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 ……18頁　生 物 ……29頁

問題 Ⅰ はマークシート方式，Ⅱ は記述式である。

Ⅰ の解答はマークシートに，Ⅱ の解答は解答用紙に記入すること。

〔注 意 事 項〕

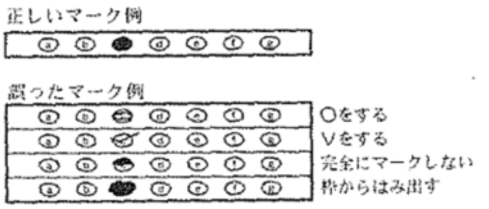
1. 監督者の指示があるまでは，この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは，コンピュータで処理するので，折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに，**氏名・受験番号を記入し，科目選択・受験番号をマークする。** マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例（13015の場合）

受験番号				
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
	⓪	●	⓪	⓪
●	①	①	●	①
②	②	②	②	②
③	●	③	③	③
④	④	④	④	④
⑤	⑤	⑤	⑤	●
⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

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6**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{10}$ 〕

問1　摩擦のない水平な床に静止した質量 m の小物体に，質量 $2m$ の小物体が速さ v で左から弾性衝突した(図1)。衝突後，質量 m の小物体は右方向へ運動し，水平な床になめらかにつながった摩擦のある斜面を上って，ある高さで速さが0になった。水平な床と斜面のなす角度は θ とする。重力加速度の大きさを g，斜面と小物体の間の動摩擦係数を μ として，下の問い((a)，(b))に答えよ。

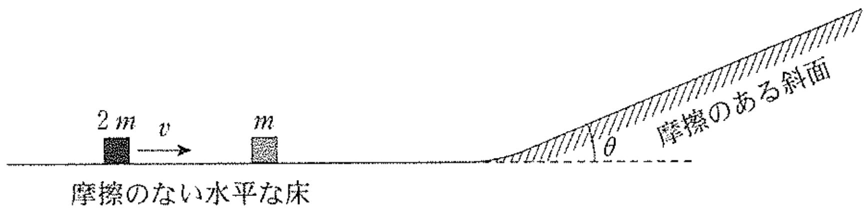


図1

(a)　衝突直後の質量 m の小物体の速さを u とする。u はいくらになるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$u = \boxed{1}$

①　$\frac{v}{3}$　　②　$\frac{v}{2}$　　③　$\frac{2v}{3}$　　④　v

⑤　$\frac{4v}{3}$　　⑥　$\frac{3v}{2}$　　⑦　$2v$　　⑧　$\frac{5v}{2}$

(b) 質量 m の小物体が，斜面を上って速さが0になるまでに，摩擦によって失った力学的エネルギーは，u 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。 $\boxed{\ 2\ }$

① $\dfrac{mu^2}{2}$　② $\dfrac{mu^2\mu}{2}$　③ $\dfrac{mu^2\mu}{2(1+\mu\sin\theta)}$

④ $\dfrac{mu^2\mu}{2(\mu+\sin\theta)}$　⑤ $\dfrac{mu^2\mu}{2(1+\mu\cos\theta)}$　⑥ $\dfrac{mu^2\mu}{2(\mu+\cos\theta)}$

⑦ $\dfrac{mu^2\mu}{2(1+\mu\tan\theta)}$　⑧ $\dfrac{mu^2\mu}{2(\mu+\tan\theta)}$

問 2 図2のように，断面積 $20\ \mathrm{cm}^2$ の円筒容器の底におもりを固定して，水と液体Aにまっすぐに浮かべる。液体Aに浮かべた場合は，水に浮かべた場合に比べて液面から上に出ている部分が $1.0\ \mathrm{cm}$ だけ長い。液体Aの密度はいくらか。最も近い値を，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，おもりを含めた円筒容器の全質量は $120\ \mathrm{g}$，水の密度は $1.0\ \mathrm{g/cm^3}$ とする。

