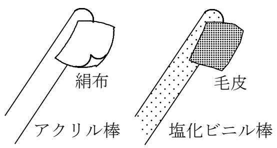
1 静電気

　アクリル棒を絹布でこすると，アクリル棒は正，絹布は (1) {① 正　② 負} に帯電する。これは (2) {① アクリル棒から絹布へ　② 絹布からアクリル棒へ} 電子が移動したためである。このアクリル棒に毛皮でこすった塩化ビニル棒を近づけたら，アクリル棒と塩化ビニル棒の間には引力がはたらいた。絹布と毛皮の電気を逃がさないようにして近づけたら，絹布と毛皮の間には (3) {① 引力　② 斥力} がはたらく。



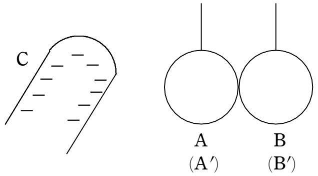
2 電子の移動

　同材質，同半径の金属球 A，B がある。金属球 A は -8.0×10^{-10} C に帯電しており，B は帯電していない。A，B 以外のものとの電気の出入りがない状態で金属球 A と B を接触させたら，A のもっていた電荷が A と B に二等分された。電子の電気量は -1.6×10^{-19} C であるとする。

(1)　電子は A と B の間で，どちらからどちらへ何 C 移動したか。
(2)　移動した電子の数 n を求めよ。

3 静電誘導

　図のように，絹糸でつるした 2 つの金属球 A，B を接触させる。負に帯電した塩化ビニル管 C を，左側から A に近づけたまま A と B をはなし，その後 C を遠ざける。



　次に，金属球 A，B のかわりに，2 つの不導体球 A′，B′ を用いて，上と同様の操作を行う。操作後，A，B，A′，B′ の電荷は，次のうちどれか。

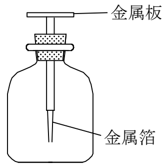
①　正　　②　負　　③　帯電していない

ヒント　金属球では電荷は移動できるが，不導体球では移動できない。

4 箔検電器

　次の {　} 内から正しいものを選べ。また，問いに答えよ。

(1)　箔検電器がある。はじめ，箔は閉じていたとする。
　負に帯電した棒を上部の金属板に近づけると
　(a) {①　静電誘導　②　誘電分極} により，金属板は
　(b) {①　正　②　負} に，箔は (c) {①　正　②　負}
　に帯電し，箔は
　(d) {①　開く　②　閉じたままである}。



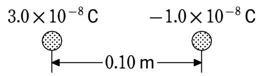
(2)　次に，帯電した棒を近づけたまま，箔検電器の金属板に指を触れる。このとき，箔は
　(e) {①　開いたままである　②　閉じたままである　③　開く　④　閉じる}。
　これは，箔検電器から (f) {①　正　②　負}　の電気が人体に逃げるためである。
(3)　続いて指を金属板から離し，次に棒を遠ざけた。このとき，箔は
　(g) {①　開く　②　閉じる　③　開いたままである　④　閉じたままである}。

問　この後，再び負に帯電した棒を上部の金属板に近づけると，箔はどうなるか。

ヒント　(2)　金属板に指を触れると，箔の電荷はより遠くへ逃げようとする。

5 電気量の保存と静電気力

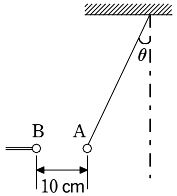
　真空中にそれぞれ 3.0×10^{-8} C，-1.0×10^{-8} C の電荷をもつ 2 つの金属球が 0.10 m 離して置かれている。2 球の材質，形状，大きさは等しいとし，クーロンの法則の比例定数を $9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ とする。



(1)　2 球が及ぼしあう力の大きさは何 N か。また，その力は引力か，斥力か。
(2)　2 球をいったん接触させた後，再び 0.10 m 引き離す。各球の電荷はそれぞれ何 C になるか。
(3)　このとき，2 球が及ぼしあう力の大きさは何 N か。また，この力は引力か，斥力か。

6 帯電した金属球のつりあい

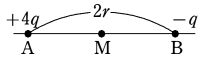
　質量 3.0 g の金属球 A に正電荷を与え，軽い絹糸で天井からつるした。次に，他の小球 B に -9.8×10^{-8} C の電荷を与えて A に近づけたところ，互いに引きあって，図のように AB が同一水平面内で AB＝10 cm，糸の傾き θ が $\tan\theta=0.30$ の状態でつりあった。重力加速度の大きさを $9.8\ \mathrm{m/s^2}$，クーロンの法則の比例定数を $9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ とする。



(1)　A，B が及ぼしあっている力の大きさは何 N か。
(2)　A がもっている電気量は何 C か。

7 2 つの点電荷による電場

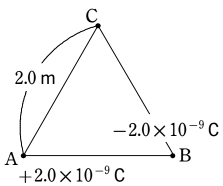
　2 点 A，B の間隔は $2r$ [m] で，A には $+4q$ [C] の正電荷，B には $-q$ [C] の負電荷をおく。M は線分 AB の中点である。クーロンの法則の比例定数を k [$\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$] とする。



(1)　点 A 上の電荷による点 M の電場 $\overrightarrow{E_A}$ を求めよ。
(2)　点 B 上の電荷による点 M の電場 $\overrightarrow{E_B}$ を求めよ。
(3)　A，B 上の 2 つの電荷による点 M の電場 $\vec{E}$ を求めよ。
(4)　電場が 0 となる点の位置を求めよ。

8 電場の重ねあわせ

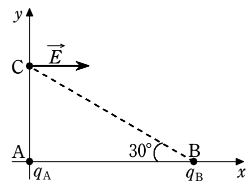
　1 辺の長さが 2.0 m の正三角形 ABC がある。図のように，$+2.0\times10^{-9}$ C の点電荷を点 A に，-2.0×10^{-9} C の点電荷を点 B に置く。クーロンの法則の比例定数を $k=9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ として次の問いに答えよ。



(1)　点 C での電場ベクトルを作図により求めよ。また，この電場ベクトルの大きさはいくらか。
(2)　このときの電気力線の概略を図示せよ。

9 電場の重ねあわせ

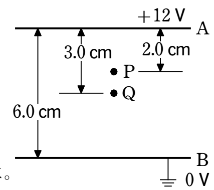
　図のように，xy 平面の点 A (原点とする)，点 B にそれぞれ電気量 q_A，q_B の点電荷が固定されている。y 軸上に点 C をとり，∠ABC＝30° とする。A，B の電荷それぞれによる点 C の電場を $\overrightarrow{E_A}$ (強さ E_A)，$\overrightarrow{E_B}$ (強さ E_B) とする。点 C での電場 $\vec{E}=\overrightarrow{E_A}+\overrightarrow{E_B}$ は y 軸に垂直で，その向きは図のように右向きである。



(1)　電気量 q_A，q_B の符号 (正，負) は何か。
(2)　電場の強さ E_B は E_A の何倍か。
(3)　電気量の絶対値 $|q_B|$ は $|q_A|$ の何倍か。

10 一様な電場

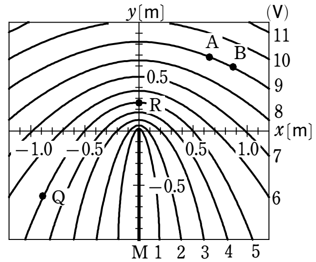
　図のように，2 枚の大きな平面金属板 A，B を 6.0 cm の間隔で平行に置き，その間に 2 点 P，Q をとる。点 P は A から 2.0 cm，点 Q は A，B の中央である。両金属板間に 12 V の電位差を与え，A，B 間に一様な電場をつくる。このとき，A が高電位であるとする。



