導線に等しい電流を流し、導線 1 m 当たり 2×10^{-7} N の力がはたらくような電流を 1 A と定めていた。このことから、真空の透磁率を円周率 π を用いて表せ。

- 6 図のように、真空中にある直交座標軸の z 軸上に無限に長い導線があり、 z 軸の正の向きに電流 $I_1[\text{A}]$ が流れている。また、 yz 座標面に 1 辺の長さ $l[\text{m}]$ の正方形のコイル ABCD があり、図のような向きに電流 $I_2[\text{A}]$ が流れている。ABCD の辺 CD は y 軸上にあり、辺 AD と z 軸との距離は $r[\text{m}]$ である。真空の透磁率を μ_0 $[\text{N/A}^2]$ 、円周率を π とする。

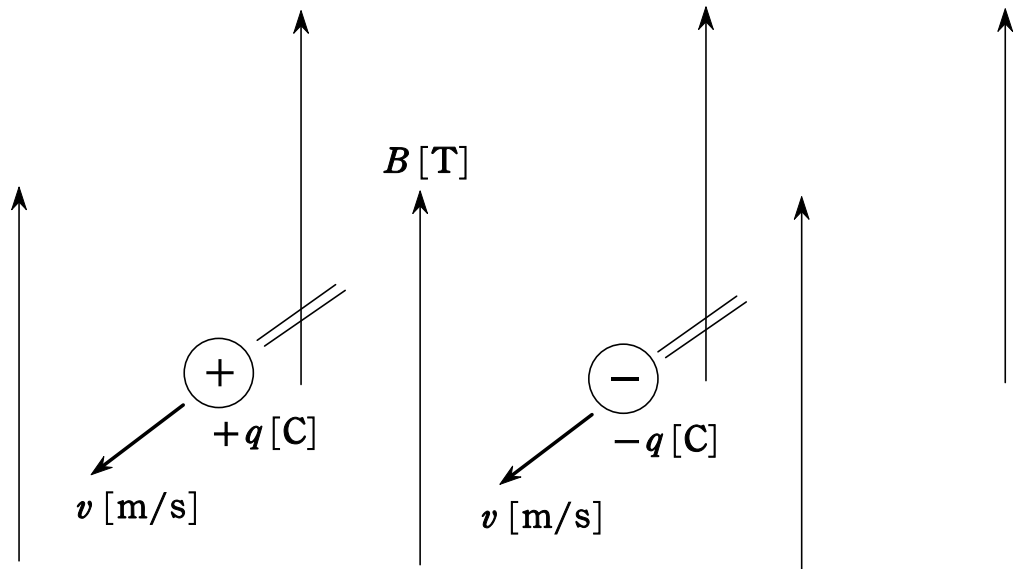


- (1) I_1 がコイルの辺 AD の位置につくる磁場の大きさ $H_1[\text{A/m}]$ と向きを求めよ。
- (2) I_1 がコイルの辺 AD に及ぼす力の大きさ $F_1[\text{N}]$ と向きを求めよ。
- (3) I_1 がコイルの辺 BC に及ぼす力の大きさ $F_2[\text{N}]$ と向きを求めよ。
- (4) I_1 がコイル ABCD の全体に及ぼす力の大きさ $F[\text{N}]$ と向きを求めよ。