$\boxed{\ 3\ }$ $\mathrm{g/cm^3}$

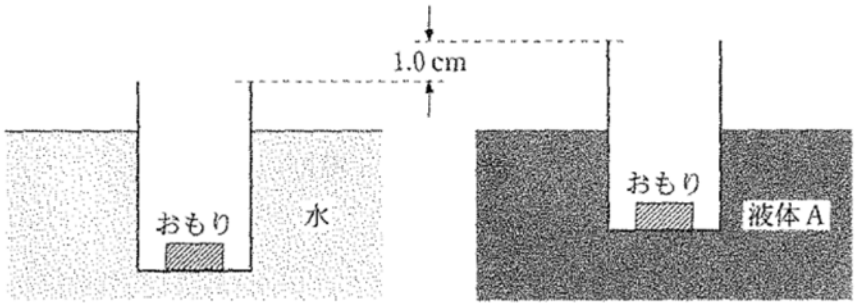


図2

① 1.1　② 1.2　③ 1.3　④ 1.4

⑤ 1.5　⑥ 1.6　⑦ 1.7　⑧ 1.8

問 3　図 3 には，x 軸の負の方向に毎秒 1 目盛進む正弦波が，原点にある反射面に入射する様子が描かれている。y 軸は正弦波の変位である。この正弦波が原点にある反射面に垂直に入射して全反射した後，反射波は x 軸の正の方向に進む。図 3 の瞬間から 10 秒後に観測される合成波は，次の場合それぞれどのようになるか。最も適当なものを，下の解答群の①～⑧のうちから一つずつ選べ。

正弦波が水面を伝わる波で，原点にある反射面が容器の壁であるときは $\boxed{\quad 4 \quad}$ となる。

正弦波が光の波で，原点にある反射面が金属面であるときは $\boxed{\quad 5 \quad}$ となる。

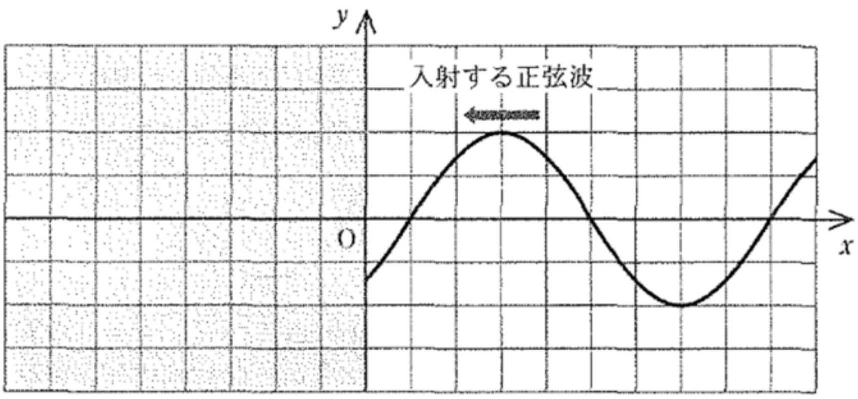
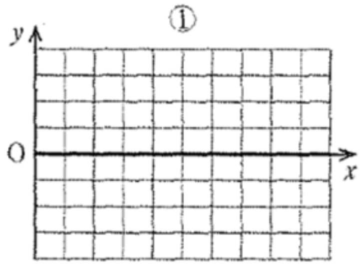


