

14 . 電流と磁界

〈 a 〉 磁気力と磁界 （教科書 P.68 ~ 71、問題集 P.222 ~ 229）

磁極 細い棒磁石の両端をそれぞれ**磁極**とよぶ。磁極には**N極**と**S極**がある。
 N Sの磁極は必ず一対（**双極子 dipole**）で現れ、単独では存在しないことが
 経験的に知られている。磁極の強さはウエーバー [Wb] という単位で表す。

磁気力

磁極は互いに力を及ぼし合う。

同種の磁極は を、異種の磁極は を及ぼし合う。

二つの磁極が及ぼし合う力 F は、それぞれの磁極の強さ m_1, m_2 に比例し、
 距離 r の二乗に反比例する。

磁気力に関するクーロンの法則 $F = \text{}$ $k_m = \frac{1}{(4\pi)^2} \times 10^7 \text{ Nm}^2\text{Wb}^{-2}$

磁界（磁場）

磁気力を伝える空間の性質を**磁界（磁場）**といい、**磁界ベクトル H** で表す。

磁界 H 中に置かれた強さ m の磁極が受ける力 $F = \text{}$

（N極では m は正、S極では m は負） 単位： [N] [Wb] [N/Wb]

磁力線

磁界中の各点で磁界ベクトルに接する有向曲線群。N極から出てS極へ入る。
 磁界の強さは磁力線の密度に比例する。

電気と磁気の対応関係

電 気	磁 気
電荷 q [C] 電界（電場） E [N/C] = [V/m] 誘電率	磁極 m [Wb] 磁界（磁場） H [N/Wb] = [A/m] 透磁率 μ
クーロンの法則 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$	クーロンの法則 $F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2}$
電界と力の関係 $F = qE$	磁界と力の関係 $F = mH$
電気力線	磁力線

〈b〉電流が作る磁界 (教科書 P.72 ~ 75、問題集 P.222 ~ 229)

	電流の向きと磁界の向き	右手親指の関係	磁界 H の強さ [A/m]
直線電流が作る磁界			電流 I [A]、電流からの距離 r [m] のとき $H =$
円形電流が作る磁界			電流 I [A]、半径 r [m] の円形コイルの中心で $H =$ 注) 中心以外では成り立たない。
ソレノイドが作る磁界			電流 I [A]、1 m あたりの巻き数 n [回/m] のとき $H =$ 注) ソレノイドの長さや半径によらないことに注目せよ。

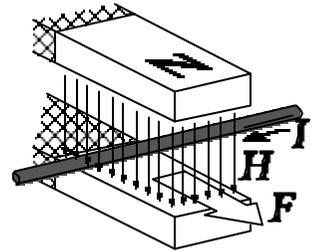
円形電流で厚みのない N 回巻きコイルの場合は、 NI の電流が流れていると見て、 N 倍する。

【問】東京付近での地磁気水平分力 (地球磁場による磁界ベクトルの水平成分) は約 24A/m、伏角 (磁界ベクトルが水平面となす角) は約 49° である。磁界の強さはいくらか。また、これと同じ強さの磁界をソレノイドに 1 A の電流を通じて作るには 1 m あたりの巻き数をいくらにすればよいか。
 $\cos 49^\circ = 0.66$ とする。

〈c〉電流が磁界から受ける力（教科書 P.76 ~ 80、問題集 P.222 ~ 229）

電流が作る磁界との相互作用を通じて、磁界は電流に力を及ぼす。

電流が磁界から受ける力の向きは、
電流・磁界のいずれにも直交する。



磁界と平行に流れる電流は磁界から力を受けない。

フレミングの左手の法則

左手の親指を人差し指、中指に直角に立てるとき、
電流の向きに中指
磁界の向きに人差し指 を向けると、
力の向きが親指 で示される。
中指から順に 電・磁・力 とおぼえる。