4 ローレンツ力

A ローレンツ力

電気量の大きさ q [C] の電荷が、磁束密度 B [T] の磁場中を、速度 v [m/s] で運動すると、電荷は力を受けます。



これを「ローレンツ力」と言い、その大きさは、

【ローレンツ力】

$$F =$$

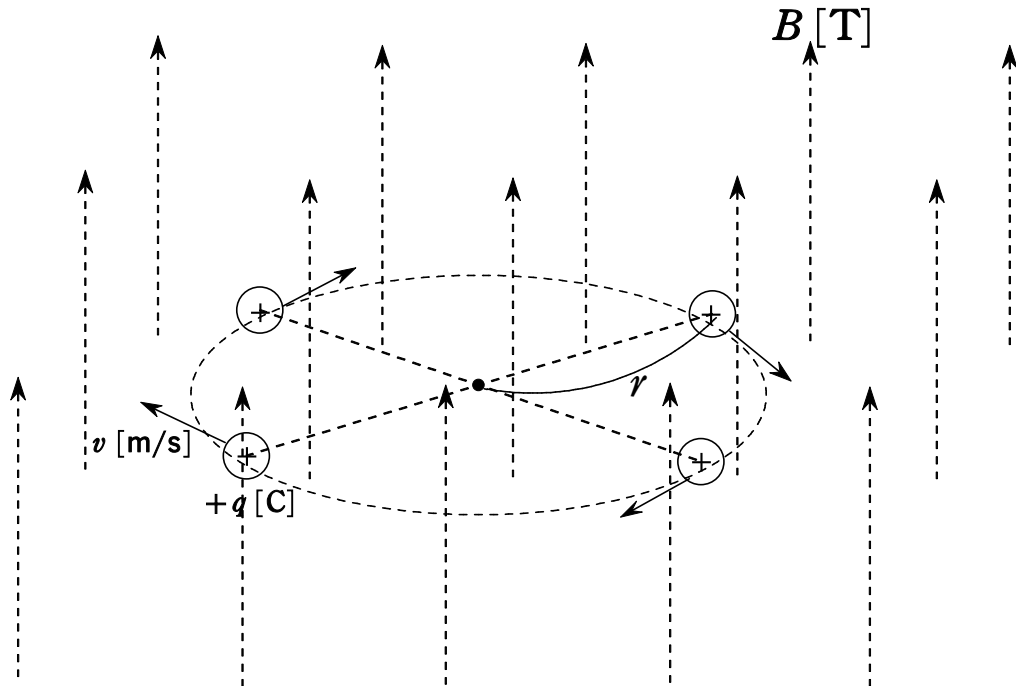
[]

で決まります。

また、向きは、「フレミングの左手の法則」 or 「 I から B に右ネジ」を使えばいいです。

- ・プラスの電気が進む方向と同じ向きに電流が流れる、または、
- ・マイナスの電気が進む方向の逆向きに電流が流れる ことを利用するのです。

B 一様な磁場内の荷電粒子の運動



一様な磁束密度 B [T] の中で電子が動くと、ローレンツ力が「 」となり等速円運動をします。その半径を r とおくと、運動方程式 $ma = F$ より

$$r = \text{—————} [\quad]$$

また周期 T は、

$$T = \text{—————} [\quad]$$

v や r によらないことが大事！どんな半径でもかかる時間は同じです！

比電荷

1[kg]あたりの電気量 [C] のことを比電荷と言います。原子の分野で使います。

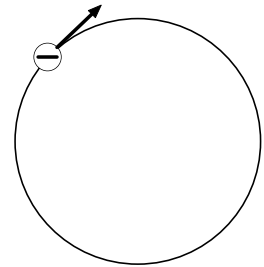
【比電荷】

$$\frac{q}{m} \text{ [C/kg]}$$

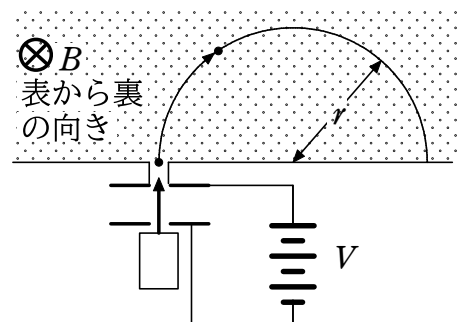
←電子や陽子の種類ごとに
てこの値は変わります。
その粒子がもつ固有の値です。

- 1 電気を帯びた粒子(荷電粒子)が磁場の中を運動すると力を受ける。この力を「 F 」という。電気量の大きさ q の荷電粒子が磁束密度の大きさ B の磁場の中で、磁場に垂直な向きに速さ v で運動しているときのローレンツ力の大きさ f は $f = qvB$ となる。

