

理系物理編

第 4 章

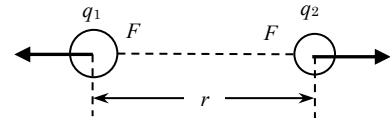
～ 電磁気 ～

I. 【静電気力】

■ 静電気力 ■

○ 静電気力に関するクーロンの法則

2つの帯電体間にはたらく静電気力は、それらの電荷（電気量）の積に比例し、距離の2乗に反比例する。



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ [N]} \quad (k \text{ は比例定数, 真空中では } k_0 \doteq 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$$

○ 電気素量：電子のもつ電気量（負電荷）の絶対値 $e \doteq 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

○ 電気量保存の法則

帯電体どうしの電気のやりとりでは、前後で電気量の総和は変わらない。

■ 電場 ■

電気量 Q の電荷が距離 r の点につくる電場： $E = k \frac{Q}{r^2}$ [N/C] or [V/m]

⇒ 電気量 q [C] の電荷が電場 \vec{E} [N/C] から受ける力： $\vec{F} = q\vec{E}$

※ 電場の重ね合わせ：ベクトルの合成

■ 電気力線 ■

電場内に引いた曲線で、その接線が電場ベクトル \vec{E} の方向を表す。

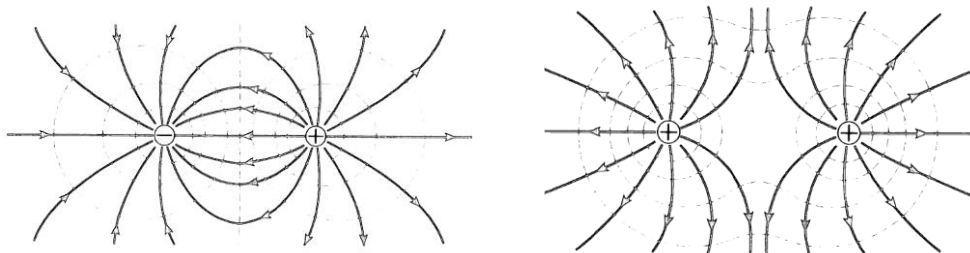
電場の強さ E [N/C] のところでは、電場に垂直な面に 1m^2 当たり E 本の割合で引く。

電場が強い ⇔ 電気力線は密集

電場が弱い ⇔ 電気力線はまばら

< 電気力線の性質 >

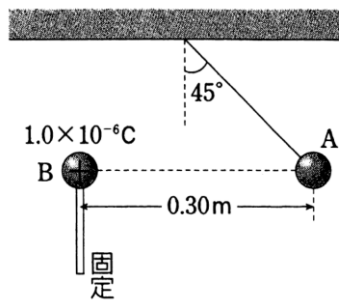
- ① 電気力線は正電荷から出て負電荷に入る。
- ② 電気力線上の各点での接線は、その点での電場の方向を表す。
- ③ 電場の強さ E [N/C] のところでは、電場に垂直な面に 1m^2 当たり E 本の割合で引く。
- ④ 電気力線は交わったり、折れ曲がったり、枝分かれしたりしない。
- ⑤ 電気力線はその向きに縮まろうとする性質をもち、隣りあう電気力線はたがいに押し合うと考えられる。



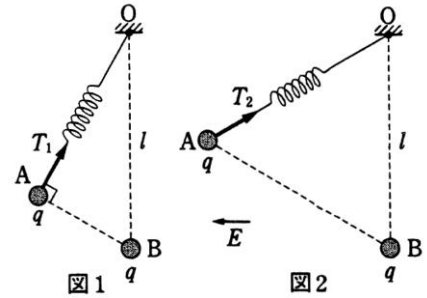
<例題>

質量 2.0g の小球 A を糸につるし、それにある電荷を与えた。次に、 $1.0 \times 10^{-6}\text{C}$ の正電荷を持つ小球 B を近づけたら、図のように A は鉛直方向と 45° 傾いて静止した。このとき、 A 、 B は水平に 0.30m 離れていた。重力加速度の大きさを 9.8m/s^2 、クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ として、次の問いに答えよ。

- (1) 小球 A 、 B の間にはたらく静電気力は何 N か。
- (2) 小球 A の持つ電荷は何 C か。



【1】質量 m で電気量 q をもつ小物体 A を、両端に糸がついた軽いばねによって点 O からつり下げた。その後、電気量 q をもつ小物体 B を点 O の鉛直下方の距離 l の位置に固定したところ、図 1 のように A は $\angle AOB = 30^\circ$, $\angle OAB = 90^\circ$ となる位置で静止した。重力加速度の大きさを g , クーロンの法則の比例定数を k とする。



- (1) 糸の張力の大きさ T_1 を m と g で表せ。
- (2) AB 間にはたらく静電気力の大きさ F_1 を k , q , l で表せ。また、比例定数 k を m , l , q , g で表せ。

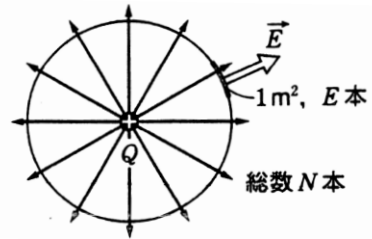
次に、図 2 のように面 OAB に沿って水平方向左向きの一様な電場 E を加えたところ、A は $\angle AOB = 60^\circ$, $\angle OAB = 60^\circ$ となる位置で静止した。

- (3) AB 間にはたらく静電気力の大きさ F_2 を m と g で表せ。
- (4) 糸の張力の大きさ T_2 を m と g で表せ。
- (5) 電場 E が A に及ぼす力の大きさ F_3 を、 m と g で表せ。また、電気量 q の符号は何か、理由をつけて答えよ。

■ガウスの法則■

+ Q [C]の電荷から出る（- Q [C]の電荷に入る）

電気力線の総本数 $N = 4\pi k Q$ 本



■一様な電場■

無限に広い平面に一様に電荷が分布しているとき、電場内の電場ベクトルは、すべて電荷平面に垂直となる。

■電位■

○電位と電位差

ある点から基準点（無限遠）まで、+1C（試験電荷）の電荷を運ぶときに静電気力がした仕事 V [V]=[J/C]を電位という。（+1Cの電荷がもつ位置エネルギーのこと）

電気量 Q の電荷から距離 r の点の電位： $V = k \frac{Q}{r}$ （無限遠点を基準）

※電位差：2点間の電位の差のこと。

電位差 V の2点間を、低電位のほうへ電荷 q が移動するとき、静電気力がする仕事

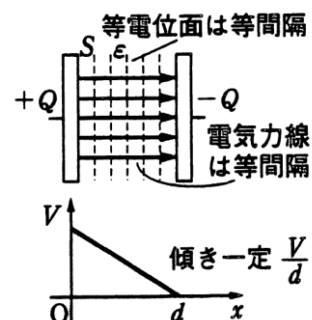
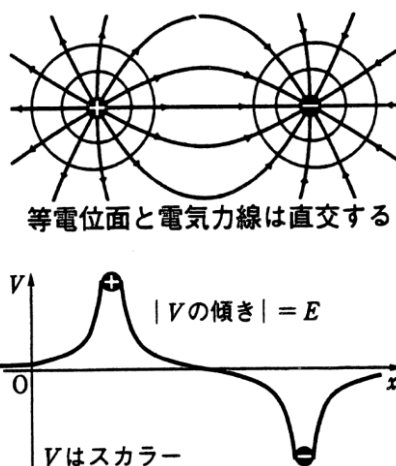
$$W = qV \quad (\text{途中の経路には無関係})$$