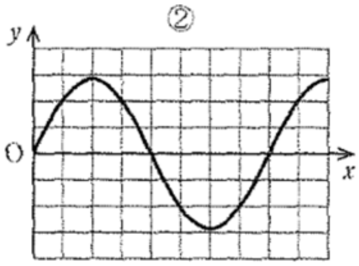
図 3

$\boxed{\quad 4 \quad}$ ・ $\boxed{\quad 5 \quad}$ の解答群

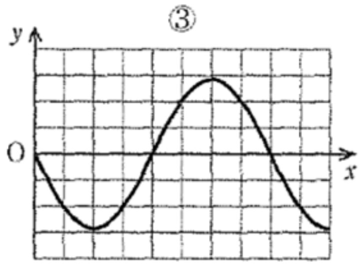
①



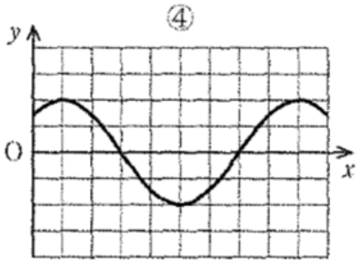
②



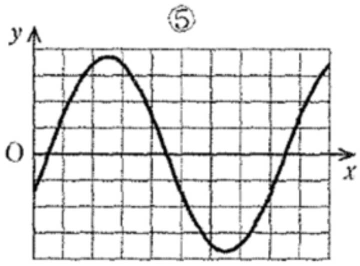
③



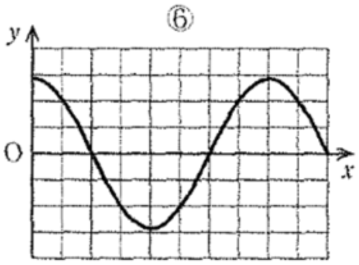
④



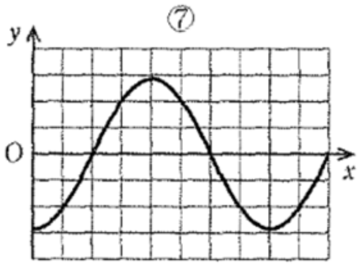
⑤



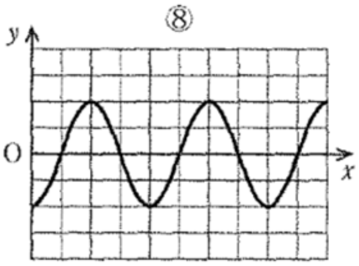
⑥



⑦



⑧



問 4　図4は，中心部が屈折率 n_1 の材質の円柱で，その周辺を中心部よりも小さい屈折率 n_2 の材質で囲んだ円柱形の光ファイバーである。図5はファイバーの中心軸に沿った断面である。図5のように，空気から円柱の中心軸に垂直な端面の中心に入射角 θ で入射し，中心部と周辺部の境界面で全反射して中心部を進む単色光を考える。入射角 θ で入射した光がこのように進むための中心部の屈折率 n_1 に対する条件は，

$$n_1 > \boxed{\quad 6 \quad}$$

である。$\boxed{\quad 6 \quad}$ に入るものとして正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，空気の屈折率は1とする。

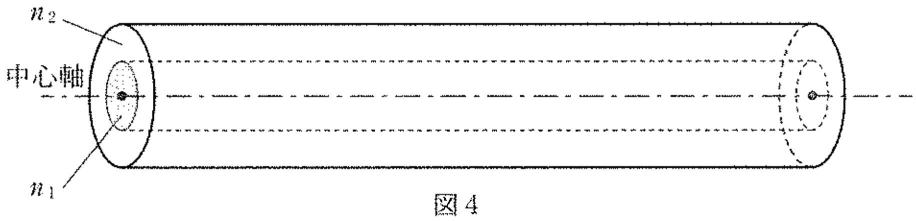


図4

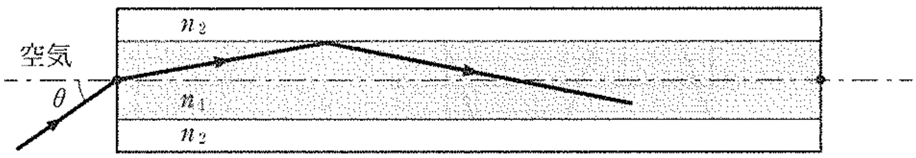


図5

① $\dfrac{n_2}{\sin\theta}$　　② $\dfrac{n_2}{\cos\theta}$　　③ $\sin\theta + n_2$

④ $\cos\theta + n_2$　　⑤ $\sqrt{\sin^2\theta + {n_2}^2}$　　⑥ $\sqrt{\cos^2\theta + {n_2}^2}$

⑦ $\dfrac{n_2}{\sqrt{1 + {n_2}^2\sin^2\theta}}$　　⑧ $\dfrac{n_2}{\sqrt{\cos^2\theta + {n_2}^2}}$

