順天堂大学
一般

22 B

理　　　科

理科は 物　理 化　学 生　物 のうち２科目を選択受験のこと。

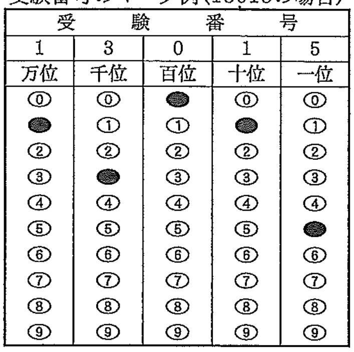
物　理 …… １頁　化　学 ……14 頁　生　物 ……28 頁

解答はマークシート及び解答用紙に記入すること。

〔注　意　事　項〕

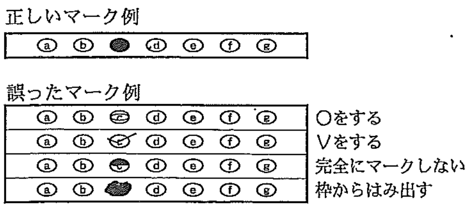
1. 監督者の指示があるまでは，この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは，コンピュータで処理するので，折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに，氏名・受験番号を記入し，科目選択・受験番号をマークする。マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例(13015の場合)



4. マークシートにマークするときは，HB またはＢの黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には，消しゴムで丁寧(ていねい)に消し，消しくずを完全に取り除いたうえで，新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い，正しくマークすること。

(例えばｃと答えたいとき)



6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが，科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答用紙は所定の位置に記入すること。

物　　理

I　以下の問題(**第1問～第3問**)の答えをマークシートに記せ。

第1問　次の問い(問1～問5)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 8\ }$〕

問1　自然の長さ ℓ，ばね定数 k_A，k_B のばねA，Bをつなぎ，図1のようになめらかな床の上に置く。この二つのばねを長さ h まで伸ばせば，ばねAの自然の長さからの伸びはいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。$\boxed{\ 1\ }$

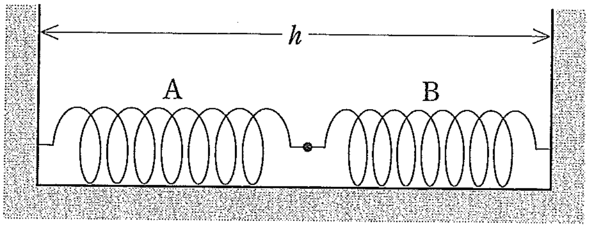


図1

① $\dfrac{k_A h}{2k_B}$　　② $\dfrac{k_B h}{2k_A}$　　③ $\dfrac{k_A(h-2\ell)}{2k_B}$

④ $\dfrac{k_B(h-2\ell)}{2k_A}$　　⑤ $\dfrac{k_A(h-2\ell)}{k_A+k_B}$　　⑥ $\dfrac{k_B(h-2\ell)}{k_A+k_B}$

⑦ $\dfrac{k_A(h-\ell)+k_B\ell}{k_A+k_B}$　　⑧ $\dfrac{k_B(h-\ell)+k_A\ell}{k_A+k_B}$

問 2　図 2 のように，傾きの角が θ のあらい斜面の上に質量 m，斜面との動摩擦係数 μ' の物体がある。物体に軽くて伸びない糸を付け，頂点に固定した軽い滑車に通し，糸の端に質量 M のおもりをつるす。重力加速度の大きさを g として，下の問い((a)，(b))に答えよ。

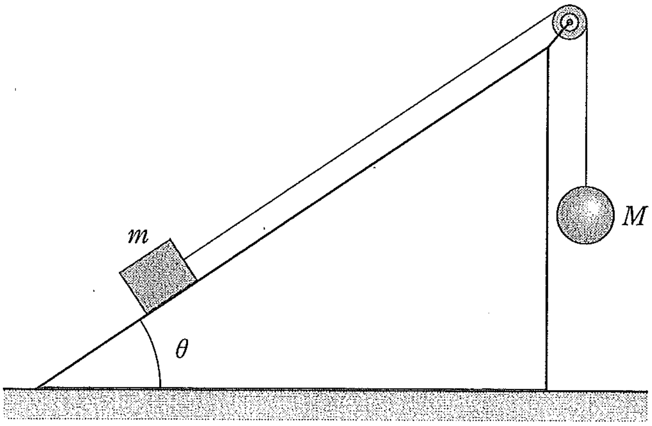


図 2

(a)　質量 M のおもりを静かにはなしたところ，おもりは下降をはじめた。おもりの加速度の大きさはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$