(1)　A，B 間の電場の向きを示せ。
(2)　点 P および点 Q における電場の強さをそれぞれ求めよ。
(3)　点 P，点 Q の電位はそれぞれ何 V か。ただし，B 板は接地してある。

11 等電位面と電気力線

　$y<0$ の y 軸上に，xy 面に垂直に金属板 M を置いてこれを接地し，y 軸上の正の側の十分遠方に正電荷を置いたとき，1 V ごとの等電位線は図のようになった。



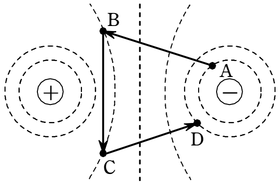
(1)　点 A，点 B を通る電気力線をそれぞれ図の中に描き，矢印で向きを示せ。
(2)　点 Q における電場の強さ E_Q と点 R における電場の強さ E_R では，どちらが大きいか。また，その考えの根拠も示せ。

12 電荷を運ぶ仕事

次の文中の［　　］に適当な用語，数式，または数値を入れよ。

強さ E[N/C] の一様な電場中において，電気量 q[C] の電荷が電場の向きに距離 d[m] だけ進むと，電荷が電場から受ける仕事は　$W=$［ア］[J] となる。

右図の破線は固定された正，負等量の電荷のまわりの 2.0 V ごとの［イ］を表している。3.0×10^{-8} C の正電荷を A から D まで実線の経路にそってゆっくりと運ぶとき，外力がする仕事は，A→B の区間で［ウ］J，B→C の区間で［エ］J，C→D の区間で［オ］J である。



13 電場·電位

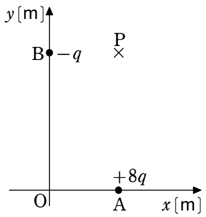
図のように，xy 平面上の点 A$(a,\ 0)$ に電気量 $+8q$[C] の点電荷を，点 B$(0,\ 2a)$ に $-q$[C] の点電荷を固定した $(a>0,\ q>0)$。クーロンの法則の比例定数を k[N·m²/C²] とする。

(1)　点 P$(a,\ 2a)$ における電場の強さ E[N/C] を求めよ。
　また，その向きは次の ①〜④ のどの向きと同じか。
　①　$\overrightarrow{\mathrm{OP}}$　　②　$\overrightarrow{\mathrm{PO}}$　　③　$\overrightarrow{\mathrm{AB}}$　　④　$\overrightarrow{\mathrm{BA}}$

(2)　無限遠を基準として，P の電位 V_{P}[V] を求めよ。

(3)　外力を加えて，電気量 $+2q$[C] の電荷を P から原点 O までゆっくりと動かす。このとき，この力のする仕事 W[J] を求めよ。

(4)　線分 AB 上で電位が 0 となる点の座標を求めよ。



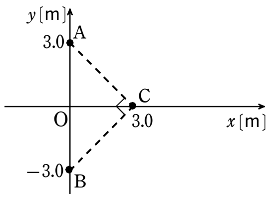
14 電位

図のように，xy 水平面上の点 A$(0,\ 3.0)$ と点 B$(0,\ -3.0)$ に，それぞれ電気量 $Q_1=+1.0\times10^{-5}$ C と $Q_2=-1.0\times10^{-5}$ C の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を $k=9.0\times10^{9}$ N·m²/C² とし，電位の基準を無限遠にとる。重力や摩擦力は無視する。

(1)　点 C$(3.0,\ 0)$ の電場の向きと強さ E[N/C] を求めよ。

(2)　点 C に電気量 $q=-2.0\times10^{-6}$ C の点電荷 P を置き，外力を加えて点 C から原点 O までゆっくりと移動させた。このとき，この力がした仕事 W[J] を求めよ。

(3)　P を点 C にもどし，(2) で加えた力を静かに 0 にしたところ，P は動きだし，ある点を速さ 2.0 m/s で通過した。この点での電位 V[V] を求めよ。ただし，P の質量を $m=3.0\times10^{-2}$ kg とする。



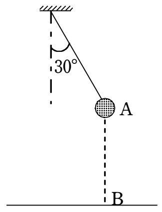
15 帯電した小球のつりあい

質量 10 g の小球 P に正の電荷を与えて糸でつるし，水平方向に強さ 2.0×10^{3} V/m の電場を与えたところ，図のように糸が鉛直線と 30° となる点 A に静止した。点 A の床からの高さは 0.90 m である。重力加速度の大きさを 9.8 m/s² とする。

(1)　糸の張力の大きさ T[N] を求めよ。

(2)　小球 P に与えられた電気量 q[C] を求めよ。

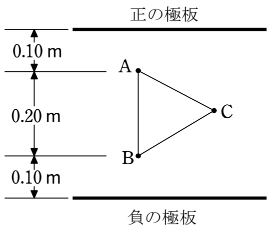
(3)　糸が切れて，小球 P は初速度なく運動し始め，床上の点 C に落下した。点 A の真下の点 B から点 C までの距離 l[m] を求めよ。



ヒント　電場 E から電荷 q にはたらく力は qE(水平方向) である。

16 電場と電位

図のように，2 枚の広い平行極板が真空中にあり，極板間隔は 0.40 m，極板間の電位差は 80 V である。両極板の間に A，B，C の 3 点があり，各点は図のように 1 辺が 0.20 m の正三角形の頂点にある。そして，点 A は正の極板から 0.10 m の距離にあり，2 点 A，B を結ぶ直線は極板と直交している。



(1)　点 A を通る等電位線 (等電位面と三角形 ABC を含む面の交線) を実線を用いて，また，点 C を通る電気力線を破線を用いて描け。

(2)　点 A の電場の強さ E[V/m] を求めよ。

(3)　点 A と点 B の負の極板に対する電位 V_{A}[V]，V_{B}[V] を求めよ。

(4)　点 A に 1.6×10^{-9} C の正電荷を置いたとき，この正電荷にはたらく静電気力の大きさ F[N] を求めよ。

(5)　(4) の電荷を，点 A を出発して直線 AC 上を点 C まで運び，さらに直線 CB 上を点 B まで運ぶとき，静電気力がこの電荷にする仕事は合計して何 J になるか。

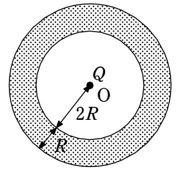
(6)　いま，点 A に (4) の正電荷が固定され，それと等量の負電荷が点 B に固定されているものとする。この場合の，点 C における電場の強さ E_{C}[V/m] を求めよ。ただし，真空中で q[C] の電荷から r[m] 離れた点の電場の強さは，$9.0\times10^{9}\dfrac{q}{r^2}$ [V/m] である。

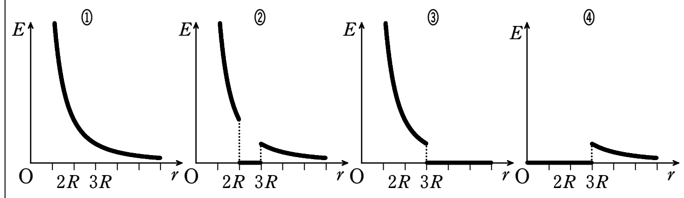
ヒント　(6)　点 C において，3 つの電場ベクトルを合成する。

17 導体球殻と電場

(1)　図のように，原点 O にある電気量 Q の正の点電荷を，点 O を中心として，内側の半径が $2R$，厚さが R の帯電していない金属球殻で囲んだ。このとき，金属球殻の電荷分布はどうなるかを，簡単に述べよ。

(2)　右の図において，原点 O からの距離が r の点での電場の強さを E とする。E と r との関係を表す正しいグラフを，次の ①〜④ から 1 つ選べ。





ヒント　電気力線は正電荷から出て負電荷に入るか，無限遠に至る。電気力線の両端の電荷の絶対値は同じである。また，導体中には静電場はできない。

18 電気力線と電場·電位

1 辺が l[m] の正方形の各頂点に電気量 q_{A}，q_{B}[C] の点電荷を交互に配置し，電気力線を描いたところ，図のように点対称な図形になった。ただし，電気力線は正方形の内部のみを示している。