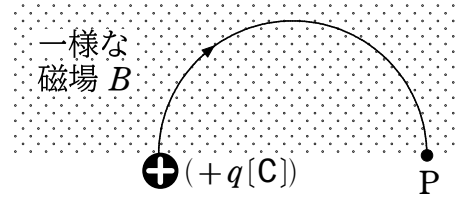
- 2 質量 m [kg]、電気量 $-e$ [C] の電子が磁束密度 B [T] の磁場中において、磁場の方向に垂直な面内で v [m/s] の速さで、図に示す向きに円運動をしている。
- (1) 磁場の向きを答えよ。
 - (2) 円運動の半径 R [m] を求めよ。
 - (3) 円運動の周期 T [s] を求めよ。



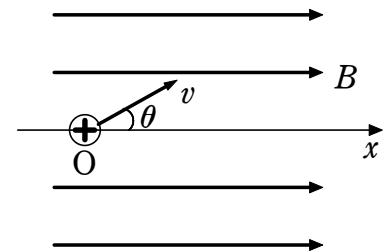
- 3 電極間の電圧 V [V] で加速された電子が、真空の容器内の磁束密度 B [T] の一様な磁場の中に磁場と垂直に入射し、半径 r [m] の半円を描いた。電子の初速度を 0 として、その比電荷を求めよ。



- 4 紙面に垂直で、磁束密度 B [T] の一様な磁場中に質量 m [kg], 電気量 q [C] の正の荷電粒子を入射させたところ、粒子は半円を描いて点 P に達した。このときの磁場の向きと粒子が点 P に達するまでの時間を求めよ。円周率を π とする。

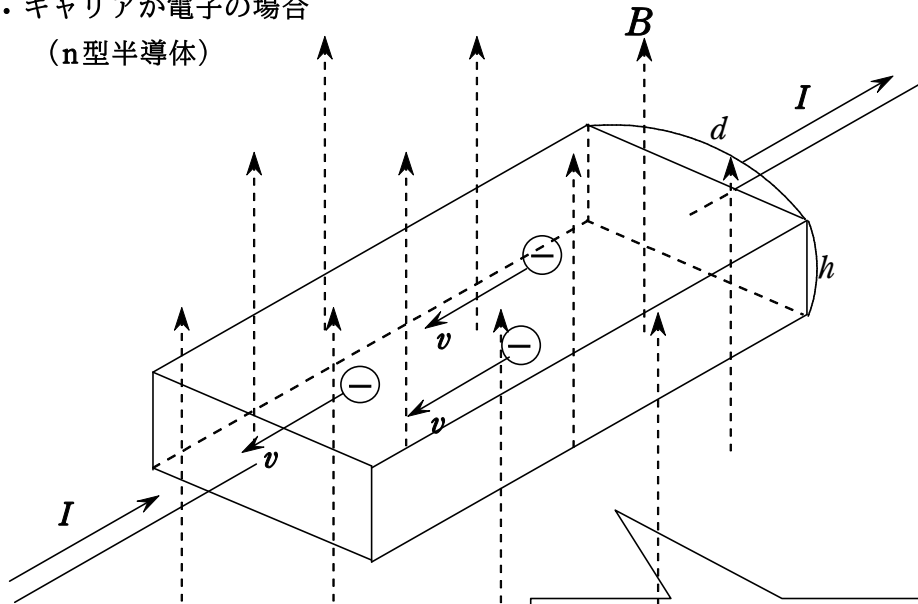


- 5 磁束密度 B [T] の一様な磁場と平行に x 軸をとる。 x 軸の原点 O から質量 m [kg], 電気量 q [C] の正の荷電粒子を, x 軸と角 θ をなす向きに速さ v [m/s] で打ち出した。この粒子はその後らせん運動をする。原点 O を出てから、最初に x 軸を横切るまでの時間 t [s] を求めよ。また、そのときの位置と原点 O との距離 l [m] を求めよ。円周率を π とする。