静電気力による位置エネルギー： $U = k \frac{q_1 q_2}{r}$ （無限遠点を基準）

強さ E [N/C]の一様な電場内の電場の方向の2点間距離が d [m]、電位差が V [V]のとき

$$V = Ed$$

※等電位面：電位が等しい点をつなげた面。間隔が密なところほど電場が強い。等電位面と電気力線は直交する。



■ 静電気力に関する公式のまとめ ■

○点電荷の場合のみ使用（平面電荷の場合使用不可）

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad E = k \frac{Q}{r^2} \quad V = k \frac{Q}{r} \quad U = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

○点電荷も平面電荷も使用可

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad W = qV \quad 1\text{m}^2 \text{ 当たり } E \text{ 本} \quad N = 4\pi k Q \text{ 本}$$

○平面電荷のみ使用可

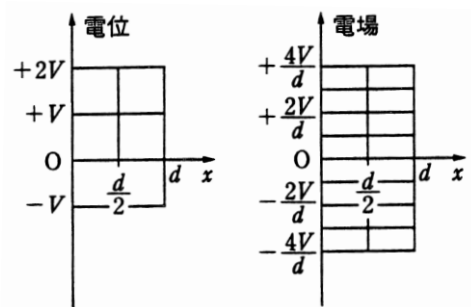
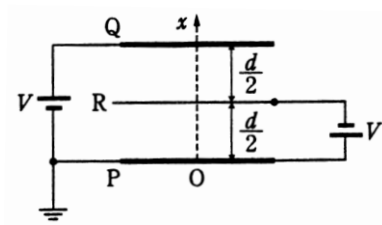
$$V = Ed$$

<例題 1 >

真空中に、厚さが一様な 2 枚の平行な金属の平面極板 P, Q と、これらから等距離の位置に、両極板に平行に、金属の薄い平面極板 R がおかれている。P, Q の間隔は d で、両極板の大きさは d に比べて十分大きいものとする。極板 P を接地し (原点 O の電位を 0 とする)、極板 Q には電位 V を、極板 R には電位 $-V$ を与えた。

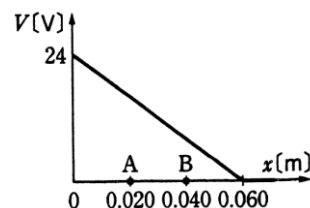
図のように、極板 P 上の点 O を原点とし、極板に垂直に x 軸をとり、P から Q への向きを正とする。

- (1) 極板 P, Q 間の電位の様子を右図に示せ。
- (2) 極板 P, Q 間の電場の様子を右図に示せ。
ただし、 x 軸の正の向きの電場を正とせよ。



<例題 2>

x 軸に平行な一様な電場があり、位置 x [m]とその点の電位 V [V]との関係は、図のように表される。



(1) 点 A と点 B の電場ベクトルを \vec{E}_A , \vec{E}_B [V/m]とする。

\vec{E}_A , \vec{E}_B の強さと向きをそれぞれ求めよ。

(2) AB 間の電位差 V_{AB} [V]を求めよ。

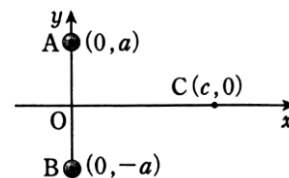
次に、点 A に質量 6.4×10^{-27} kg, 電気量 3.2×10^{-19} C の陽イオンを置いたところ、イオンは電場から力を受けて動きだした。

(3) イオンが電場から受ける力の大きさ F [N]を求めよ。

(4) イオンが点 B に達したときの速さ v [m/s]を求めよ。

<例題 3>

$x-y$ 平面上の $(0, a)$, $(0, -a)$ の位置に、大きさを無視できる同じ金属球 A, B を固定した。クーロンの法則の比例定数を k とする。はじめ、金属球 A, B にそれぞれ $+4Q$, $-2Q$ ($Q > 0$) の電荷を与えた。



(1) 金属球 A にはたらく静電気力の大きさと向きを求めよ。

次に、金属球 A と B を接触させた後、もとの位置に固定した。

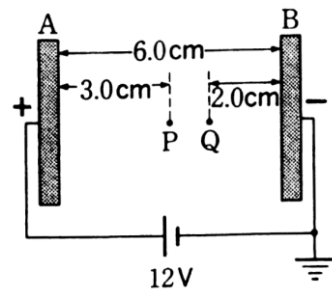
(2) 金属球 A と B の電荷はいくらになったか。

(3) x 軸上の点 $C(c, 0)$ における電場の強さと向きを求めよ。

(4) 電位の基準を無限遠として、点 C および原点 O の電位を求めよ。

【1】 $1.0 \times 10^{-6} \text{C}$ および $2.0 \times 10^{-6} \text{C}$ の正に帯電した 2 つの小球が、 a [m] 離れた 2 点 A, B に置かれている。電場が 0 の点が線分 AB 上にあるという。その点の位置を求めよ。

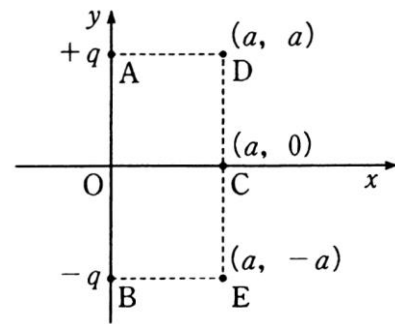
【2】 図のように、広い金属板 A, B を 6.0cm の間隔で平行に置き、電圧 12V の電源につないで負極側をアースし、極板間に一様な電場をつくる。極板間に、図に示すような位置に点 P, Q をとる。



- (1) 点 P, Q の電場の強さは、それぞれいくらか。
- (2) 点 P の電位はいくらか。
- (3) PQ 間の電位差はいくらか。また、P と Q ではどちらが高電位か。
- (4) $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$, 質量 $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ の電子が静電気力によって Q から P に運ばれるとき、電場がする仕事はいくらか。
- (5) Q を静かに出発した電子が P に達したときの速さはいくらか。

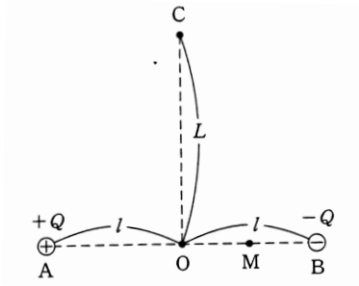
【3】図のように、電気量 $+q$ ， $-q$ の二つの電荷が xy 平面上でそれぞれ点 $A(0, a)$ ，点 $B(0, -a)$ に置かれている。クーロンの法則の比例定数は k とし、電位の基準は無限遠を 0 とする。