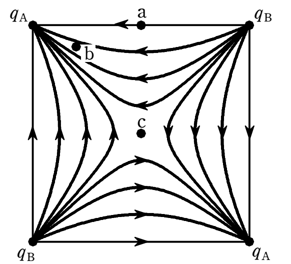
(1)　電気量 q_{A}，q_{B} の符号 (正，負) は何か。

(2)　電気量 q_{A}，q_{B} の絶対値の比 $|q_{\mathrm{A}}|:|q_{\mathrm{B}}|$ はいくらか。

(3)　正方形の内部 a (中点)，b，c (中央) の各点にそれぞれ 1 C の電荷をもつ小球を置くとき，小球の受ける力の大きい順に a，b，c を並べよ。

(4)　ab 間の電位差 V_{ab} と bc 間の電位差 V_{bc} とでは，どちらが大きいか。

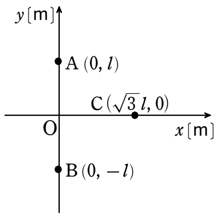
(5)　電気量 q_{A} と q_{B} の絶対値を $|q_{\mathrm{A}}|=|q_{\mathrm{B}}|=Q$[C] とするとき，点 a に置かれた電気量 1 C の小球が受ける力の大きさは何 N か。ただし，クーロンの法則の比例定数を k[N·m²/C²] とする。



ヒント　電荷から出る電気力線の数はその電気量に比例する。また，電気力線の密度は電場の強さに比例する。

19 電位

図のように，xy 平面上の点 A$(0,\ l)$ と点 B$(0,\ -l)$ に電気量 Q[C] の正の点電荷をそれぞれ固定し，正の電気量 q[C] をもつ質量 m[kg] の荷電粒子 P を点 C$(\sqrt{3}l,\ 0)$ に置く。クーロンの法則の比例定数を k[N·m²/C²] とし，無限遠点での電位を 0 V とする。



(1) 点 C に置いた荷電粒子 P のもつ静電気力による位置エネルギー U[J] を求めよ。

(2) 点 C に置いた荷電粒子 P をそっとはなすと，P は x 軸上を動きだした。十分に遠方に達したときの P の速さ v[m/s] を求めよ。

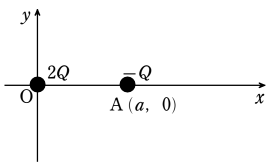
(3) (2) で点 C に置いた荷電粒子 P に，原点 O に向けて初速度 v_0[m/s] を与える。P が原点 O に到達するための最小の初速度の大きさを求めよ。

ヒント　電場内で電荷が静電気力だけを受けて運動するときは
(運動エネルギー)＋(静電気力による位置エネルギー)＝一定

20 等電位線

図のように，xy 平面上の原点 O に電気量 $+2Q$ $(Q>0)$，点 A$(a,\ 0)$ に電気量 $-Q$ の点電荷が固定して置かれている。クーロンの法則の比例定数を k とし，無限遠点での電位を 0 とする。

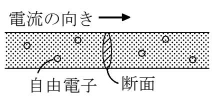
xy 平面上で電位が 0 である等電位線は円となる。この円の半径を求めよ。



ヒント　中心が点 $(a,\ b)$，半径 r の円の方程式は　$(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$

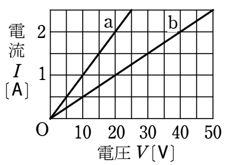
21 電流

図のように，導線に 3.2 A の電流が右向きに流れている。1 つの自由電子は -1.6×10^{-19} C の電気量をもっている。このとき，自由電子は導線の断面をどちら向きに移動しているか。また，その断面を 1 秒間に通りぬける自由電子の数 n を求めよ。



22 オームの法則

図は抵抗線 a と b について，加える電圧 V[V] と流れる電流 I[A] の関係を表したグラフである。a と b の抵抗値 R_a，R_b はそれぞれ何 Ω か。



23 抵抗率

断面積 2.2×10^{-7} m²，抵抗率 1.1×10^{-6} Ω·m の金属線を用いて，抵抗値 5.0 Ω の抵抗線を作りたい。導線の長さ l を何 m にすればよいか。

24 抵抗率

長さ 1.0 m，断面積 1.0 mm² のある金属線の抵抗を調べたら，0 ℃ で 5.0×10^{-2} Ω，100 ℃ で 7.5×10^{-2} Ω であった。ここでは，金属線の熱膨張は考えない。

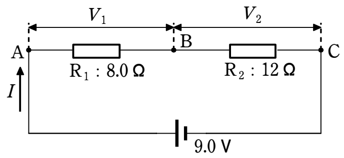
(1) 0 ℃のとき，長さが 2.0 m のこの金属線の抵抗 R は何 Ω か。

(2) 0 ℃のとき，この金属線の抵抗率 ρ_0 は何 Ω·m か。

(3) この金属線の抵抗率の温度係数 α[/K] を求めよ。

25 抵抗の接続

8.0 Ω の抵抗 R_1，12 Ω の抵抗 R_2 と，9.0 V の電池を図のようにつないだ。



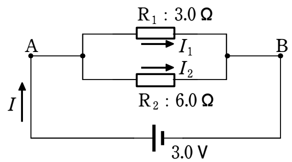
(1) 点 A を流れる電流 I[A] を求めよ。

(2) AB 間，BC 間の電圧 V_1[V]，V_2[V] を求めよ。

(3) AC 間の合成抵抗 R[Ω] を求めよ。

26 抵抗の接続

3.0 Ω の抵抗 R_1，6.0 Ω の抵抗 R_2 と，3.0 V の電池を図のようにつないだ。



(1) 抵抗 R_1，抵抗 R_2 を流れる電流 I_1[A]，I_2[A] を求めよ。

(2) 点 A を流れる電流 I[A] を求めよ。

(3) AB 間の合成抵抗 R[Ω] を求めよ。

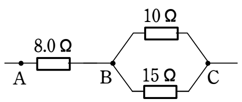
次に，電池を別の電池に変えたところ，点 A を流れる電流は $I=4.5$ A となった。

(4) 変えた後の電池の電圧 V[V] を求めよ。

ヒント　並列接続では，各抵抗に加わる電圧は等しい。また，各抵抗を流れる電流の和は全電流に等しい。

27 抵抗の接続

図のように抵抗を接続した。



(1) BC 間の合成抵抗 R_{BC}[Ω] を求めよ。

(2) AC 間の合成抵抗 R_{AC}[Ω] を求めよ。

(3) A から C の向きに電流を流したところ，AB 間の電圧が 24 V になった。AC 間の電圧 V_{AC}[V] を求めよ。また，15 Ω の抵抗を流れる電流 I[A] を求めよ。

28 電力

あるドライヤーに 1.0×10^2 V の電源をつなぐと，6.0 A の電流が流れた。

(1) このドライヤーで消費される電力 P は何 W か。

(2) このドライヤーを 1.0 分間使用したとき，消費される電力量 W は何 J か。また，それは何 kWh か。

29 ジュール熱

抵抗値 5.0 Ω のニクロム線を比熱 2.1 J/(g·K) の油 200 g にひたし，10 V の電圧を加えた。この油の温度が 20 K 上がるのには，何秒かかるか。ただし，ニクロム線から発生する熱はすべて油に吸収されるものとする。

30 電力

10 Ω の抵抗 R_1 と 20 Ω の抵抗 R_2 と 1.5 V の電池を，図 1 および図 2 のように接続した回路がある。図 1，図 2 の場合について，抵抗 R_1 で消費される電力 P_1[W] と，抵抗 R_2 で消費される電力 P_2[W] を求めよ。