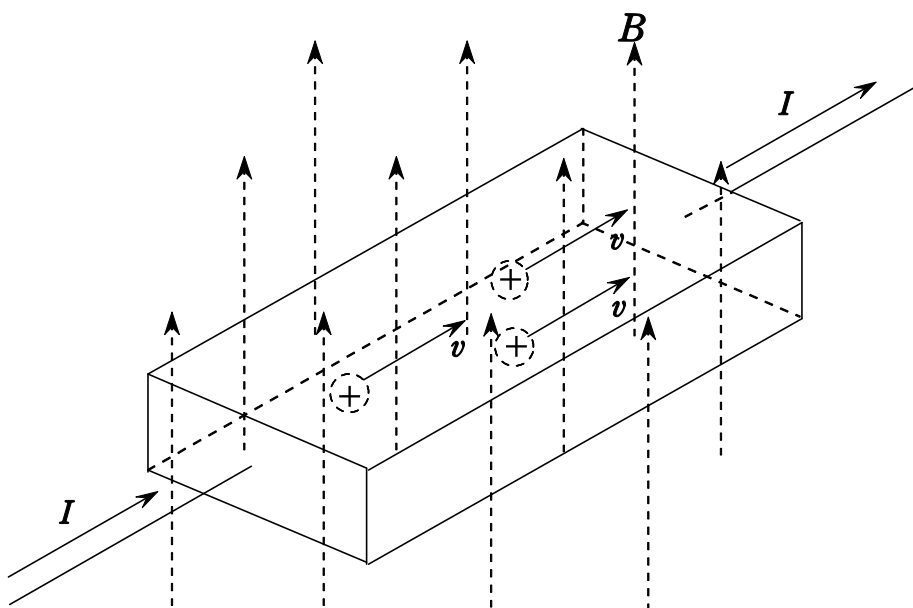
C ホール効果

- ・ キャリアが電子の場合
(n型半導体)

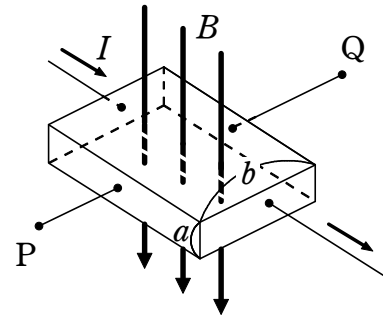


1. 電流が流れている半導体に磁場をかけると電子(またはホール)がローレンツ力を受けます。
2. すると半導体の両端に電荷が溜まることになり、電位差 V が生じます。
3. 電位差 V が生じることにより電場 E が生じます。
4. 生じた電場 E から静電気力を受けます。
5. 最終的にローレンツ力と静電気力が釣り合い、再び電子(またはホール)が直進ようになります。

- ・ キャリアがホールの場合
(p型半導体)