- (1) 点 $C(a, 0)$ における電場の強さはいくらか。
- (2) 点 $D(a, a)$ における電位はいくらか。
- (3) 点 $E(a, -a)$ から点 D までの電気量 $+q$ の電荷を移動させるのに必要な仕事はいくらか。



<発展問題>

【4】 $+Q$ [C]の点電荷をA点に、 $-Q$ [C]の点電荷をB点に固定する。AB間の距離は $2l$ [m]であり、ABの中点をOとし、O点から L [m]離れたABの垂直二等分線上の点をCとする。クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$]とし、無限遠を 0 [V]とする。

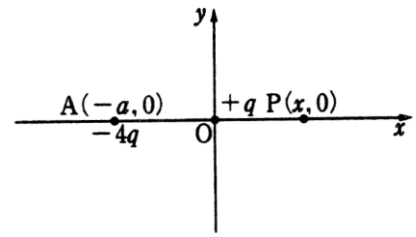


- (1) O点とC点での電界の向きと強さをそれぞれ求めよ。
- (2) O点の電位と、線分OBの中点Mの電位を求めよ。
- (3) $-q$ [C]の電荷をもつ質量 m [kg]の小球PをM点に置き、静かに放す。PがO点を通るときの速さを求めよ。

次にPをC点に置き、線分ABに平行に一樣な電界をかける。すると、Pに働く静電気力は、一樣な電界をかける前に比べて、向きが逆転し、大きさが半分となった。

- (4) 一樣な電界の向きと強さを求めよ。
- (5) PをC点からM点まで静かに移動させた。この間に外力のした仕事を求めよ。
- (6) M点でPを静かに放すと、Pは左へ動き出し、やがてO点に達し、一瞬静止した。このことから L を l で表せ。

【5】図のように、 xy 面上の原点 O と点 $A(-a, 0)$ ($a > 0$ とする) に、それぞれ $+q$ と $-4q$ ($q > 0$) の点電荷を固定する。以下の問いに答えよ。
 クーロンの法則の比例係数を k_0 とし、電位の基準点は無限遠にとるものとする。また、重力の影響は考えなくてよい。



- (1) x 軸上の点 $P(x, 0)$ の電場の x 成分と y 成分を、それぞれ座標 x の関数として求めよ。ただし $x > 0$ とする。
- (2) 点 $P(x, 0)$ の電位を座標 x の関数として求めよ。ただし $x > 0$ とする。
- (3) xy 面上の電位 0 の等電位線を表す方程式を求め、どんな図形か説明せよ。
 図中の 2 つの点電荷から $+x$ 方向に十分離れた x 軸上の点 R に、大きさが q で符号のわからない点電荷 Q (質量 m) を静かに置いたところ、原点に近づく方向に動き始めた。
- (4) 点電荷 Q の符号は正負どちらか。
- (5) 点電荷 Q はどこまで原点 O に近づくか。最も近づいたときの点電荷 Q と原点 O の距離を求めよ。
- (6) 点電荷 Q が動き始めてから原点 O に最も近づくまでの間の、速さの最大値はいくらか。

(2003 年 千葉大)

■ 静電誘導と誘電分極 ■

○ 導体・不導体

導体：電気をよく通す物質（金属など）

不導体（絶縁体または誘電体）：電気を通しにくい物質（ガラスやゴムなど）

○ 静電誘導・誘電分極

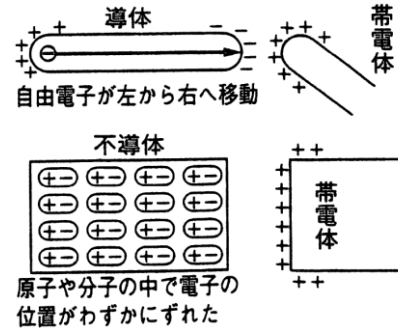
静電誘導：**導体**に帯電体を近づけたとき、帯電体に近い側に異符号電荷が、帯電体に遠い側に同符号電荷が現れる現象。

※電荷は導体表面に分布。導体内の電場は0。

導体全体は等電位。

誘電分極：**不導体**に帯電体を近づけたとき、導体の場合と同様に電荷が現れる現象。

※電荷は表面に分布。電場は弱まるが0にはならない。



※ 静電誘導と誘電分極の違い

① 静電誘導による電荷は、実際に自由電子が移動して現れた電荷なので、正・負別々に取り出せる。

② 誘電分極による電荷は、分子・原子内の電子の配置のずれによるものなので、外部に取り出すことはできない。

静電遮蔽：導体で囲まれた内部には、外部の電場の影響は及ばない。

○ 電場・電位のグラフ

< 導体 >

< 不導体 >

○ 接地

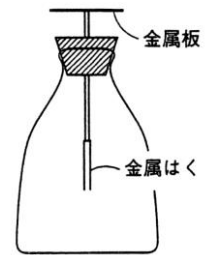
地球は大きい導体と考えることができる。したがって、全体が等電位であるから、実用上は地球の電位を電位の基準 (0V) とする場合が多い。導体に地球につながくことを接地 (アース) といい、接地した導体は地球と等電位 (0V) になる。

※ 接地点が 2 箇所にあるときは、その 2 点を導線で結んで考える。

<例題>

次の文の(1)～(8)について{ }内から正しいものを選び、記号で答えよ。

はく検電器がある。はじめ、はくは閉じた状態であった。負に帯電した棒を上部の金属板に近づけると(1){ア静電誘導 (イ)誘電分極}により、金属板は(2){ア正 (イ)負}に、はくは(3){ア正 (イ)負}に帯電し、はくは(4){ア開く (イ)閉じたままである}。棒を近づけたまま、金属板に指を触れると、はくは(5){ア開いたままである



(イ)閉じたままである (ウ)開く (エ)閉じる}。これは、はく検電器から

(6){ア正 (イ)負}の電気が人体を通し地球に逃げるためである。

続いて、棒を近づけたまま指だけを離すと、はくは(7){ア開いたままである

(イ)閉じたままである (ウ)開く (エ)閉じる}。最後に、棒を遠ざけていくと、はくは

(8){ア開く (イ)閉じる (ウ)開いたままである (エ)閉じたままである}。

II. 【電流】

■オームの法則■

○電流

金属中を流れる電流は自由電子の移動によって生じる。

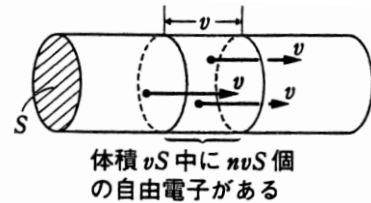
自由電子は電池の負極から正極へと流れる。

電流の向きはその自由電子の流れと逆向きである。

時間 t [s] の間に、電流が I [A] 流れるとき、導線のある断面を通る電気量 q [C] は

$$q = It \text{ で表される。} \Rightarrow I = \frac{dq}{dt}$$

導体（断面積 S ）中の自由電子の平均の速さを v 、
 1m^3 当たりの自由電子（電荷 $-e$ ）の数を n とすると、
 電流の大きさ $I = envS$