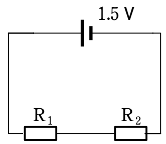


図 1

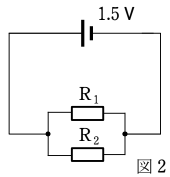


図 2

31 抵抗の接続

電気抵抗 R_1，R_2 と，直流電源，電流計，電圧計を用いて次の実験 I と II を行った。ただし，R_1 の抵抗値は R_2 の抵抗値より大きい。

[実験 I]　電気抵抗 R_1，R_2 と，直流電源，電流計，電圧計を図 1 のようにつなぎ，電源電圧を変えて，回路を流れる電流を測定し，図 3 のグラフ A を得た。

[実験 II]　電気抵抗 R_1，R_2 と，直流電源，電流計，電圧計を図 2 のようにつなぎ，電源電圧を変えて，回路を流れる電流を測定し，図 3 のグラフ B を得た。

(1) 電気抵抗 R_1，R_2 を直列につないだときの合成抵抗 R[Ω] を求めよ。

(2) 電気抵抗 R_1，R_2 を並列につないだときの合成抵抗 R'[Ω] を求めよ。

(3) 電気抵抗 R_1，R_2 それぞれの抵抗値 R_1，R_2[Ω] を求めよ。

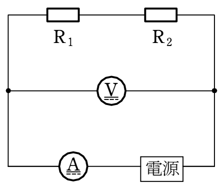


図 1

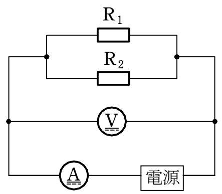


図 2

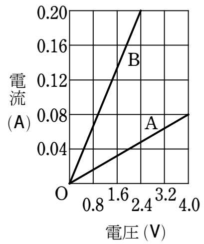
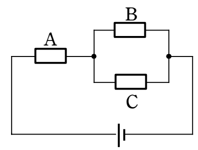


図 3

ヒント　直列のときの合成抵抗の式と，並列のときの合成抵抗の式とを連立させる。

32 抵抗の接続とジュール熱

図のように，抵抗 A，B，C を電池に接続する。



(1) A，B，C が同じ抵抗値をもつ場合，同じ時間内に，A で発生するジュール熱は B で発生するジュール熱の何倍になるか。

(2) A と B が同じ抵抗値をもち，C が B の 2 倍の抵抗値をもつ場合，同じ時間内に，A で発生するジュール熱は C で発生するジュール熱の何倍になるか。

ヒント　ジュール熱の式 $Q=I^2Rt$ を用いる。

33 電流と電子

断面積 1.0 mm^2 の針金を 8.5 A の電流が流れている。この金属の単位体積当たりの自由電子の数を 8.5×10^{28} /m^3，電子のもつ電荷の絶対値を 1.6×10^{-19} C として針金を移動する電子の平均の速さを求めよ。

34 電流計・電圧計

導線 R の抵抗値をテスター(回路試験器) ではかったところ，2.0 Ω であった。これを別の方法で確かめようと思い，導線 R に電流 I [A] を流し，R の両端の電圧 V [V] を測定して，$R=\dfrac{V}{I}$ の式から求めようとした。このとき，図 1，図 2 どちらの回路にしたらよいか。ただし，電流計の内部抵抗は 2.0 Ω であり，電圧計の内部抵抗は 2.0 kΩ であるとする。

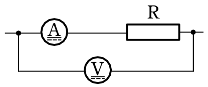


図 1

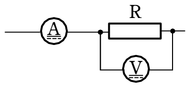


図 2

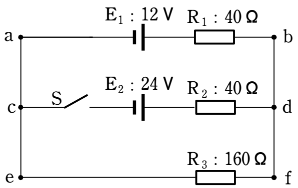
35 電流計の分流器，電圧計の倍率器

最大 1.0 A まで測定可能な内部抵抗 3.0 Ω の電流計がある。これを適当な抵抗と組み合わせて 3.0 A までの電流を測定可能にするには，［ア］Ω の抵抗をこの電流計と［イ］に接続するとよい。また，100 V までの電圧を測定可能にするには，この電流計と［ウ］に［エ］Ω の抵抗を接続するとよい。

36 キルヒホッフの法則

図の回路で，E_1，E_2 はそれぞれ 12 V，24 V の電池，R_1，R_2，R_3 はそれぞれ 40 Ω，40 Ω，160 Ω の抵抗，S はスイッチである。

初め，スイッチ S は開いている。



(1) このとき，抵抗 R_1 に流れる電流 I は何 A か。

(2) 抵抗 R_1 と R_3 で消費される電力の和 P は何 W か。

次に，スイッチ S を閉じた。

(3) 抵抗 R_1 に流れる電流 I_1 は何 A か。また，R_1，R_2，R_3 に流れる電流の向きはそれぞれどの向きか。

ヒント (3) R_1，R_2，R_3 を流れる電流の大きさを I_1，I_2，I_3 と定め，電流の向きをそれぞれ仮定して，キルヒホッフの法則を適用する。

37 電池の接続

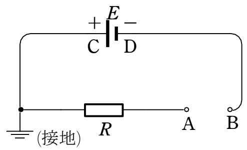
起電力 1.5 V，内部抵抗 0.50 Ω の電池がある。

(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。

38 直流回路と電位

起電力 E，内部抵抗 r の電池が図のように抵抗 R に接続されている。



(1) AB 間が開いているとき，

(a) 点 A の電位はいくらか。

(b) 点 B の電位はいくらか。

(2) AB 間に抵抗 x を接続するとき，

(a) CD 間の電圧 V を求めよ。

(b) 抵抗 x と並列に電気容量 C のコンデンサーを接続したとき，コンデンサーの電位の低いほうの極板に帯電する電気量 Q を求めよ。

39 電池の起電力と内部抵抗の測定

内部抵抗 r [Ω]，起電力 E [V] の電池がある。これを用いて図 1 の回路を構成し，可変抵抗 R の値を変えながら電流と電圧を測定したところ，図 2 を得た。電流計の内部抵抗と，電圧計に流れる電流はないものとする。

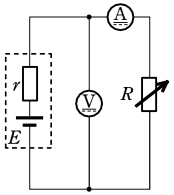


図 1

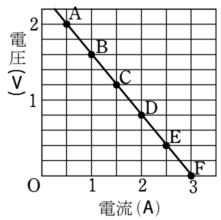


図 2

(1) 起電力 E [V] を求めよ。

(2) 内部抵抗 r [Ω] を求めよ。

(3) $R=r$ の状態は，図 2 の A，B，C，D，E，F のうちどこか。

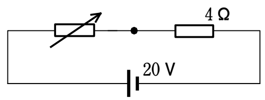
(4) この電池の正・負極を電線でつなぐ(ショートする)ときに電池を流れる電流 I [A] を求めよ。

(5) 状態 A において，R の値 R_A [Ω] および R で消費される電力 P_A [W] を求めよ。

(6) 状態 A において，内部抵抗 r による電圧降下 V_r [V]，r で消費される電力 P_r [W] を求めよ。

40 電力

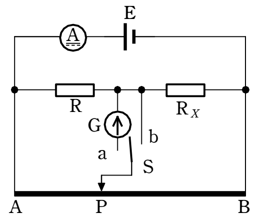
図のように，可変抵抗と 4 Ω の抵抗を接続し，20 V の電源につなぐ。回路全体の消費電力が 20 W のとき，可変抵抗の抵抗値は［ア］Ω であり，可変抵抗での消費電力が最大になるときの可変抵抗の抵抗値は［イ］Ω である。