問 5 帯電体の周囲の空間に生じる電界と電位について，電気量 Q を正電荷とし，静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k として，次の問い（(a)～(c)）に答えよ。

(a) 電界の様子を電気力線で表すとき，電気力線に垂直にとった単位面積を貫く電気力線の本数を，その場所の電界の強さと等しくなるように定める。このとき，帯電体から出る電気力線の総本数は，帯電体に含まれる電荷の全電気量で決まり，帯電体の大きさや形によらない。全電気量が Q の帯電体から出る電気力線の総本数はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 7 \quad}$

① $\dfrac{Q}{4k}$　　② $\dfrac{Q}{2k}$　　③ $\dfrac{Q}{k}$

④ kQ　　⑤ $2kQ$　　⑥ $4kQ$

⑦ πkQ　　⑧ $2\pi kQ$　　⑨ $4\pi kQ$

(b) 無限に広い平面が一様に帯電しているとき，電気力線は平面から垂直に出ていき，この帯電体がつくる電界の強さ E は平面からの距離によらず一定である。この平面の面積 S あたりの電気量が Q であるように電荷が分布しているとき(図6参照)，帯電体の面積 S の部分から平面の上下に出ていく電気力線の総本数を考えて前問(a)の結果を用いると，電界の強さ E はいくらか。正しいものを，下の①～⑨のうちから一つ選べ。