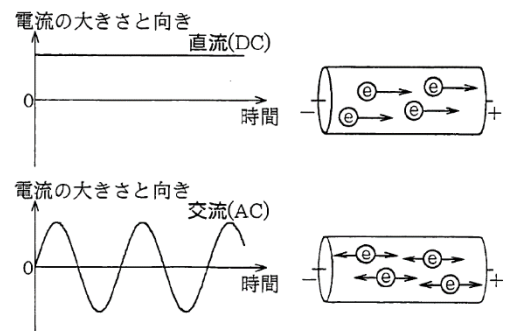
○回路図

電池	抵抗	豆電球	電流計 (直流用)	電圧計 (直流用)	スイッチ

○直流と交流

直流：常に一定の向きに流れる電流

交流：時間とともに向きと大きさが変化する電流



○オームの法則

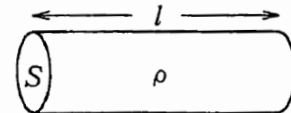
オームの法則：抵抗 R [Ω] の両端に電圧 V [V] を

かけるとき流れる電流 I [A] の間の関係

$$V = RI \quad (\text{抵抗の単位 } [\Omega] = [V/A]) \quad ※ V \text{ を電圧降下ともいう。}$$

○抵抗について

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\rho [\Omega \cdot \text{m}] : \text{抵抗率} \dots \text{材質によって異なる。})$$



抵抗率の温度変化 0°C における抵抗率を ρ_0 、 t [$^\circ\text{C}$] における抵抗率を ρ とするとき、

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (\alpha [1/\text{K}] : \text{抵抗率の温度係数})$$

導体：電流をよく流す物質

不導体：電流を流さない物質

半導体：導体と不導体の中間の性質をもつ物質

(常温における抵抗率が、導体と不導体の中間にあり、抵抗率が温度上昇にともなって小さくなる物質)

○半導体ダイオード

順方向の場合⇒電流が流れる。

逆方向の場合⇒電流は流れない。

} 電位で判断する



<例題>

長さ 16m ，断面積 $5.0 \times 10^{-7}\text{m}^2$ ，抵抗 0.80Ω の導線に 3.0A の電流が流れている。
電子の電荷を $-1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ ，導線は 1m^3 あたり 9.0×10^{28} 個の自由電子を有するもの
として，次の問いに答えよ。

- (1) 導線の両端の電位差 V はいくらか。
- (2) 導線中の電場の強さ E はいくらか。
- (3) 導線内の自由電子が電場から受ける力の大きさ F はいくらか。
- (4) 導線内の自由電子の平均移動速度 \bar{v} はいくらか。

- 【1】金属導線に電場を加えたときの自由電子の運動について考える。導線内では、自由電子は、電場による加速と金属イオンとの衝突による減速をくり返しながら移動する。電子の質量を m 、電荷を $-e$ として以下の問いに答えよ。
- (1) 導線にそって強さ E の電場を加えたところ、自由電子の加速度の大きさを E 、 e 、 m のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 加速された自由電子は、平均して一定時間 t_0 ごとに金属イオンと衝突をくり返す。1回の衝突のたびに運動エネルギーを失って速さ 0 になると考える。導線にそった方向の、
- (a) 衝突直前の自由電子の速さ v と、(b) t_0 秒間の平均の速さ v_m を求めよ。
 答えは、 E 、 e 、 m 、 t_0 のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 断面積 S 、単位体積当たりの自由電子数 n の導線を通る電流 I を e 、 E 、 S 、 n 、 v_m のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 断面積 S 、長さ l の導線の両端に電位差 V を与えたとき、(a) 電流 I は電位差 V に比例することを示せ。このとき、(b) 抵抗率（比抵抗） ρ は $\rho = \frac{2m}{ne^2t_0}$ と書けることを示せ。
- (5) 銅は、原子量 64 、密度 $9.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、抵抗率（常温） $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ で、1原子当たり1個の自由電子をもつ。(a) 1m^3 当たりの自由電子数 n を有効数字2桁で求めよ。(b) 導線中のそれぞれの自由電子は、1秒間に何回金属イオンと衝突することになるか。有効数字2桁で答えよ。ただし、 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ 、 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 、アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ である。

(2005年 筑波大)

■ジュール熱■

○電流の熱作用

導体の両端に電圧を加えると、導体中に電場が生じ、自由電子は静電気力を受けて移動し始める。電場によって加速された自由電子は、導体中の陽イオンと衝突して運動エネルギーを陽イオンに与える。自由電子がこのような衝突を繰り返しながら導体中を進むと、導体は陽イオンの熱運動がしだいにさかんになって、温度が上がる。このように導体中を電流が流れるときに発生する熱をジュール熱という。

○ジュールの法則

抵抗 R [Ω] に電圧 V [V] を加え、電流 I [A] を t [s] 間流したとき

$$\text{発熱量} : Q = IVt = RI^2t = \frac{V^2}{R}t = Pt \text{ [J]}$$

$$\text{電力量} : \text{電流がする仕事 } W = IVt \text{ [J]}$$

$$\text{電力} : \text{電流がする仕事の仕事率 } P = \frac{W}{t} = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R} \text{ [W] or [J/s]}$$

電力量の単位 J, Wh, kWh

$$1\text{Wh} = 3600\text{J}$$

■抵抗の接続■

○直列接続

抵抗 R_1 と R_2 の両端にかかる電圧 $V = V_1 + V_2$

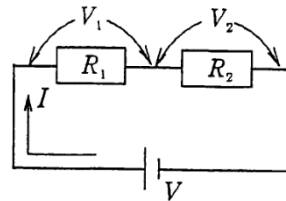
$$R_1 \text{ にかかる電圧 } V_1 = R_1 I$$

$$R_2 \text{ にかかる電圧 } V_2 = R_2 I$$

$$V = V_1 + V_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

$$\text{合成抵抗 } R = R_1 + R_2$$

(1つの抵抗として考えることができる)



○並列接続

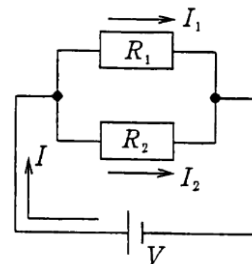
抵抗 R_1 , R_2 にかかる電圧はそれぞれ V

$$R_1 \text{ に流れる電流 } I_1 \rightarrow V = R_1 I_1$$

$$R_2 \text{ に流れる電流 } I_2 \rightarrow V = R_2 I_2$$

$$\text{回路全体に流れる電流 } I = I_1 + I_2$$

$$\text{合成抵抗 } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

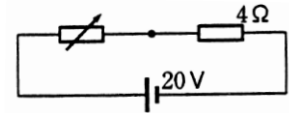


<例題1> 次の□に適切な数値を入れよ。

(1) あるドライヤーに100Vの電源をつないだところ、3Aの電流が流れた。
このドライヤーで消費される電力は□ア□Wであり、□イ□秒間使い続けると
0.01kWhの電力量を消費する。