41 ホイートストンブリッジ

次の文中の［　］に適当な数値を入れよ。

図は長さ 1.00 m の一様な抵抗線 AB，起電力 2.0 V の内部抵抗を無視できる電池 E，抵抗値 5.0 Ω の抵抗 R と未知の抵抗 R_X，電流計，検流計 G，切り替えスイッチ S からなる回路である。



S を a 側に倒し，G に電流が流れないように可動接点 P を調整したところ，AP 間の距離は 25 cm，電流計の読みは 0.30 A であった。R_X の抵抗値は［ア］Ω であり，抵抗線 AB の抵抗値は［イ］Ω である。

次に S を b 側に倒し，P を AP 間の距離が 50 cm の位置に移動した。このとき，電流計の読みは［ウ］A である。

42 電流－電圧特性曲線

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。

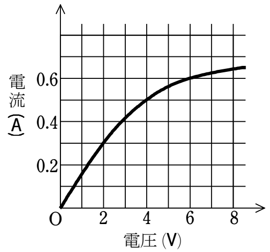


図 1

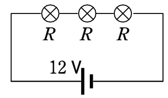


図 2

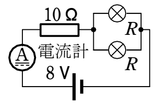


図 3

(1) 図 2 のように，3 個の電球と起電力 12 V 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 10 Ω の固定抵抗および起電力 8 V の電池をつないだ場合，電流計を通る電流 I_A を求めよ。

43 不純物半導体

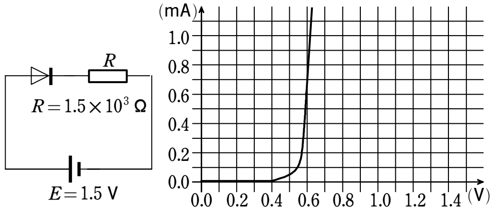
文中の空所を埋めよ。

金属などの［1］では，結晶中を自由に動きまわる［2］が存在するのに対して，ガラスなどの［3］中には［2］は存在しない。電気抵抗率などの電気的な性質が［1］と［3］の中間にある物質を［4］という。［5］型半導体は，Ge や Si などの 4 価原子の結晶中に Sb などの 5 価の原子を不純物としてわずかに混ぜたもので，［1］と同様［2］が電流を流す役割をする。一方，［6］型半導体は 4 価の原子中に In などの 3 価の原子を少量混入して［7］をつくり，それに電流を流す役目をさせている。

44 ダイオードを含む回路

次の $\boxed{}$ に適当な数値を入れよ。

図の電気回路において，$E=1.5$ V，$R=1.5\times10^3$ Ω のとき回路に流れる電流は $\boxed{\text{ア}}$ mA，抵抗に加わる電圧は $\boxed{\text{イ}}$ V である。このとき，ダイオードの消費電力は $\boxed{\text{ウ}}$ mW である。ただし，このダイオードの電流-電圧特性は図のグラフのようになる。



また，電池の内部抵抗は無視できるものとする。

45 オームの法則と抵抗率

次の文中の $\boxed{}$ 内に適当な数式を記入せよ。

断面積 S[m²]，長さ l[m] の金属導体中の自由電子の運動モデルより，導体の電気抵抗について考えよう。

(1) 電子が金属中を一定の速さ v[m/s] で動き，電流 I[A] が流れているとする。この金属の単位体積中の自由電子の数を n[/m³]，電子の電気量を $-e$[C] として，電流 I[A] を表すと，$I=\boxed{\text{ア}}$ となる。

(2) 金属の両端に電圧 V[V] を加えると，金属導体内部に $\boxed{\text{イ}}$ [V/m] の電場が生じる。金属内の自由電子はこの電場から力を受けながら移動するが，熱振動している金属の陽イオンと衝突してその運動を妨げられる。つまり，陽イオンは電子の流れに抵抗力を及ぼす。この抵抗力の大きさは電子の流れの速さ v に比例すると仮定し，kv[N] で表す（k は比例定数)。電子は電場から受ける力と抵抗力がつりあって等速直線運動しているとすると，$v=\boxed{\text{ウ}}$ であり，(ア)，(ウ) より $I=\boxed{\text{エ}}$ が得られる。

(3) (2) で得られた電流 I[A] と電圧 V[V] の関係式より，金属の電気抵抗 R[Ω] および抵抗率 ρ[Ω·m] は，それぞれ $R=\boxed{\text{オ}}$，および $\rho=\boxed{\text{カ}}$ で表される。

(4) 金属の温度 T[℃] における抵抗率 ρ[Ω·m] は，0 ℃ における抵抗率を ρ_0[Ω·m]，温度係数を α[/K] とすると，$\rho=\rho_0\times(\boxed{\text{キ}})$ で表される。

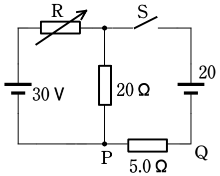
(5) (1)，(2) で考察した金属導体に電圧 V[V] を加えて電流 I[A] が流れるとき，t[s] 間に発生するジュール熱は $\boxed{\text{ク}}$ [J] で与えられる。これは，自由電子の運動モデルより説明できる。すなわち，導体中の 1 個の自由電子には負極側から正極側へ静電気力 $\boxed{\text{ケ}}$ [N] がはたらき，t[s] 間でその力の向きに $\boxed{\text{コ}}$ [m] だけ移動するので，この電子は (ケ)×(コ) の大きさの仕事をされる。導体中の自由電子の総数は $\boxed{\text{サ}}$ だから，ジュール熱 Q[J] は全自由電子がされる仕事の大きさとして $Q=$(ケ)×(コ)×(サ) となり，t[s] 間に発生するジュール熱 $\boxed{\text{ク}}$ [J] に等しい。

ヒント　(ア) 長さ v[m] の導体内の自由電子数は nvS[個] である。

(カ) (オ) で得られる式と「$R=\rho\dfrac{l}{S}$」を比べる。

46 キルヒホッフの法則

図のような回路がある。初めに，スイッチ S を開いておく。



(1) 20 Ω の抵抗を流れる電流が 0.50 A 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。

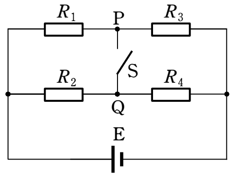
(2) 5.0 Ω の抵抗を流れる電流を 0 A にしたとき，R の抵抗値はいくらか。また，R を流れる電流はいくらか。

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

ヒント　電流の向きを仮定し，キルヒホッフの法則Ⅰ，Ⅱを適用する。

47 抵抗回路と電力

抵抗値 $R_1=1.0$ Ω，$R_2=9.0$ Ω，$R_3=7.0$ Ω，$R_4=3.0$ Ω の 4 つの抵抗，起電力 24 V 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。

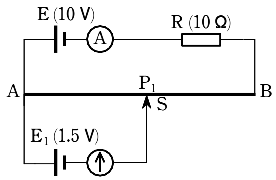
(3) スイッチ S を流れる電流は何 A か。

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

ヒント　(3)，(4) 電流の流れる向きをどちらかに仮定してキルヒホッフの法則を用いる。求められる電流値が負なら，初めに仮定した向きと逆向きに電流が流れる。

48 電位差計

図の回路で，E は起電力 10 V の内部抵抗が無視できる電池，E_1 は起電力 1.5 V，内部抵抗 1.0 Ω の乾電池，R は 10 Ω の抵抗，AB は長さ 100 cm の一様な抵抗線，Ⓐ は電流計，Ⓖ は検流計，S は AB 上をすべり動く接点である。電流計と検流計の内部抵抗は無視する。



S が P_1 の位置にあるとき，Ⓐ の読みは 0.5 A で，Ⓖ には電流が流れなかった。

(1) 抵抗線 AB の抵抗値 R_0[Ω] を求めよ。

(2) AP_1 間の距離 l_1[cm] を求めよ。

乾電池 E_1 のかわりに起電力のわからない電池 E_2 を同様に接続して，Ⓖ に電流が流れない接点 S の位置 P_2 を求めたところ，AP_2 間の距離は 10 cm であった。