① $\dfrac{M - m(\sin\theta + \mu'\cos\theta)}{M - m}g$　　② $\dfrac{M - m(\sin\theta - \mu'\cos\theta)}{M - m}g$

③ $\dfrac{M - m(\cos\theta + \mu'\sin\theta)}{M - m}g$　　④ $\dfrac{M - m(\cos\theta - \mu'\sin\theta)}{M - m}g$

⑤ $\dfrac{M - m(\sin\theta + \mu'\cos\theta)}{M + m}g$　　⑥ $\dfrac{M - m(\sin\theta - \mu'\cos\theta)}{M + m}g$

⑦ $\dfrac{M - m(\cos\theta + \mu'\sin\theta)}{M + m}g$　　⑧ $\dfrac{M - m(\cos\theta - \mu'\sin\theta)}{M + m}g$

(b) このとき，糸の張力はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 3\ }$

① $\dfrac{mM(\sin\theta+\mu'\cos\theta-1)}{M-m}g$　② $\dfrac{mM(\sin\theta-\mu'\cos\theta-1)}{M-m}g$

③ $\dfrac{mM(\cos\theta+\mu'\sin\theta-1)}{M-m}g$　④ $\dfrac{mM(\cos\theta-\mu'\sin\theta-1)}{M-m}g$

⑤ $\dfrac{mM(1+\sin\theta+\mu'\cos\theta)}{M+m}g$　⑥ $\dfrac{mM(1+\sin\theta-\mu'\cos\theta)}{M+m}g$

⑦ $\dfrac{mM(1-\cos\theta-\mu'\sin\theta)}{M+m}g$　⑧ $\dfrac{mM(1-\cos\theta+\mu'\sin\theta)}{M+m}g$

問 3 長さが L で両端の開いた管がある(図3)。この管に息を吹きこんで開管として鳴らすときの，音の基本振動数はいくらか。また，この管の一端を手でふさいだ場合に，息を吹きこんで閉管として鳴らすときの，音の基本振動数はいくらか。正しいものを，下の①～⑩のうちから一つずつ選べ。ただし，音速を V とし，開口端に定常波の腹ができるときには，腹の位置の管口からのずれは無視できるとする。

開管として鳴らすときの基本振動数は $\boxed{\ 4\ }$

閉管として鳴らすときの基本振動数は $\boxed{\ 5\ }$

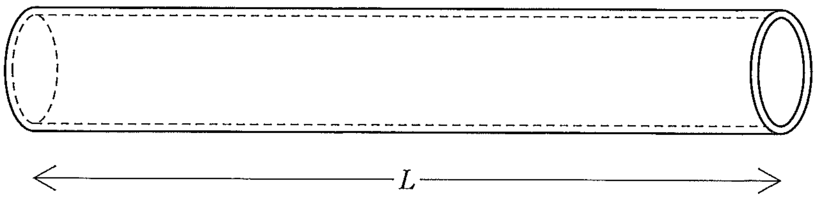


図3

① $\dfrac{V}{8L}$　② $\dfrac{V}{4L}$　③ $\dfrac{3V}{8L}$　④ $\dfrac{V}{2L}$　⑤ $\dfrac{5V}{8L}$

⑥ $\dfrac{3V}{4L}$　⑦ $\dfrac{V}{L}$　⑧ $\dfrac{9V}{8L}$　⑨ $\dfrac{5V}{4L}$　⑩ $\dfrac{3V}{2L}$