(2) 抵抗が 5.0Ω の電熱器Aと 15Ω の電熱器Bがある。100Vの電源をつないで
電流を流す。直列につないでA、Bに5.0分間電流を流すとき発生する熱量の和は
□ウ□J、並列につないで5.0分間電流を流すとき発生する熱量の和は□エ□Jである。

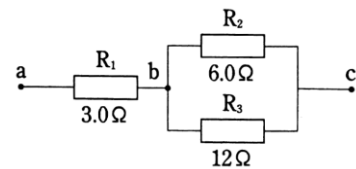
(3) 図のように、可変抵抗と 4Ω の抵抗を接続し、20Vの電源に
つなぐ。回路全体の消費電力が20Wのとき、可変抵抗の抵抗値
は□オ□ Ω であり、可変抵抗での消費電力が最大になるときの
可変抵抗の抵抗値は□カ□ Ω である。



<例題2>

図の回路について、次の問いに答えよ。

- (1) ac間の合成抵抗はいくらか。
ac間に電池を接続したところ、 R_2 を流れる電流が
0.80Aになった。
- (2) bc間の電圧はいくらか。
- (3) 抵抗 R_1 を流れる電流はいくらか。
- (4) ac間の電圧はいくらか。



■キルヒホッフの法則■

・抵抗において

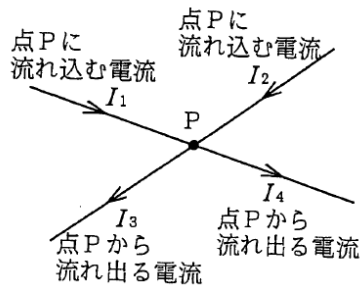
電流は電位の高いほうから低いほうへ流れる。

・電池において

電流は電位の低いほうから高いほうへ流れる。

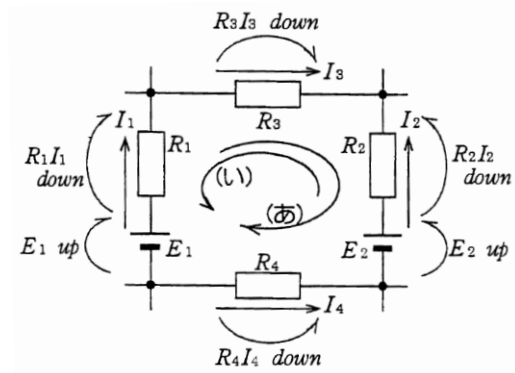
*第1法則

流れこむ電流の和=流れ出る電流の和



*第2法則

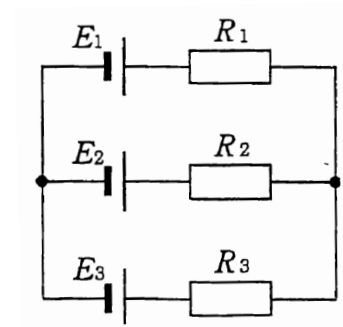
任意のひとまわりの閉じた回路について
一周すると電位は変わらない。



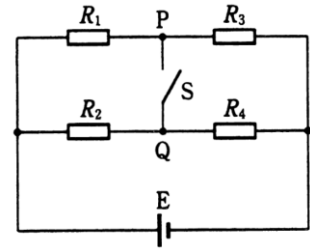
<例題>

右図の回路で、電池の起電力は $E_1 = 11\text{V}$, $E_2 = 5\text{V}$, $E_3 = 3\text{V}$, 電気抵抗の抵抗値は $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 2\Omega$ である。

- (1) それぞれの抵抗に流れる電流の向きと大きさは
いくらか。向きは {左・右} 向きから選べ。
- (2) 抵抗 R_1 だけを可変抵抗に変えて、 R_2 に流れる
電流の値を 0 にするには、 R_1 の値をいくらに
すればよいか。



【1】 抵抗値 $R_1 = 1.0\Omega$, $R_2 = 9.0\Omega$, $R_3 = 7.0\Omega$, $R_4 = 3.0\Omega$ の4つの抵抗, 起電力 24V の電池 E , スイッチ S を図のように接続した。電池の内部抵抗は無視できるものとする。はじめ, スイッチ S は開いている。



(1) 4つの抵抗で消費する電力の和は何 W か。

次に, スイッチ S を閉じた。

(2) 4つの抵抗で消費する電力の和は(1)の何倍か。

(3) スイッチ S を流れる電流は何 A か。

(4) (3) で求めた電流の流れの向きは, $P \rightarrow S \rightarrow Q$, $Q \rightarrow S \rightarrow P$ のどちらか。

【2】 図のような回路がある。はじめに, スイッチ S を開いておく。

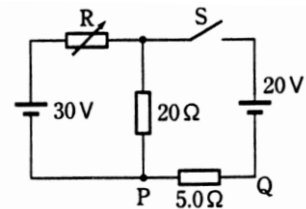
(1) 20Ω の抵抗を流れる電流が 0.50A であるとき, 可変抵抗 R の抵抗値はいくらか。

次に, スイッチ S を閉じた。

(2) 5.0Ω の抵抗を流れる電流を 0A にしたとき, R の抵抗値はいくらか。

また, R を流れる電流はいくらか。

(3) R の抵抗値を 4.0Ω にしたとき, 5.0Ω の抵抗を流れる電流の向きを答えよ。



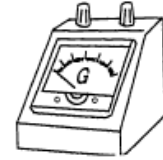
○ショート（短絡）

抵抗の両端を導線でつなぐと，その抵抗にはまったく電流が流れなくなる。

※電圧が 0 になり，抵抗を流れる電流も 0 になる。

○検流計

回路の測定点を流れる電流が 0 であるかどうかを確認するための精密機械を検流計という。



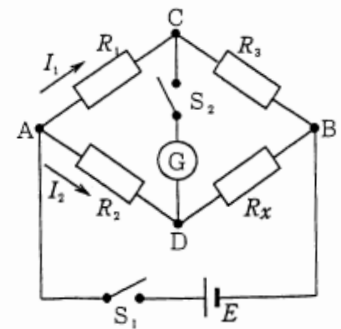
■ホイートストンブリッジ■

未知抵抗 $R_x[\Omega]$ を測定するとき，基本的にはその抵抗の両端の電圧とそこを流れる電流がわかれば，オームの法則から抵抗 R が求められる．しかし，電流計と電圧計には内部抵抗による誤差が存在するため， R_x の値は正確ではない．そこで，実際の抵抗の測定には，図のようなホイートストンブリッジと呼ばれる回路がよく用いられる．

スイッチを閉じて検流計 G に電流が流れないように，可変抵抗 R_3 の抵抗値を調整する．このとき， C ， D は等電位であるため，

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad , \quad R_3 I_1 = R_x I_2 \quad \text{が成立}$$