(3) この電池の起電力 E_2[V] を求めよ。

ヒント　(1)，(2) 電池 E_1 の側に電流が流れないので，「電池 E_1 の起電力 ＝ AP_1 間の電圧降下」

49 電流計と電圧計の内部抵抗

未知の抵抗の値を測定するために，未知抵抗に起電力 E の電池と電流計 Ⓐ と電圧計 Ⓥ をつないで，図 1 と図 2 の回路をつくった。未知抵抗の抵抗値を R，Ⓐ の内部抵抗を r_A，Ⓥ の内部抵抗を r_V とし，電池の内部抵抗は無視する。

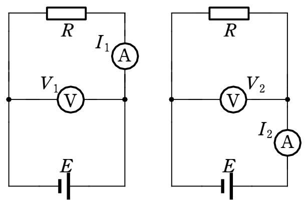


図 1　　図 2

(1) 図 1 の回路のとき，Ⓥ が示す電圧 V_1 と Ⓐ が示す電流 I_1 の比 $\dfrac{V_1}{I_1}$ として得られる抵抗の測定値 R_1 を，E，R，r_A，r_V のうち必要な文字を用いて表せ。

(2) 図 2 の回路のとき，電圧 V_2 と電流 I_2 の比 $\dfrac{V_2}{I_2}$ として得られる抵抗の測定値 R_2 を，E，R，r_A，r_V のうち必要な文字を用いて表せ。

(3) どちらも真の測定値を与えないことがわかった。Ⓐ や Ⓥ の内部抵抗値に比べ，未知抵抗の抵抗値が小さいと予想されるとき，どちらの回路で測定したほうがよりよい近似値を与えるか。

(4) 図 1 の回路では，Ⓥ は 2.20 V，Ⓐ は 20.0 mA を示し，図 2 の回路では，Ⓥ は 1.98 V，Ⓐ は 22.0 mA を示した。

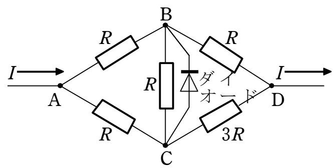
r_A，r_V，R を有効数字 2 桁で求めよ。

ヒント　図 1 の回路：読み $V_1=R$ と r_A (直列) に加わる電圧の和

図 2 の回路：読み $I_2=R$ と r_V (並列) に流れる電流の和

50 キルヒホッフの法則

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 → 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 → 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。

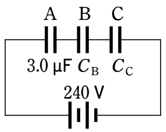
ヒント　(1),(2) BC 間に抵抗 R やダイオードが接続されていない場合について，B と C の電位を比べて，どちらが高いかを考える。ダイオードを接続したとき，C の電位が高ければダイオードの抵抗値は 0，反対の場合は無限大とみなされる。

51 コンデンサーの電気容量

極板の対向面積が 1.0 m²，極板間の距離が 2.0 mm の平行板コンデンサーの電気容量 C[F] を求めよ。極板間のすき間は真空で，真空の誘電率は 8.8×10^{-12} F/m であるとする。

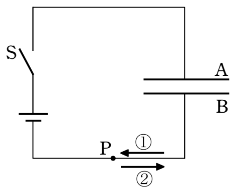
52 コンデンサーに加わる電圧

電気容量 3.0 μF のコンデンサー A と，電気容量が未知のコンデンサー B，C の 3 個を図のように直列に接続し，両端に 240 V の電圧を加えたら，3.0 μF のコンデンサーの両端の電圧は 48 V，B の両端の電圧は 72 V であった。B，C の電気容量 C_B〔μF〕，C_C〔μF〕を求めよ。最初，コンデンサーに電荷はないものとする。



53 平行板コンデンサー

図のように，極板 A，B をもつ平行板コンデンサーがスイッチ S を通して電池につながれている。スイッチ S を閉じたところ，コンデンサーには 9.0×10^{-11} C の電荷がたまった。



(1)　スイッチ S を閉じたまま，極板の間隔を 3 倍に広げた。その後十分に時間がたったとき，コンデンサーに蓄えられている電気量 Q〔C〕を求めよ。

(2)　(1) の操作において，点 P を流れた電流の向きは ① か ② のどちらか。また，このとき点 P を通過した電気量の大きさは何 C か。

54 比誘電率

空気中に置かれた，電気容量 1000 pF の平行板コンデンサーがある。極板に電池をつないで 200 V の電圧を加えた。空気の比誘電率は 1.0 とする。

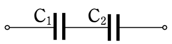
(1)　正極板に蓄えられる電気量 Q_1〔C〕を求めよ。

(2)　電池をつないだまま，極板間を比誘電率 2.0 の絶縁体で満たしたときの，正極板に蓄えられる電気量 Q_2〔C〕を求めよ。

(3)　(2) で入れた絶縁体をいったん取り除いてから，電池を取り外し，絶縁体を再び満たしたときの，極板間の電位差 V〔V〕を求めよ。

55 コンデンサーの直列接続

電荷を蓄えていない，2.0 μF のコンデンサー C_1 と 6.0 μF のコンデンサー C_2 を直列に接続してその両端に 16 V の電圧を加える。

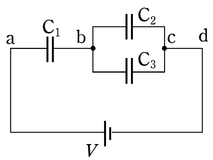


(1)　合成容量は何 μF か。

(2)　各々のコンデンサーに加わる電圧と，蓄えられる電気量を求めよ。

56 合成容量

電気容量がそれぞれ C_1，C_2，C_3 の 3 個のコンデンサー C_1，C_2，C_3 と起電力が V の電源により，図のような回路をつくる。$C_1=3$ μF，$C_2=2$ μF，$C_3=4$ μF，$V=300$ V のときに，次の値を求めよ。



(1)　ad 間の合成容量 C

(2)　ab 間の電位差 V_1

(3)　bc 間の電位差 V_2

(4)　コンデンサー C_1，C_2，C_3 のそれぞれに蓄えられる電気量 Q_1，Q_2，Q_3

57 耐電圧

電気容量 4.0 μF，耐電圧 3.0×10^2 V のコンデンサー A と，電気容量 1.0 μF，耐電圧 6.0×10^2 V のコンデンサー B がある。

(1)　A と B を並列に接続したときの全体としての耐電圧 V_1〔V〕を求めよ。

(2)　A と B を直列に接続したときの全体としての耐電圧 V_2〔V〕を求めよ。

58 金属板の挿入

間隔 d だけ離れた極板 A，B からなる電気容量 C の平行板コンデンサー，起電力 V の電池とスイッチ S からなる図 1 のような回路がある。

スイッチ S を閉じた。

(1)　コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U を求めよ。

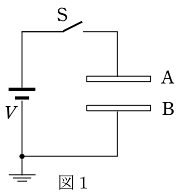


図 1

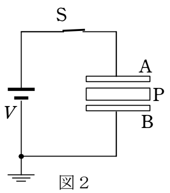


図 2

次に，スイッチ S を閉じたまま，厚さ $\dfrac{d}{2}$ の金属板 P を図 2 のように極板 A，B に平行に極板間の中央に挿入した。

(2)　極板 A，B 間での，極板 A からの距離と電位の関係を表すグラフをかけ。

(3)　また，このとき極板 A に蓄えられた電気量 Q を求めよ。

さらに，スイッチ S を開いた後，金属板 P を取りさった。

(4)　このときの極板間の電位差 V' を求めよ。

59 誘電体の挿入

V〔V〕の電池をつないだ電気容量 C〔F〕の平行平板空気コンデンサーがある。次の (1)，(2) のように，両極板間に比誘電率 ε_r の誘電体を入れた場合について，コンデンサーに蓄えられる電気量をそれぞれ求めよ。