問 4　図4のように，回折格子に入射角 ϕ で単色光を入射させる。この光の波長を λ，回折格子のスリットの間隔(格子定数)を d，回折した光が強め合って明線をつくるときの角度を θ とするとき，どのような式が成り立つか。正しいものを，下の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，$m = 0,\ \pm 1,\ \pm 2, \cdots$ とする。また，ϕ および θ は，回折格子の面に垂直に立てた法線の方向と，入射方向および回折光の方向とのなす角を図4のように測ったものを表し，$0^\circ \leqq \phi < 90^\circ$，$0^\circ \leqq \theta < 90^\circ$ の場合を考えるものとする。

$\boxed{\ 6\ }$

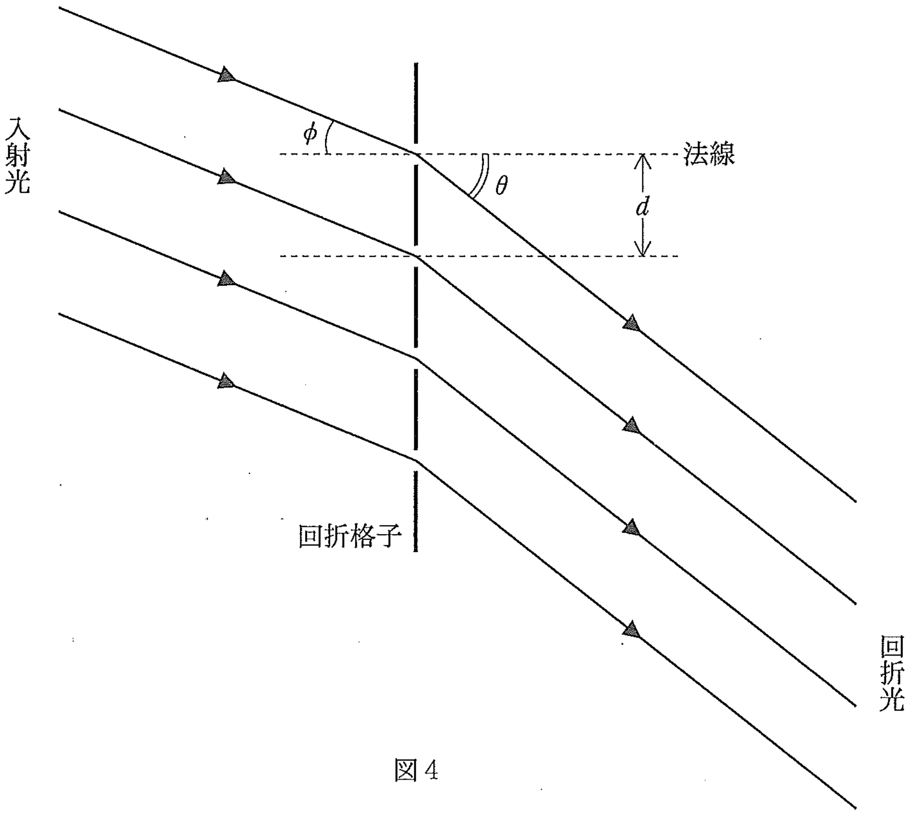


図4

① $\cos\theta + \cos\phi = \dfrac{md}{\lambda}$　　② $\cos\theta - \cos\phi = \dfrac{md}{\lambda}$

③ $\sin\theta + \sin\phi = \dfrac{md}{\lambda}$　　④ $\sin\theta - \sin\phi = \dfrac{md}{\lambda}$

⑤ $\cos\theta + \cos\phi = \dfrac{m\lambda}{d}$　　⑥ $\cos\theta - \cos\phi = \dfrac{m\lambda}{d}$

⑦ $\sin\theta + \sin\phi = \dfrac{m\lambda}{d}$　　⑧ $\sin\theta - \sin\phi = \dfrac{m\lambda}{d}$

問 5　電界と磁界の中の電子の運動について，次の問い((a)，(b))に答えよ。ただし，電子の質量を m，電荷を $-e$ ($e>0$)とする。

(a)　静止していた電子を電位差 V で加速すると，電子の速さ v はいくらになるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$v = \boxed{\quad 7 \quad}$