よって， _____



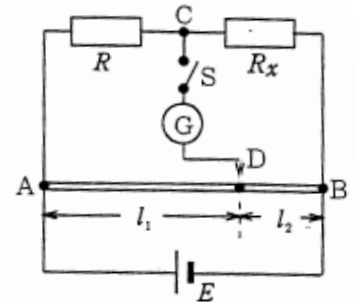
○メートルブリッジ

一様な抵抗線 AB 上で，接点 D を調整して，検流計 G に流れる電流が 0 となるような点 D を探し， $AD=l_1[m]$ ， $DB=l_2[m]$ とする．抵抗線 AB の抵抗率を $\rho[\Omega \cdot m]$ ，断面積を $S[m^2]$ とすると， AD 間， DB 間

の抵抗値は， $R_{AD} = \rho \frac{l_1}{S}$

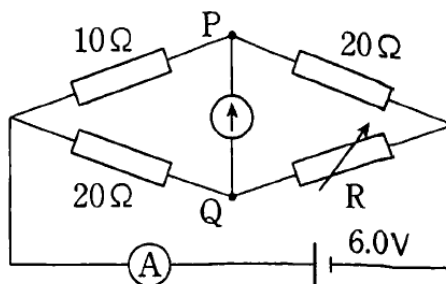
$$R_{DB} = \rho \frac{l_2}{S}$$

ホイートストンブリッジの関係より， $R_x =$ _____



<例題 1>

図の回路で、 R は抵抗値を変えることのできる抵抗器である。 R の値を調整して、検流計の指示を 0 にした。

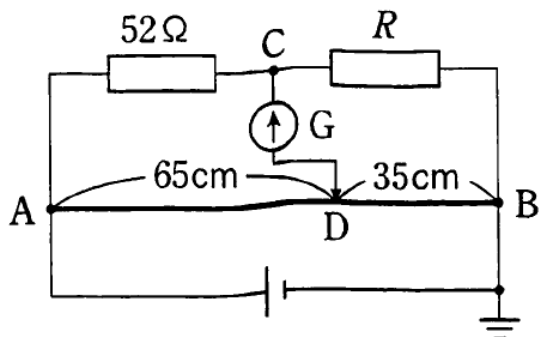


(1) R の値はいくらか.

(2) 電流計 A の読みはいくらか.

<例題 2>

図の回路で、 AB は太さが一様な長さ 1.0m の抵抗線である。接点 D を図の位置に置くと検流計 G に電流が流れなかった。



(1) R の値はいくらか.

(2) 接点 D を B 側にずらすと、検流計にはどちら向きの電流が流れるか.

【1】未知の抵抗値 R をもつ抵抗と、起電力が未知の電池がある。これら未知の値を求めるために、図のような回路を用いて実験をした。回路の AB 間には、長さが 0.80m で断面の様なすべり抵抗が接続されていて、点 C の位置は AB 間で自由に移動できるようになっている。

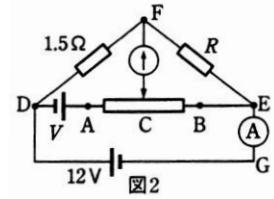
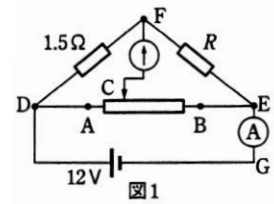
電池および電流計の内部抵抗は無視できるとする。

(1) AB 間の抵抗の抵抗率は、 $1.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 、断面積は $2.0 \times 10^{-7} \text{m}^2$ である。 AB 間の抵抗の値を求めよ。

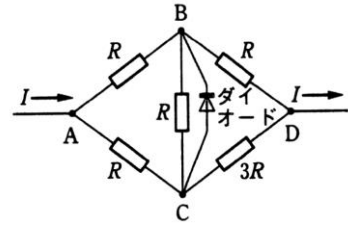
(2) 図1において、 AC 間の距離が 0.30m のとき検流計の針は振れなかった。この結果をもとに未知の抵抗 R の値を求めよ。

(3) (2) の後、点 C の位置を B 側に動かした場合、検流計を流れる電流の向きを求めよ。

(4) 図2のように、 AD 間に電池を組み込んだところ、点 C が AB の中点にきたとき検流計の針は振れなかった。このとき、点 E から点 G に流れる電流の大きさと、電池の起電力 V を求めよ。



【2】 抵抗値 R および $3R$ の抵抗と理想的なダイオードを，図のように接続した。このダイオードは，順方向 ($C \rightarrow B$) の抵抗が R に比べ無視できるほど十分小さく，逆方向 ($B \rightarrow C$) の抵抗が無限大となる特性をもつ。



この回路の点 A, D に電極をつなぎ，点 A から一定の電流 I を流した。

- (1) BC 間のダイオードに流れる電流の大きさはいくらか。
- (2) AD 間の合成抵抗を求めよ。

次に，BD 間の抵抗と CD 間の抵抗を交換して接続した。

- (3) BC 間の抵抗に流れる電流の大きさはいくらか。
- (4) AD 間の合成抵抗を求めよ。

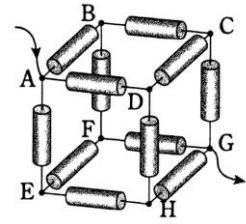
■ 対称性のある回路 ■

抵抗が対称的に配置されていると、未知数の数を少なくできる。

<例題>

電気抵抗がともに $r [\Omega]$ の 12 本の抵抗で図のように立方体の形の格子をつくる。A と G を電源につないだところ、A から G に向かって $I [A]$ の電流が流れた。

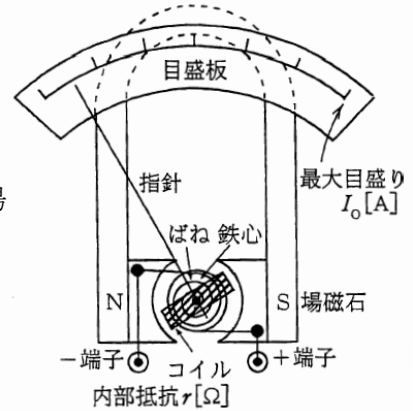
- (1) AD, DH, HG 間を流れる電流はそれぞれいくらか。
- (2) AG 間の電位差はいくらか。
- (3) AG 間の合成抵抗はいくらか。



■電流計，電圧計のしくみ■

指針のついたコイル・磁石・ゼンマイから構成されている。

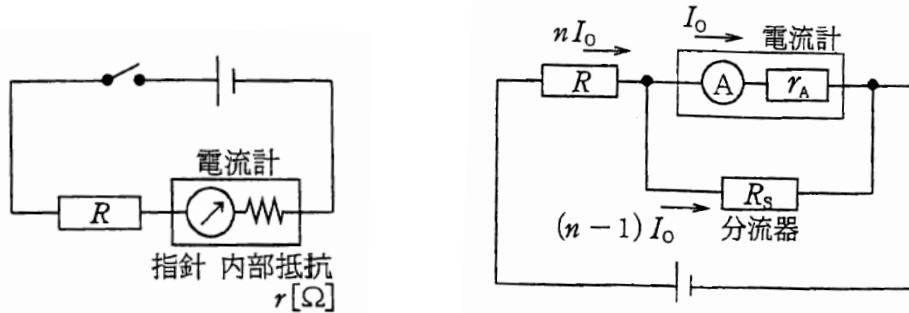
コイルに電流が流れると，コイルが磁石から力を受け回転し，ゼンマイの復元力とつりあう角度で停止する．電流計の場合，そのときの指針の位置で電流の大きさを測定する．電圧計の場合，測定された電流の大きさに内部抵抗 r をかけることで，電圧が測定される．