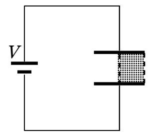


図 1

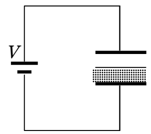


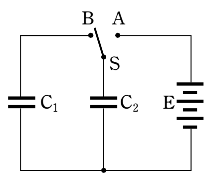
図 2

(1)　図 1 のように，極板間の右半分を誘電体で満たした場合の電気量 Q_1〔C〕

(2)　図 2 のように，極板間の下半分を誘電体で満たし，その誘電体の上面を厚さの無視できる金属板でおおった場合の電気量 Q_2〔C〕

60 コンデンサーの接続

図で C_1 は電気容量 4.0 μF のコンデンサー，C_2 は同じく 8.0 μF のコンデンサー，S はスイッチ，E は電圧 3.0×10^2 V の直流電源である。はじめ C_1，C_2 に電荷はないとする。



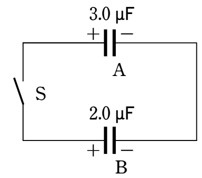
(1)　スイッチ S を A 側に倒し，C_2 を充電する。このとき，C_2 に蓄えられる電気量 Q_2〔C〕を求めよ。

(2)　次に，スイッチ S を B に切りかえた。C_1 の両端の電圧 V_1〔V〕を求めよ。

(3)　再びスイッチ S を A に切りかえ，充電した後 B に倒した。C_1 の電圧 V_2〔V〕を求めよ。

61 コンデンサーの接続と静電エネルギー

電気容量が 3.0 μF と 2.0 μF の 2 つのコンデンサー A，B を，それぞれ 2.0×10^2 V と 1.0×10^2 V に充電し，図のようにつないだ。図中の S はスイッチである。次の各問いに答えよ。



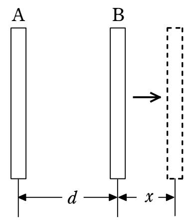
(1)　A，B それぞれのコンデンサーに蓄えられている電気量 Q_A，Q_B〔C〕を求めよ。

(2)　スイッチ S を閉じた後の A，B 両コンデンサーに加わる電圧 V〔V〕を求めよ。

(3)　A，B 両コンデンサーに蓄えられているエネルギーの総量は，スイッチ S を閉じる前後でどのように変化するか。

62 コンデンサーの極板間の引力

面積 S の平面極板 A，B が間隔 d で平行に保持された平行平板コンデンサーがある。極板 A，B に充電された電気量が $+Q$，$-Q$ のとき，真空の誘電率を ε_0 として以下の問いに答えよ。



(1)　この平行平板コンデンサーの電気容量 C を求めよ。

(2)　極板 A，B 間の電位差 V を求めよ。

(3)　極板 A，B 間の電場の強さ E を求めよ。

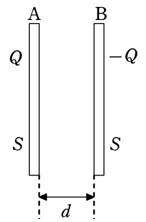
(4)　このコンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U を求めよ。

(5)　極板 B をわずかに移動して，極板 A，B 間の距離を x だけ増したときの静電エネルギーの変化 ΔU を求めよ。

(6)　極板 B をわずかに x だけ移動したときの外力のする仕事 W を求めよ。

(7)　$+Q$，$-Q$ に帯電した極板 A，B 間の引力 F を求めよ。

63 電気力線と平行板コンデンサー

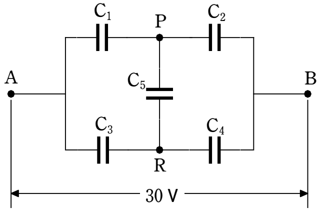


一般に，正の電気量 q の電荷からは，k を静電気力に関するクーロンの法則の比例定数として $4\pi kq$ 本の電気力線が出ている。また，負の電気量 $-q$ の電荷には $4\pi kq$ 本の電気力線が入りこむ。さらに電場の強さは，単位面積を垂直に貫く電気力線の本数に等しい。次の文中の $\boxed{}$ を正しく埋めよ。

今，面積 S の金属板Aに電荷 Q ($Q>0$) を帯電させた。電荷 Q が十分広い平面に一様に分布しているとすると，Aの両面からは一様に電気力線が出ているので，片面から出る電気力線の本数は $\boxed{\text{ア}}$ 本である。したがって，Aがつくる一様な電場の強さ E_A は，$E_A=\boxed{\text{イ}}$ で与えられる。同様にして，Aと同じ形の金属板Bに電荷 $-Q$ を帯電させ，図のようにAとBを距離 d だけ離して平行板コンデンサーを作った。このコンデンサーは，AとBによってできる電場を重ねあわせた電場をつくると考えられる。したがって，コンデンサーの極板間の電場の強さ E は $E=\boxed{\text{ウ}}$，両極板の外では $E=\boxed{\text{エ}}$ となる。また，極板間の電位差 V は E と d を用いて $V=\boxed{\text{オ}}$ で与えられるので，$\boxed{\text{ウ}}$ を用いるとこのコンデンサーの電気容量 C は $C=\boxed{\text{カ}}$ となる。

ヒント　コンデンサーの極板間の電場は，２枚の極板が単独でつくる電場の重ねあわせである。

64 合成容量



5個のコンデンサー C_1～C_5 を用いて右図の回路を作る。各々の電気容量は $C_1=C_4=1\ \mu F$，$C_2=C_3=2\ \mu F$，$C_5=3\ \mu F$ である。

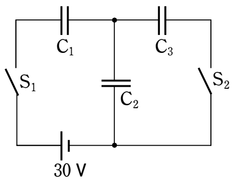
A，B間に30 Vの電位差を与えたとき，

(1)　各コンデンサーが蓄える電気量 Q_1～Q_5〔μC〕を求めよ。

(2)　A，B間の合成容量 C〔μF〕を求めよ。

ヒント　対称的な回路なので，蓄えられる電荷も対称的になる。

65 コンデンサーの接続



コンデンサー C_1，C_2，C_3 と起電力30 Vの電池，スイッチ S_1，S_2 からなる図のような回路がある。電気容量は $C_1=1.0\ \mu F$，$C_2=2.0\ \mu F$，$C_3=3.0\ \mu F$ である。

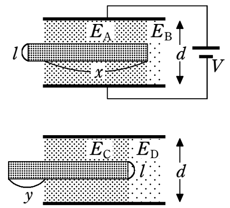
(1)　まず，S_1 を閉じ，十分時間がたった。このとき，C_1 に蓄えられる電気量 Q_1〔C〕を求めよ。

(2)　続いて，S_1 を開いてから S_2 を閉じ，十分時間がたった。C_2 に蓄えられる電気量 Q_2〔C〕を求めよ。

(3)　最後に，S_2 を開いてから S_1 を閉じ，十分時間がたった。C_1 に蓄えられる電気量 Q_1'〔C〕を求めよ。

ヒント　回路の孤立した部分では，電気量の総和は変わらない。

66 平行板コンデンサーに金属板挿入



一辺 a の正方形の極板２枚を距離 d だけ離した平行板コンデンサーがある。これに極板と同じ大きさで厚さが l の金属板を両極板の真ん中に，平行に距離 x だけ差しこむと(金属板の縁は極板と平行ではみ出さない)，全体の電気容量は $\boxed{\text{1}}$ となる。ただし真空の誘電率は ε_0 とする。このコンデンサーを図のように電圧 V の電池に接続する。このとき金属板が差しこまれた領域での電場の強さ E_A は $\boxed{\text{2}}$ であり，差しこまれていない領域の電場の強さ E_B は $\boxed{\text{3}}$ である。金属板を完全に差しこむと極板に蓄えられる電気量は $\boxed{\text{4}}$ となる。次に電池を取り外して金属板を y だけ引き出すと，金属板が差しこまれた領域での電場の強さ E_C は $\boxed{\text{5}}$ となり，差しこまれていない領域の電場の強さ E_D は $\boxed{\text{6}}$ となる。