① $\sqrt{\dfrac{eV}{2m}}$　　② $\sqrt{\dfrac{eV}{m}}$　　③ $\sqrt{\dfrac{2eV}{m}}$

④ $\dfrac{eV}{2m}$　　⑤ $\dfrac{eV}{m}$　　⑥ $\dfrac{2eV}{m}$

(b)　前問(a)の速さ v で直線運動している電子に，速度に垂直な向きに一様な磁束密度 B の磁界をかけると，電子は等速円運動をする。この円運動の半径を R とすると，電子の電荷の大きさと質量の比 $\dfrac{e}{m}$ を，V，B，R で表すことができる。$\dfrac{e}{m}$ を表す式として，正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$\dfrac{e}{m} = \boxed{\quad 8 \quad}$

① $\dfrac{V}{2BR}$　　② $\dfrac{V}{BR}$　　③ $\dfrac{2V}{BR}$

④ $\dfrac{V}{2B^2R^2}$　　⑤ $\dfrac{V}{B^2R^2}$　　⑥ $\dfrac{2V}{B^2R^2}$

第2問　静止衛星は，赤道上空を地球の自転と同じ向きに，同じ周期で等速円運動している人工衛星であり，この軌道を静止軌道という。人工衛星を図1の半径 r の静止軌道に乗せるには，地表よりロケットによって，はじめに図1の半径 r_0 の円軌道に打ち上げる。次に，この円軌道上のA点で加速して，地球の中心から最も離れたB点までの距離が r となる楕円軌道に移行させる。さらにB点で円運動になるように加速すれば，静止軌道に乗せることができる。地球の質量を M，万有引力定数を G として，下の問い(**問1～問6**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$〕

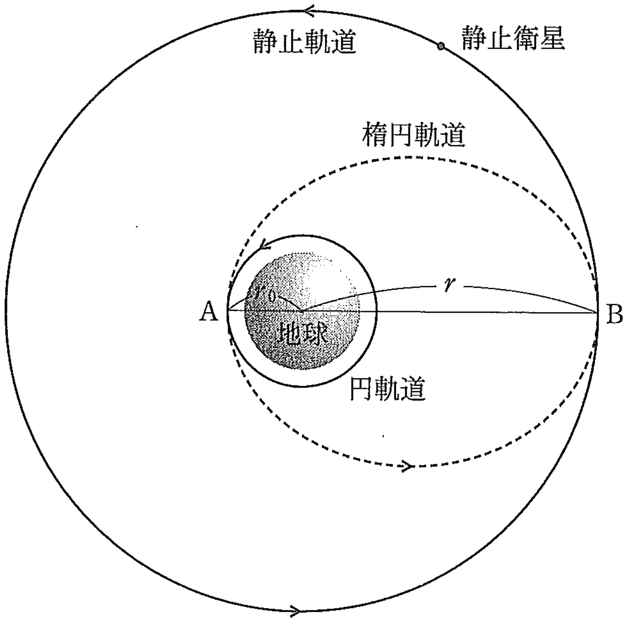


図1

問1　半径 r_0 の円軌道を運行している人工衛星の速さ v_0 はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$v_0 = \boxed{1}$

① $\sqrt{\dfrac{GM}{r_0}}$　　② $\sqrt{\dfrac{2GM}{r_0}}$　　③ $\dfrac{\sqrt{GM}}{r_0}$

④ $\dfrac{\sqrt{2GM}}{r_0}$　　⑤ $\sqrt{\dfrac{GM}{r_0^3}}$　　⑥ $\sqrt{\dfrac{2GM}{r_0^3}}$

問 2　この人工衛星の質量を m とすると，人工衛星のもっている力学的エネルギーはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，無限遠点での位置エネルギーを 0 とする。 $\boxed{\quad 2 \quad}$

① $-\dfrac{GmM}{2r_0}$　② $-\dfrac{GmM}{r_0}$　③ $-\dfrac{3GmM}{2r_0}$　④ $-\dfrac{2GmM}{r_0}$