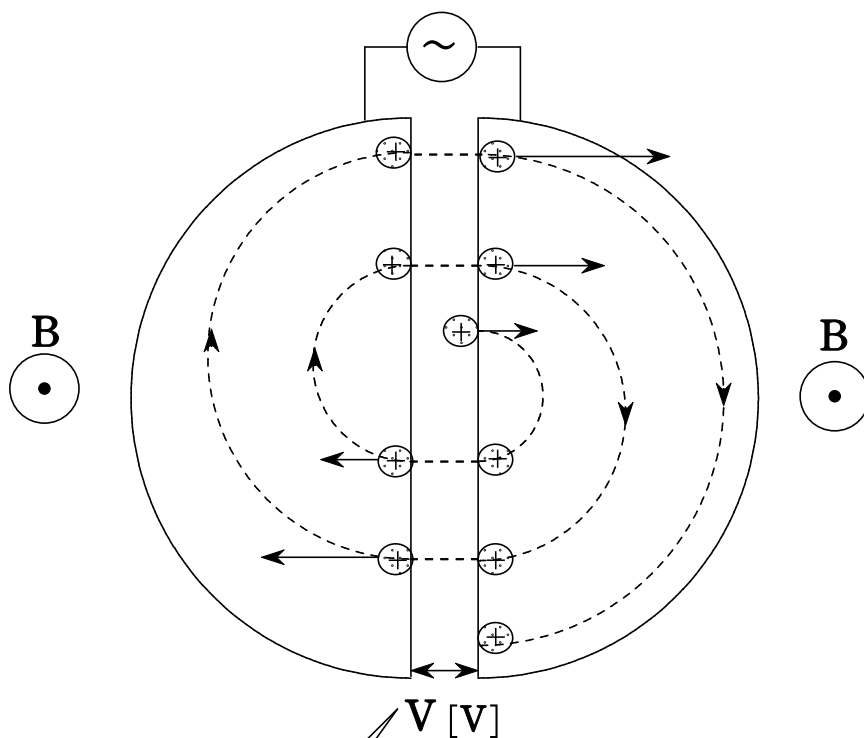


- 1 図のように、直方体の試料を水平に置き、鉛直下向きに磁束密度 B [T] の一様な磁場を加え、 I [A] の電流を図の向きに流したところ、PQ 間に V [V] の電圧が生じた。電気素量を e [C] とする。
- (1) P が Q よりも高電位であった。この試料内を流れる電流の担い手は正か負のどちらか。
 - (2) 試料内を進むキャリア (電流の担い手) は、磁場と PQ 間に生じた電場の両方から力を受ける。このとき、試料内を直進するキャリアの速さ v [m/s] を求めよ。
 - (3) 単位体積当たりのキャリアの数 n [1/m³] を求めよ。

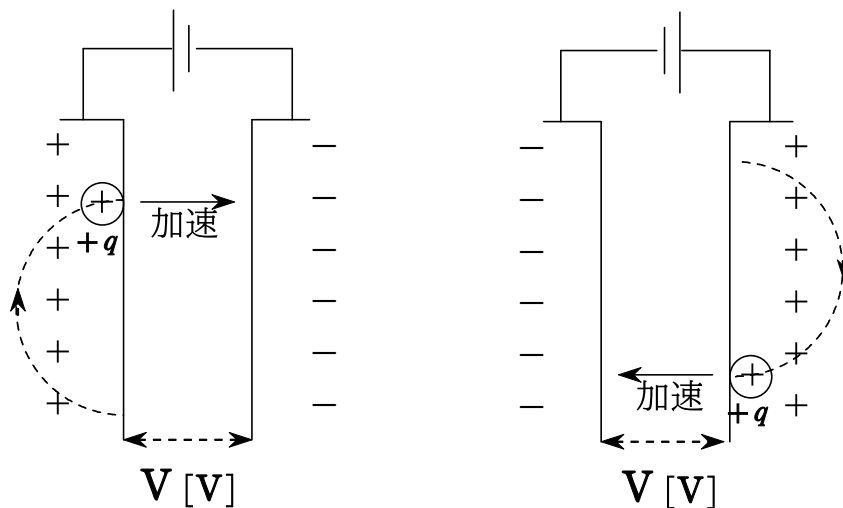


D サイクロトロン(加速器)

$+q[\text{C}]$ の正電荷を一様な磁場中に入進させます。すると円運動を始めますが、真ん中を通過するタイミングに合わせて「正電荷がいる極を正」に、「反対側の極を負」に電圧をかけることで、反対側の極に引き寄せられて加速させることができます。正電荷の周期は半径や速度によらず一定なので、それに合わせた交流電圧を加えることで実現できます。



電荷が真ん中を通過する周期に合わせて交流のプラスマイナスを入れ替えます。すると、真ん中を通過するたびに「 qV 」の位置エネルギーが運動エネルギーへと蓄えられていき、だんだん速度が増していきます。ついでに半径も増していきます。





「不屈不撓の物理ホームページリンク」

パスワード ○○○○