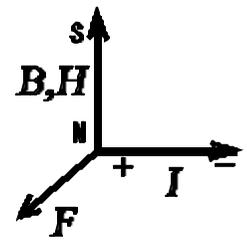
電流が磁界から受ける力の大きさ

電流が磁界から受ける力の大きさは、磁界の強さ H 、電流 I 、磁界内の導線の長さ l に比例する。

磁界 H を横切る電流 I が受ける力 $F =$ μ : 透磁率

磁束密度の定義 $B =$
テスラ
 [T] [N/A²][A/m]

磁束密度 B 内の電流 I が受ける力 $F =$

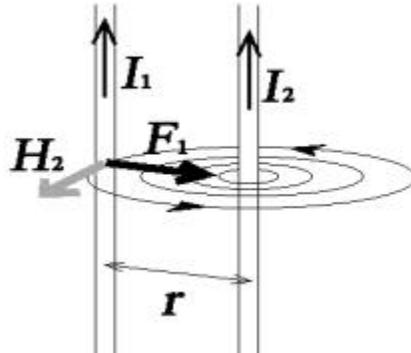
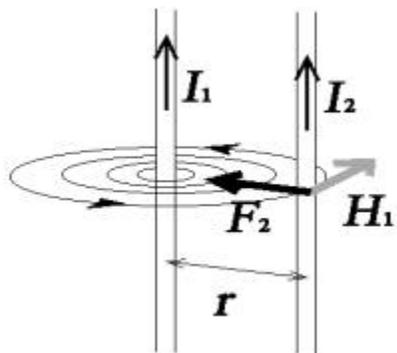


電流が磁界と直交しない場合は、電流ベクトル I を磁界に平行な成分と、磁界に直角な成分に分解して考え、後者のみが上記の力を受けると考えればよい。

【問】磁界 H の単位が [N/Wb] とも [A/m] とも表されることから、[T] = [Wb/m²] であることを導け。

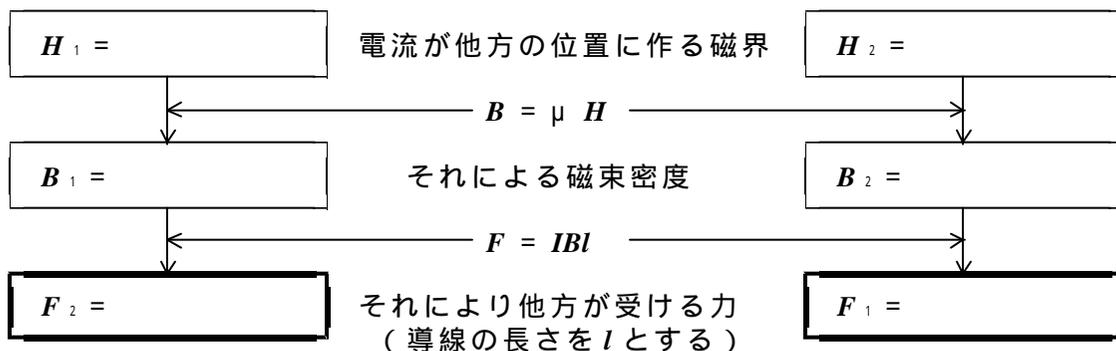
平行電流間にはたらく力

2本の平行な導線に電流 I_1 、 I_2 が流れるとき、それらが及ぼし合う力を求める。



電流 I_1 が I_2 に及ぼす力を求める

電流 I_2 が I_1 に及ぼす力を求める



平行電流が及ぼし合う力について作用反作用の法則を確認せよ。

【問】反平行な電流はどのような力を互いに及ぼし合うか。

電流の単位 [A] の定義

真空中で 1m はなれた平行導線に等しい電流を流すとき、導線の長さ 1m あたり $2 \times 10^{-7} \text{N}$ の力がはたらくようなそれぞれの電流の強さを 1A と定める。