⑤ $-\dfrac{GmM}{2r_0^2}$　⑥ $-\dfrac{GmM}{r_0^2}$　⑦ $-\dfrac{3GmM}{2r_0^2}$　⑧ $-\dfrac{2GmM}{r_0^2}$

問 3　速さ v_0，半径 r_0 で円軌道を運行していた人工衛星が，A 点で質量 Δm の燃料を進行方向と反対向きに瞬間的に噴射させた。噴射した燃料の速さは，噴射直後の衛星から見て V とする。噴射直後の人工衛星の速さはいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 3 \quad}$

① $v_0 + V$　② $v_0 + \dfrac{\Delta mV}{m}$　③ $\dfrac{m(v_0 + V)}{m - \Delta m}$

④ $v_0 + \dfrac{\Delta mV}{m - \Delta m}$　⑤ $\dfrac{mv_0 - \Delta mV}{m - \Delta m}$　⑥ $\dfrac{mv_0 + \Delta mV}{m - \Delta m}$

問 4　この噴射後，人工衛星は面積速度一定の法則にしたがって楕円軌道を運行する。楕円軌道上での人工衛星の速さを A 点で v_1，B 点で v とすると，v_1 は v，r_0，r を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$v_1 = \boxed{\quad 4 \quad}$

① $v\sqrt[3]{\dfrac{r}{r_0}}$　② $v\sqrt[3]{\dfrac{r_0}{r}}$　③ $v\sqrt[3]{\dfrac{r^2}{r_0^2}}$　④ $v\sqrt[3]{\dfrac{r_0^2}{r^2}}$

⑤ $v\sqrt{\dfrac{r}{r_0}}$　⑥ $v\sqrt{\dfrac{r_0}{r}}$　⑦ $v\dfrac{r}{r_0}$　⑧ $v\dfrac{r_0}{r}$

問 5　B点での速さ v は G, M, r, r_0 を用いるとどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。

$v = \boxed{\ 5\ }$

① $\sqrt{\dfrac{GMr_0}{(r-r_0)r}}$　② $\sqrt{\dfrac{2GMr_0}{(r-r_0)r}}$　③ $\sqrt{\dfrac{GMr}{(r-r_0)r_0}}$

④ $\sqrt{\dfrac{2GMr}{(r-r_0)r_0}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{GMr_0}{(r+r_0)r}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{2GMr_0}{(r+r_0)r}}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{GMr}{(r+r_0)r_0}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{2GMr}{(r+r_0)r_0}}$

問 6　B点で再び燃料を進行方向と反対向きに噴射させ，人工衛星を楕円軌道から半径 r の静止軌道に移行させた。静止軌道の半径は地球の自転の周期 T を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑥のうちから一つ選べ。

$r = \boxed{\ 6\ }$

① $\sqrt{\dfrac{GMT}{\pi}}$　② $\sqrt{\dfrac{GMT}{2\pi}}$　③ $\sqrt{\dfrac{GMT}{4\pi}}$

④ $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{\pi^2}}$　⑤ $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{2\pi^2}}$　⑥ $\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{4\pi^2}}$

第3問　なめらかに動くピストンを備えた容器に理想気体を入れ，圧力 P_0，体積 V_0，絶対温度 T_0 のはじめの状態から出発して，状態を順次変化させる。気体定数を R とし，この理想気体の定積モル比熱を C_V として，次の問い(**問1～問5**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$〕

問1　まず，体積 V_0 を一定に保ちながら加熱したら，気体の圧力が aP_0 になった($a>1$)。この過程で気体が吸収した熱量は，P_0V_0 の何倍か。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$ 倍

① $\dfrac{a-1}{2}$　② $\dfrac{a}{2}$　③ $a-1$

④ a　⑤ $\dfrac{(a-1)C_V}{R}$　⑥ $\dfrac{aC_V}{R}$

⑦ $\dfrac{(a-1)(C_V+R)}{R}$　⑧ $\dfrac{a(C_V+R)}{R}$

問2　次に，**問1**の過程に引き続いて，圧力 aP_0 を一定に保ちながら加熱したら，体積が bV_0 になった($b>1$)。この過程で，気体が外部にした仕事と気体の内部エネルギーの増加は，それぞれ，P_0V_0 の何倍か。正しいものを，下の①～⑫のうちから一つずつ選べ。