○電流計

電流計には内部抵抗があるため，電流計の接続によって回路を流れる電流が変化する．この変化を小さくするために，電流計の内部抵抗は小さくなるようにつくられている．理想的な電流計の内部抵抗は 0 である．

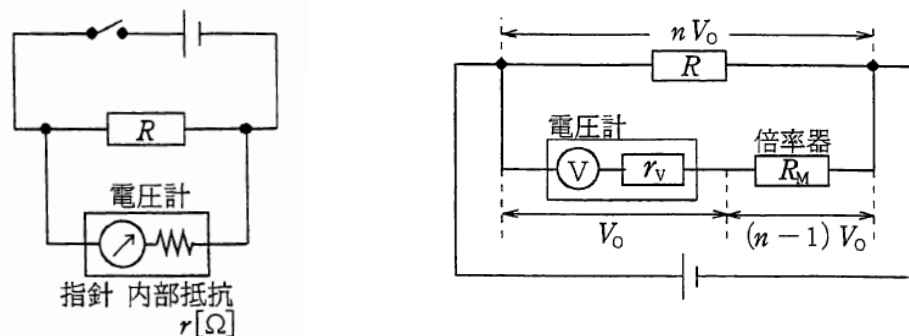
電流計の測定範囲を広げるには，バイパスをつくってそこに電流を逃がせばよい．つまり，電流計の最大測定範囲が I_0 [A] のものを使用して，測定範囲を n 倍，すなわち最大電流 nI_0 [A] ($n > 1$) まで測定できるようにするには， $(n - 1)I_0$ [A] の電流を流すバイパスを電流計と並列に接続すればよい．このバイパスの抵抗を電流計の**分流器**という．



○電圧計

電圧計は回路に並列に接続するので，電圧計に流れる電流を極力小さくし，回路に対する影響を小さくする必要がある．このため，電圧計の内部抵抗は大きな値となる．つまり，理想的な電圧計の内部抵抗は ∞ である．

電圧計の測定範囲を広げるには，抵抗を継ぎ足してそこで電圧を落とせばよい．つまり，電圧計の最大測定範囲が V_0 [V] のものを使用して，測定範囲を n 倍，すなわち最大電圧 nV_0 [V] ($n > 1$) まで測定できるようにするには， $(n - 1)V_0$ [V] の電圧がかかるような抵抗を直列に接続すればよい．この抵抗を電圧計の**倍率器**という．



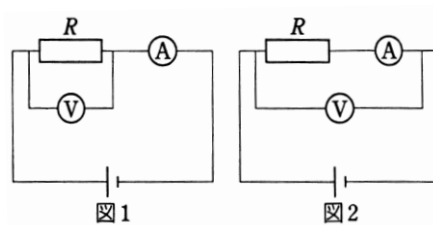
<例題 1 >

内部抵抗 $5.0 \times 10^{-2} \Omega$, 測定範囲 10mA の電流計がある。

- (1) 測定範囲 1A の電流計にするには, 何 Ω の抵抗をどう接続すればよいか。
- (2) 測定範囲 10V の電圧計にするには, 何 Ω の抵抗をどう接続すればよいか。

<例題 2 >

内部抵抗の無視できる電池, 真の抵抗値が $R [\Omega]$ である抵抗, 内部抵抗 $r_A [\Omega]$ の電流計, および内部抵抗 $r_V [\Omega]$ の電圧計で, 図 1 と図 2 のような回路を組み, 電流, 電圧の測定を行った。

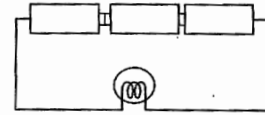


- (1) 図 1 の回路で得られた電流, 電圧の測定結果 I_1, V_1 から求められる抵抗値 $R' (= V_1/I_1)$ を, R と r_V を用いて表せ。また, ここで求めた R' と真の抵抗値 R との大小関係を示せ。
- (2) 図 2 の回路で得られた電流, 電圧の測定結果 I_2, V_2 から求められる抵抗値 $R'' (= V_2/I_2)$ を, R と r_A を用いて表せ。また, ここで求めた R'' と真の抵抗値 R との大小関係を示せ。
- (3) 次の文の に適切な語句を入れよ。

計算で求められた R' は ① の内部抵抗が R に比べて十分に ② 場合, 近似的に R と等しくなる。計算で求められた R'' は ③ の内部抵抗が R に比べて十分に ④ 場合, 近似的に R と等しくなる。

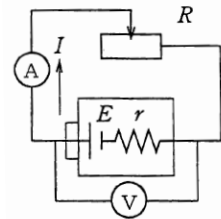
■電池■

〔問〕 図のように、マンガン電池を、1個だけ電極の向きが逆になるように3個つなぎ、豆電球をつけた。
このときの豆電球について正しい記述を選べ。



- ① 豆電球はつかない。
- ② 豆電球の明るさは、電池一個につなげたときの明るさよりも暗い。
- ③ 豆電球の明るさは、電池一個につなげたときの明るさである。
- ④ 豆電球の明るさは、電池一個につなげたときの明るさよりも明るい。
- ⑤ 豆電球の明るさは、電池二個につなげたときの明るさである。

電池は、化学変化によって正極と負極の間に一定の電位差をつくるものである。抵抗などを接続していないときの両極間の電位差を電池の**起電力**という。起電力 E 、内部抵抗 r の電池に、外部抵抗 R を接続する。電流計と電圧計の内部抵抗は無視し、回路に流れる電流を I とすると、キルヒホッフの法則より $E = (R + r)I$ となる。電池に電流が流れているとき、電池の両極間の電圧 V を**端子電圧**という。このとき、 $V = E - rI$ となる。



<例題1>

起電力 1.5 [V]、内部抵抗 0.50 [Ω] の電池がある。

(1) この電池2個を直列にして、 1.0 [Ω] の抵抗をつなぐ。この抵抗に流れる電流の大きさ I_1 [A] を求めよ。

(2) この電池2個を並列にして、 1.0 [Ω] の抵抗をつなぐ。この抵抗に流れる電流の大きさ I_2 [A] を求めよ。

<例題 2>

電池を含む回路について考える。

(センター試験'10)

(1) 5つの異なる抵抗をそれぞれ電池に接続し、抵抗両端の電圧と流れる電流を測定したところ、図 1(a)の結果を得た。これは、図 1(b)のように、電池を、内部抵抗と呼ばれる抵抗 r と電圧(起電力) E の直流電源が、直列接続されたものと考えることにより説明される。