上記のように電流の単位 [A] を定義すると、真空の透磁率 μ_0 の値は次のように定まる。

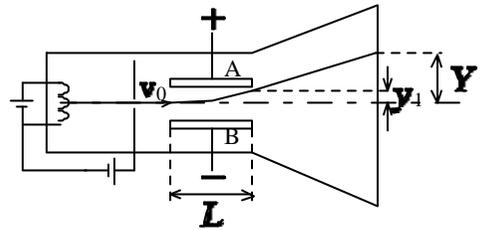
真空の透磁率 $\mu_0 =$ $=$ $[\text{N/A}^2]$

【問】家庭用の AC コードの導線の間隔はおおよそ 3 mm である。それぞれに 1 A の電流を流すとき、それらの間にはたらく力は長さ 1 m あたりいくらか。

〈d〉荷電粒子の運動 (教科書 P.81 ~ 85、問題集 P.222 ~ 229)

トムソンの実験(電界内での荷電粒子の運動)

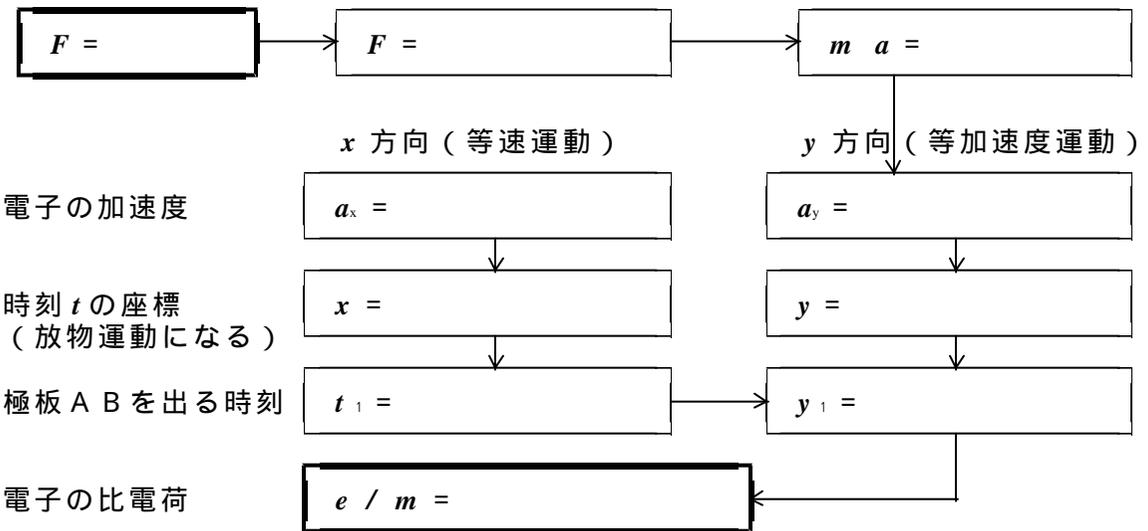
真空管内でコンデンサー(極板 A B)が作る一様な電界 E 内を電子(電荷 $-e$ 、質量 m)が通過する場合を考える。コンデンサーの左端を原点とし電子の初速度を v_0 とする。