気体が外部にした仕事は P_0V_0 の $\boxed{2}$ 倍

気体の内部エネルギーの増加は P_0V_0 の $\boxed{3}$ 倍

① $\dfrac{(a-1)(b-1)}{2}$　② $\dfrac{a(b-1)}{2}$

③ $\dfrac{(a-1)b}{2}$　④ $(a-1)(b-1)$

⑤ $a(b-1)$　⑥ $(a-1)b$

⑦ $\dfrac{(a-1)(b-1)C_V}{R}$　⑧ $\dfrac{a(b-1)C_V}{R}$

⑨ $\dfrac{(a-1)bC_V}{R}$　⑩ $\dfrac{(a-1)(b-1)(C_V+R)}{R}$

⑪ $\dfrac{a(b-1)(C_V+R)}{R}$　⑫ $\dfrac{(a-1)b(C_V+R)}{R}$

問 3　さらに，**問 2** の過程に引き続いて，熱の出入りがないようにして膨張(断熱膨張)させたら，絶対温度がはじめの温度 T_0 に等しくなった。この過程で気体が外部にした仕事は，P_0V_0 の何倍か。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 4 \quad}$ 倍

① $\dfrac{(a-1)(b-1)}{2}$　　② $\dfrac{ab-1}{2}$

③ $(a-1)(b-1)$　　④ $ab-1$

⑤ $\dfrac{(a-1)(b-1)C_V}{R}$　　⑥ $\dfrac{(ab-1)C_V}{R}$

⑦ $\dfrac{(a-1)(b-1)(C_V+R)}{R}$　　⑧ $\dfrac{(ab-1)(C_V+R)}{R}$

問 4　最後に，**問 3** の過程に引き続いて，温度 T_0 を一定に保ちながら圧縮し気体に cP_0V_0 の仕事をしたら $(c>0)$，気体は圧力が P_0，体積が V_0 となり，完全にはじめの状態にもどった。この過程で気体が吸収した熱量を q とすると，q はどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。

$q = \boxed{\quad 5 \quad}$

① $-\dfrac{c}{2}P_0V_0$　　② $(1-c)P_0V_0$　　③ $-cP_0V_0$

④ $-(c+\dfrac{C_V}{R})P_0V_0$　　⑤ $\dfrac{c}{2}P_0V_0$　　⑥ $(c-1)P_0V_0$

⑦ cP_0V_0　　⑧ $(c+\dfrac{C_V}{R})P_0V_0$

問 5 はじめの状態から出発して**問 1**～**問 4** の四つの過程を順次行い，はじめの状態にもどるのを１サイクルとする熱機関をつくると，この熱機関の効率 e は，

$$e = \frac{\boxed{\quad 2 \quad} + \boxed{\quad 4 \quad} - c}{\boxed{\quad 6 \quad}}$$

を計算して求めることができる。 $\boxed{\quad 6 \quad}$ を埋めるのに最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

① $a + b$

② $a + b - c$

③ $\dfrac{(ab - 1)(C_V + R)}{R}$

④ $\dfrac{(ab - a)(C_V + R)}{R}$

⑤ $(a - 1)(b - 1)\dfrac{C_V}{R} + ab - a$

⑥ $(ab - 1)\dfrac{C_V}{R} + ab - a$

⑦ $(ab - 1)\dfrac{C_V}{R} + ab - a - c$

⑧ $(ab - a)\dfrac{C_V}{R} + ab - 1 + c$

Ⅱ 次の問いに答えよ。解答用紙の所定の欄には，結果だけでなく考え方と途中の式も示せ。

同じ電気容量をもつ二つの平行板コンデンサーがある。それぞれの極板 AA′，BB′ の間には比誘電率 ε_r の誘電体がすきまなく入っている。この二つのコンデンサーを直列につなぎ，起電力 V の電池，可変抵抗，スイッチ S を接続して，図 1 のような回路をつくる。電池の内部抵抗は無視できるものとして，下の問い(**問 1** ～**問 5**)に答えよ。