ヒント　金属板が挿入された部分と挿入されていない部分との並列接続とみなすことができる。

67 コンデンサーと仕事

次の $\boxed{}$ に適当な数式を入れよ。

図１のように，真空中に２枚の正方形の極板を置いて平行板コンデンサーを作った。極板の１辺の長さを a〔m〕，極板間隔を d〔m〕，真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。

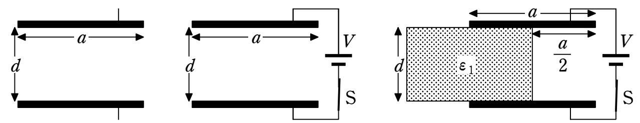


図１　図２　図３

このコンデンサーの電気容量は $C=\boxed{\text{ア}}$〔F〕である。

図２のように，このコンデンサーに V〔V〕の電圧を加えた。このときにコンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは $U=\boxed{\text{イ}}$〔J〕である。

図２の回路で，スイッチSを切り，上の極板をゆっくり引き上げ，極板間隔を d_1〔m〕とした($d_1>d$)。このときの静電エネルギーを U_1〔J〕とすると，$\varDelta U_1=U_1-U$ は，$\boxed{\text{ウ}}$〔J〕となる。

一方，図２の回路で，スイッチSを入れたまま，上の極板をゆっくり引き上げ，極板間隔を d_2〔m〕とした($d_2>d$)。このときの静電エネルギーを U_2〔J〕とすると，$\varDelta U_2=U_2-U$ は，$\boxed{\text{エ}}$〔J〕となる。

図３のように，極板間の空間と同じ大きさの誘電体(誘電率 ε_1〔F/m〕)を用意し，スイッチSを入れた状態で，誘電体をゆっくり入れた。誘電体を半分入れたときの静電エネルギーは $U_3=\boxed{\text{オ}}$〔J〕となる。このときに誘電体は，引きこまれる向きの力を受ける。その力の大きさ F〔N〕は，誘電体を動かすのに必要な仕事から求めることができ，$F=\boxed{\text{カ}}$〔N〕となる。

ヒント　充電後にスイッチを開き，外力を加えて電気容量を変える操作(極板間隔を広げる，誘電体を引き抜くなど)をすると，外力がした仕事分だけ静電エネルギーが変化する。

68 平行板コンデンサーの電場

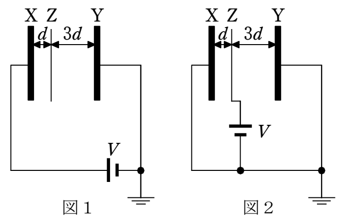


図１　図２

極板X，Yからなる電気容量 C の平行板コンデンサーがある。極板間隔は $4d$ で，Xから距離 d の位置に，極板に平行に，極板と同形の十分薄い金属板Zを挿入した。次に，電圧 V の電池を図１，図２のように接続した。なお，電池の負極は電位が0である。

(1)　図１の回路で，次の値を求めよ。

(a)　Xの電位 V_X　(b)　Zの電位 V_Z　(c)　XとZ間の電場の強さ E_1

(d)　XとZがつくる平行板コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー U_1

(2)　図２の回路で，次の値を求めよ。

(a)　XとZ間の電場の強さ E_1'

(b)　ZとY間の電場の強さ E_2'

(c)　Z上に蓄えられる電気量 Q_Z

ヒント　XとZおよびZとYがつくるコンデンサーは，図１では直列接続，図２では並列接続。

69 誘電体を挿入したコンデンサーの電場

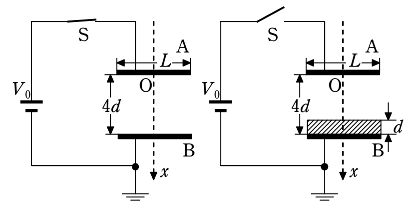


図１　図２

図１のように，１辺が L〔m〕の正方形の極板A，Bからなる平行板コンデンサー，電圧 V_0〔V〕の電池，スイッチSからなる回路がある。A，Bの間隔 $4d$〔m〕は L よりも十分小さい。Aの中心を原点Oとし，Aに垂直にBに向かって x 軸をとる。Bの電位を0 V，真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。

まず，極板間が真空で，Sが閉じている場合を考える。

(1)　コンデンサーの電気容量 C_0〔F〕を求めよ。

(2)　x 軸にそった電場 E〔V/m〕および電位 V〔V〕の変化を，それぞれグラフにかけ。

次に，図２のように，Sを開いてから，１辺が L〔m〕の正方形で厚さ d〔m〕の誘電体(比誘電率３)をBの上に置いた。

(3)　図２の回路で，次の値を求めよ。

(a)　コンデンサーの電気容量 C〔F〕

(b)　Aの電位 V_A〔V〕

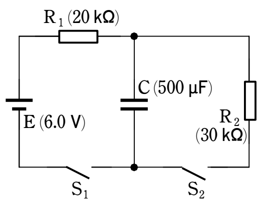
(c)　$x=3d$ における電位 V_x〔V〕

(4)　x 軸にそった電場 E〔V/m〕および電位 V〔V〕の変化を，それぞれグラフにかけ。

ヒント　誘電体を入れたコンデンサーの電気容量は，誘電体部分と真空部分の容量の合成容量となる。また，図２のとき誘電体内の電場は外部(真空中)の電場の $\frac{1}{\varepsilon_r}$ 倍(ε_r は比誘電率)になる。

70 コンデンサーを含む回路

図のように，内部抵抗が無視できる電池 E，電荷のないコンデンサー C，抵抗 R_1，R_2，スイッチ S_1，S_2 を接続する。はじめ，S_1，S_2 は開いている。



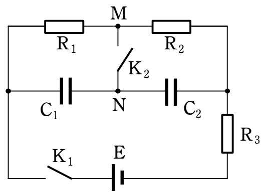
(1)　S_1 を閉じた瞬間に，R_1 に流れる電流 I_1〔mA〕を求めよ。

(2)　次に，十分時間がたった後，S_1 を開き，S_2 を閉じた瞬間に，R_2 に流れる電流 I_2〔mA〕を求めよ。

(3)　再び，S_1 も閉じて，十分時間がたった後，R_2 に流れる電流 I_2'〔mA〕とコンデンサー C に蓄えられる電気量 Q〔C〕を求めよ。

71 コンデンサーを含む回路

図の回路で，R_1，R_2，R_3 はそれぞれ抵抗値 200 Ω，300 Ω，100 Ω の抵抗，C_1，C_2 はそれぞれ電気容量 4.0 μF，1.0 μF のコンデンサー，E は起電力 12 V の内部抵抗が無視できる電池，K_1，K_2 はスイッチである。C_1，C_2 は，はじめ電荷をもっていないものとする。



(1)　K_1 だけを閉じた瞬間，R_3 に流れる電流を求めよ。

(2)　K_1 だけを閉じて時間が十分経過した。C_1，C_2 に蓄えられている電気量を求めよ。

(3)　次に，K_1 を閉じたまま K_2 を閉じて時間が十分経過した。C_1，C_2 に蓄えられている電気量を求めよ。

(4)　(3) において，C_1，C_2 に電荷が蓄えられるまでに K_2 を通って移動した電荷を求めよ。

(5)　(4) において，電流は M から N へ流れたか。または N から M へ流れたか。

ヒント　(4),(5)　K_2 を閉じる前後で，C_1 と C_2 の N 側の極板に蓄えられる電荷の和の変化が，K_2 を通って移動した電荷である。