図 1 の結果から、 E [V]、 r [Ω] を求めよ。

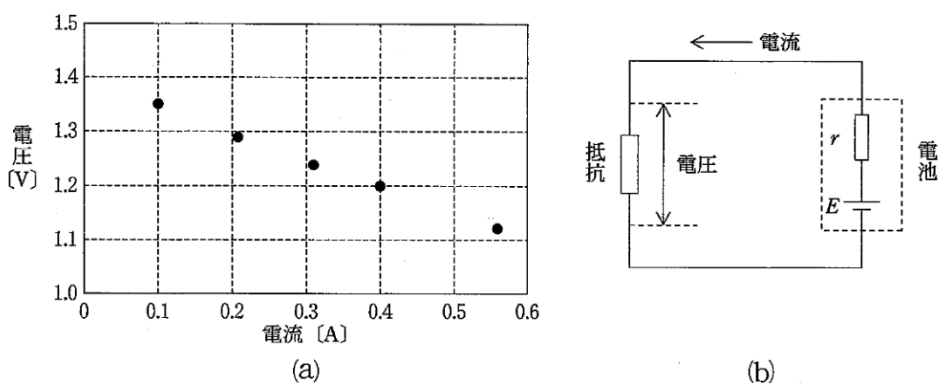


図 1

(2) 図 2 に示すように、長さ L 、抵抗 R の細長い一様な抵抗線 AB に、移動できる接点 C を設ける。 A 、 B に電圧が一定の直流電源をつなぎ、 B 、 C には起電力 E 、内部抵抗 r の電池と検流計およびスイッチをつないだ。 BC 間の距離が x のとき、スイッチを閉じても検流計の針は振れなかった。このとき、 BC 間の抵抗線の抵抗および BC 間の電圧を求めよ。

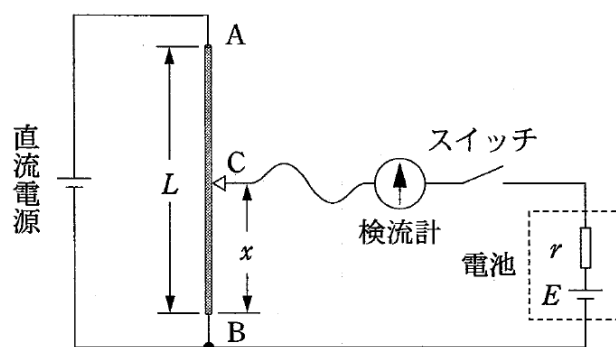


図 2

【1】内部抵抗 $r[\Omega]$ の直流電流計を用いて、電流や電圧を測定するための回路について考えよう。

(1) 図1のように、直流電流計と抵抗 $R_1[\Omega]$ を並列に接続した回路を組んだところ、抵抗 $R_0[\Omega]$ を流れる電流が、直流電流計を流れる電流の n 倍 ($n > 1$) になった。このとき、抵抗 R_1 は直流電流計の内部抵抗 r の何倍か。

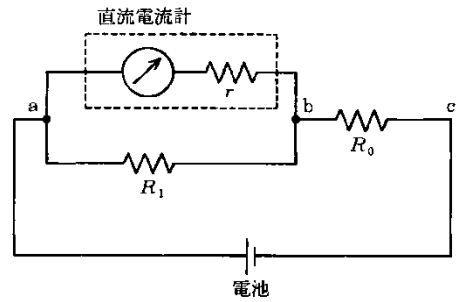


図 1

(2) このとき、図1の ab 間の電圧を $V_1[V]$ 、bc 間の電圧を $V_2[V]$ とすると、 V_1 は V_2 の何倍か。

(3) 次に図2のように、この直流電流計と抵抗 $R_2[\Omega]$ を直列に接続した回路を組んだところ、抵抗 R_0 にかかる電圧が、直流電流計の両端にかかる電圧の m 倍 ($m > 1$) になった。このとき、抵抗 R_2 は内部抵抗 r の何倍か。

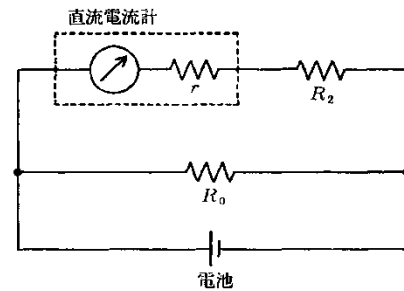


図 2

(2001 年 センター追試験)

■非直線抵抗を含む直流回路■

電球のフィラメントのように、電流を流すとその温度が大きく上昇する導体では、温度上昇に伴って抵抗値が大きくなるので、電流は電圧に比例しない。このように、電流と電圧の関係を示すグラフが直線にならない抵抗を、非直線抵抗という。

<解法>

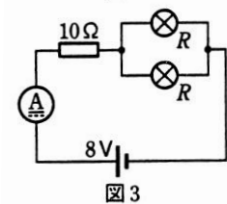
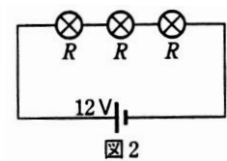
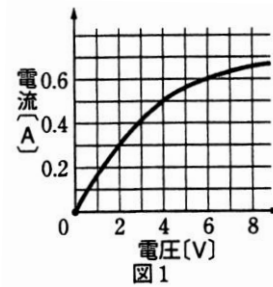
- ① 非直線抵抗に加わる電圧を V [V]、流れる電流を I [A]とし、キルヒホッフの法則から V と I の関係式を出す。
- ② ①の関係式を I - V 図上にかき、交点を求める。

<例題>

図1はある電球（1個）に加えられた電圧と、それを流れる電流との関係を示すグラフである。

(1) 図2のように、3個の電球と起電力12Vの電池をつないだ場合、回路に流れる電流 I を求めよ。

(2) 図3のように、2個の電球と 10Ω の固定抵抗および起電力8Vの電池をつないだ場合、電流計Aを通る電流 I_A を求めよ。



【1】ある白熱電球に電圧をかけて電流を測定したところ、
図1のような結果が得られた。出力電圧20Vの直流電源に、
この電球と抵抗値 R の抵抗器をつないだ図2のような回路
について考える。

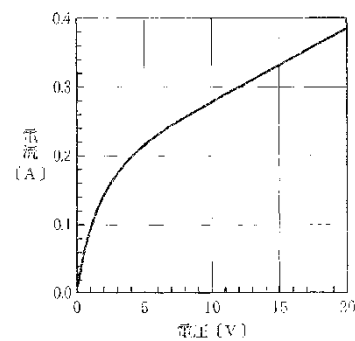


図1

(1) 電圧計で電球にかかる電圧を測ったところ12Vであった。
このときの抵抗器の抵抗値 R [Ω]の値を求めよ。

(2) 次に、抵抗器をとりかえて $R=50\ \Omega$ にしたとき、
電球で1秒あたりに発生するジュール熱[J]を求めよ。

(2008年 センター追試験)

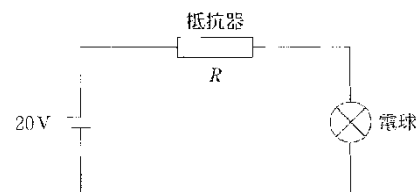


図2