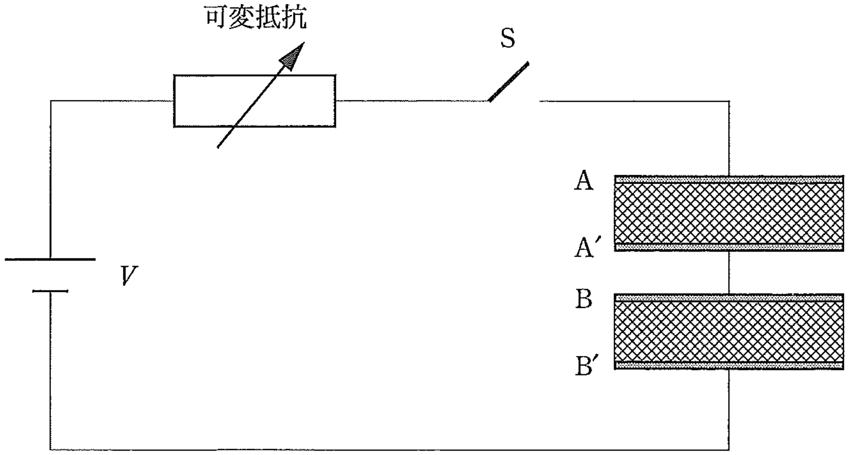


図 1

問 1 スイッチ S を閉じ，回路に電流を流し二つのコンデンサーを充電する。じゅうぶん時間がたち，コンデンサーの充電が終わり回路に電流が流れなくなったときの極板 A の電気量を Q_0 とする。図 1 の極板 AA′ を持つコンデンサーの電気容量は V と Q_0 を用いるとどのように表されるか。

問 2　はじめコンデンサーのすべての極板に電荷はなかった。スイッチSを閉じた瞬間を$t=0$にとり，極板Aの電荷Qが図2のように，tに比例して増加し，$t=T$に充電が終わったときの値Q_0になるように充電したい。このように充電するには，可変抵抗の抵抗値をどのように変化させればよいか。時刻t（$0 \leqq t \leqq T$）における可変抵抗の抵抗値Rをt，T，V，Q_0を用いて表せ。

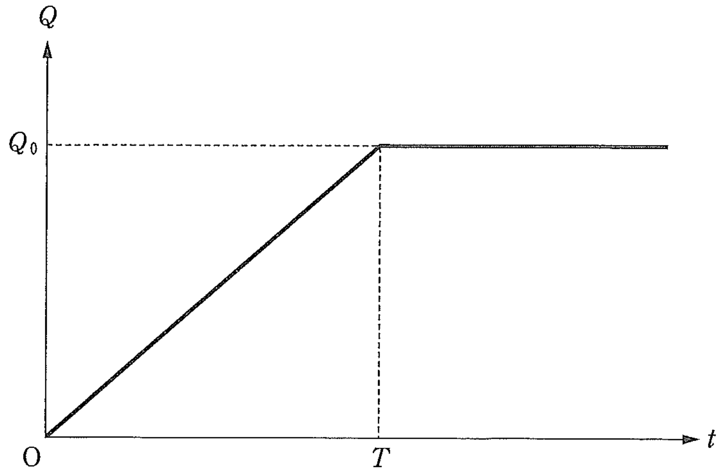


図2

問 3　時刻t（$0 \leqq t \leqq T$）に可変抵抗で消費される電力Pを表す式を求め，横軸にt，縦軸に消費電力Pをとりグラフをかけ。

問 4　コンデンサーを充電し終わるまでに，可変抵抗で発生したジュール熱はいくらか。

問 5　二つのコンデンサーの充電が終わった状態でスイッチSを開いて，極板AA′の間の誘電体はそのままにして，極板BB′の間からゆっくりと誘電体を引き抜いた。誘電体を完全に引き抜くのに必要な仕事はいくらか。ただし，誘電体と極板の間には摩擦がないものとする。