電界の定義

電子が電界から受ける力

電子の運動方程式

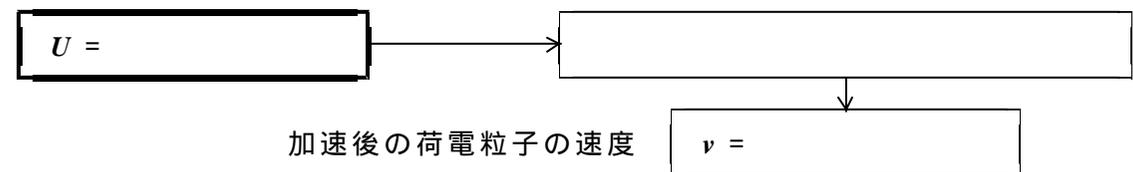


電界中での力学的エネルギーの保存

電気量 q 、質量 m の荷電粒子を初速度 0 から電位差 V で加速する場合を考える。

電界内での位置エネルギー

力学的エネルギー保存の法則

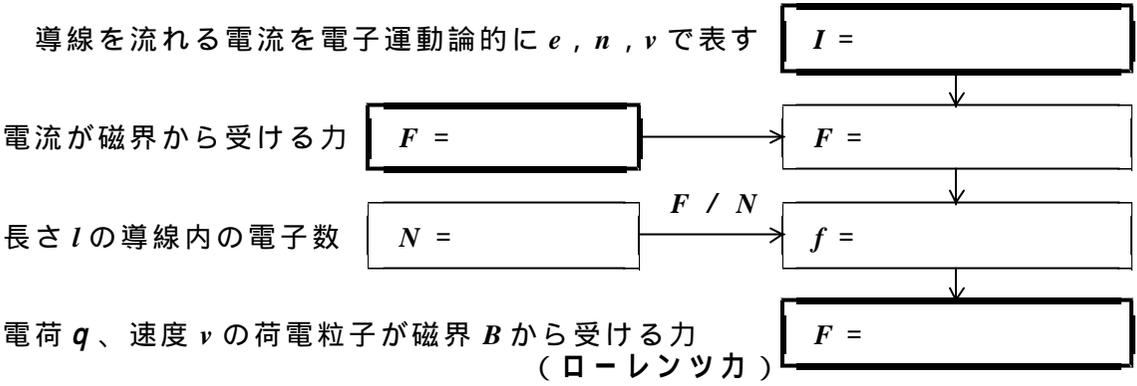


【問】比電荷 $e / m = 1.8 \times 10^{11} \text{C/kg}$ の電子が、静止状態から 1.0V の電圧で加速されるときに得る速さを求めよ。

ローレンツ力（磁界内での荷電粒子の運動）

電流が磁界から受ける力は、運動する電子が磁界から受ける力に起因する。
1個の電子が磁束密度 B の磁界から受ける力を求めてみよう。

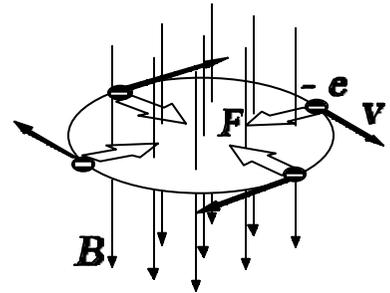
磁界と垂直に置かれた断面積 S 、長さ l の導線を考え、電気素量 e 、電子密度 n 、平均速度 v とする。



力の向きはフレミングの左手の法則に従う。電子は負電荷であることに注意。
 v と B が垂直でないときは B に垂直な速度成分に対して適用する。

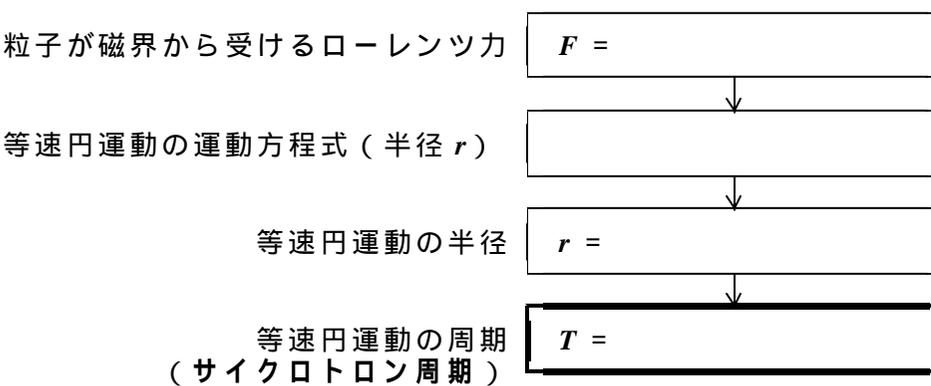
サイクロトロン運動

磁束密度 B の磁界に垂直な面内で速さ v で運動する電荷 $-e$ 、質量 m の荷電粒子がある。



負電荷であることに注意して粒子が磁界から受ける力の向きをフレミングの左手の法則で確認せよ。

粒子が行なう運動はローレンツ力を とした になる。



T が速さ v によらないことに注意。速度に比例して半径も大きくなるためである。