$E =$ $\boxed{\quad 8 \quad}$

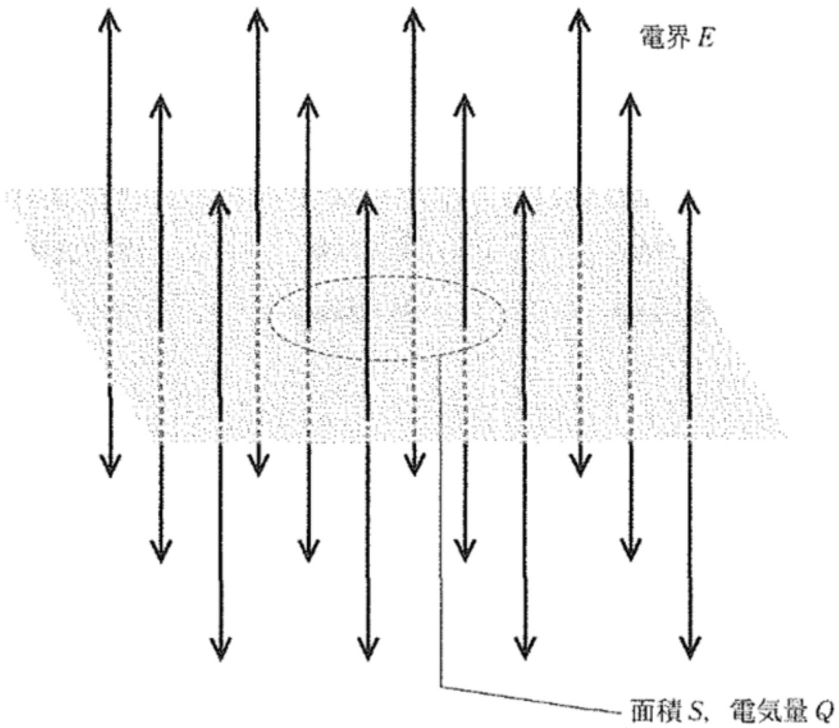


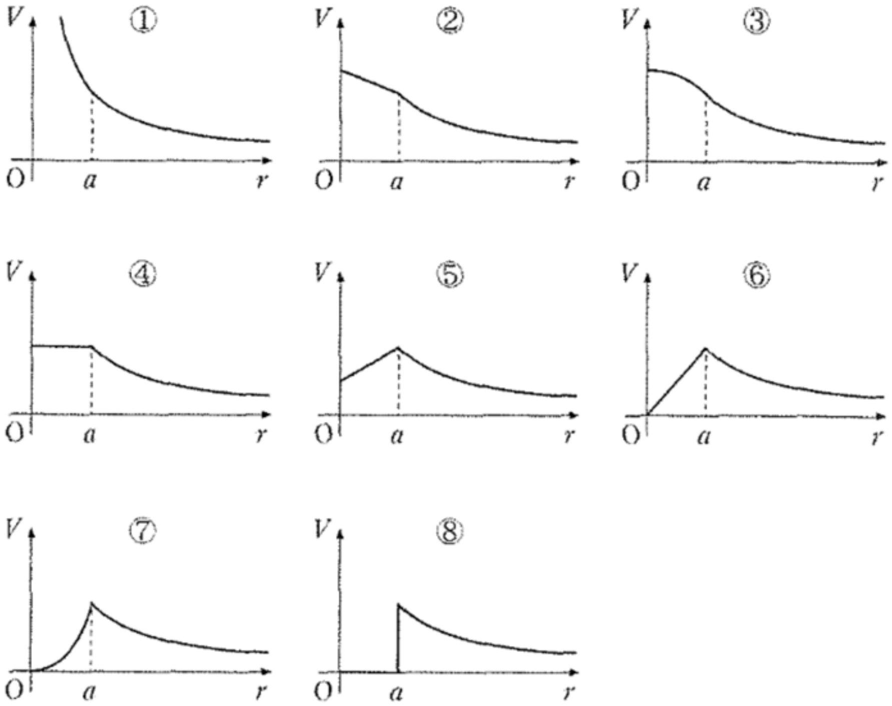
図6

① $\dfrac{Q}{S}$　② $\dfrac{2\,Q}{S}$　③ $\dfrac{4\,Q}{S}$

④ $\dfrac{\pi kQ}{S}$　⑤ $\dfrac{2\,\pi kQ}{S}$　⑥ $\dfrac{4\,\pi kQ}{S}$

⑦ $\dfrac{Q}{4\,kS}$　⑧ $\dfrac{Q}{2\,kS}$　⑨ $\dfrac{Q}{kS}$

(c) 半径 a の金属球に電気量 Q が蓄えられている。このとき，横軸に金属球の中心からの距離 r，縦軸に電位 V をとったグラフはどのように表されるか。最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{9}$



問 6 真空中で，静止していた電子(質量 9.1×10^{-31} kg，電荷 -1.6×10^{-19} C)を電位差 V_0 で加速してから，磁束密度 3×10^{-4} T の磁界に垂直に入射させる。この電子が磁界中で半径 5×10^{-2} m の円軌道を描いて運動するとき，電位差 V_0 はいくらか。最も近い値を，次の①～⑩のうちから一つ選べ。

$V_0 = \boxed{10}$ V

① 0.02	② 0.08	③ 0.2	④ 0.8	⑤ 2
⑥ 8	⑦ 20	⑧ 80	⑨ 200	⑩ 800

第２問　図１のように，鉛直上向きで磁束密度Bの一様な磁界の中に，２本の平行な導線 ab と cd が間隔ℓで水平面内に固定されている。質量mをもつ導体棒 pq には，ばね定数kの軽い絶縁体のばねの一端を取り付け，ばねの他端は壁に固定されている。ばねが伸び縮みすると，導体棒 pq は２本の平行な導線上を ab に対して直角を保ったままなめらかに動くものとする。２本の導線の b と d の間には，電気容量Cのコンデンサーとスイッチ S を図１のようにつないで回路をつくる。導線および導体棒の電気抵抗は無視できるものとし，回路を流れる電流によって図１の磁界は変化しないとする。ばねが自然の長さのときの導体棒 pq の位置を原点 O とし，図１のように，x軸を導線 ab，cd に平行にとる。このx軸の座標で導体棒 pq の位置を表すものとし，x軸の正の向きを速度，加速度および力の正の向きとして，下の問い（**問１～問４**）に答えよ。

〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$ 〕

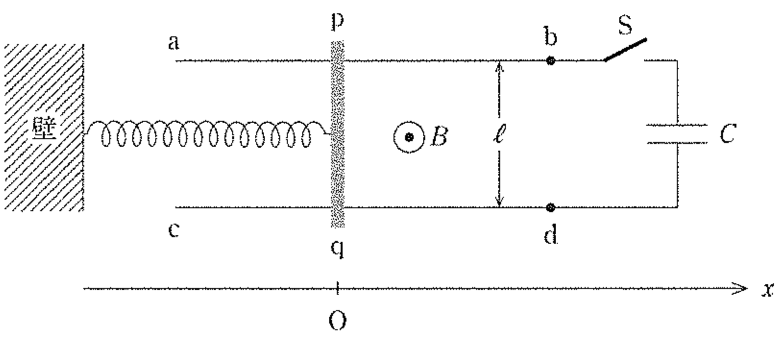


図１

問 1　導体棒 pq の x 座標が $-A\,(A>0)$ になるようにばねを押し縮めて静止させてから，スイッチ S を閉じる。このとき，コンデンサーの極板に電荷はないものとする。しずかに手を放すと導体棒 pq は動き出し回路に電流が流れる。導体棒が座標 x の位置にきたとき，p から q の向きに導体棒を流れる電流を I とすると(図 2 参照)，導体棒にはたらく x 軸方向の力の合力はいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，x 軸の正の向きを力の正の向きとする。 $\boxed{\ \ 1\ \ }$

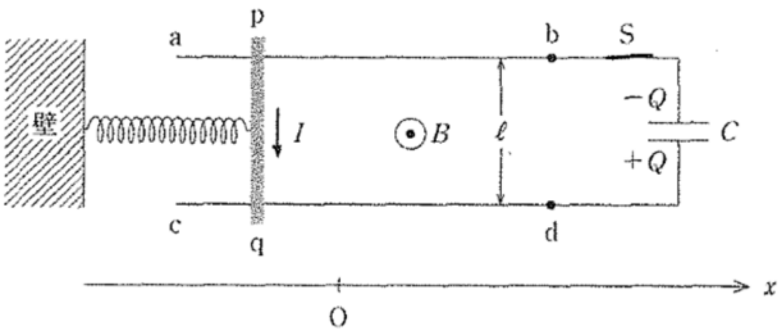


図 2

① $-kx-BI\ell$　　② $-kx+BI\ell$　　③ $-kx-BIx$

④ $-kx+BIx$　　⑤ $-kx-CBI\ell$　　⑥ $-kx+CBI\ell$

⑦ $-kx-CBIx$　　⑧ $-kx+CBIx$

問 2　図2のように，コンデンサーに蓄えられた電気量を Q（b 側の極板上の電荷を $-Q$，d 側の極板上の電荷を $+Q$）で表す。導体棒 pq が座標 x の位置にきたときの電気量 Q は，このときの導体棒の速度 v 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。ただし，x 軸の正の向きを速度の正の向きとする。

$Q = \boxed{\quad 2 \quad}$

① $CBv\ell$　② $\dfrac{Bv\ell}{C}$　③ $\dfrac{CB^2v^2\ell^2}{2}$　④ $\dfrac{B^2v^2\ell^2}{2C}$

⑤ $-CBv\ell$　⑥ $-\dfrac{Bv\ell}{C}$　⑦ $-\dfrac{CB^2v^2\ell^2}{2}$　⑧ $-\dfrac{B^2v^2\ell^2}{2C}$

問 3　電気量 Q の時間的変化の割合は導体棒 pq の加速度に比例することがわかり，この加速度は運動方程式で決まる。手を放してから導体棒が最初に原点 O を通過するまでの時間を t_0 とすると，t_0 はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$t_0 = \boxed{\quad 3 \quad}$

① $\sqrt{\dfrac{m}{k + CB^2\ell}}$　② $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m}{k + CB^2\ell}}$　③ $2\sqrt{\dfrac{m}{k + CB^2\ell}}$

④ $\pi\sqrt{\dfrac{m}{k + CB^2\ell}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{m + CB^2\ell^2}{k}}$　⑥ $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m + CB^2\ell^2}{k}}$

⑦ $2\sqrt{\dfrac{m + CB^2\ell^2}{k}}$　⑧ $\pi\sqrt{\dfrac{m + CB^2\ell^2}{k}}$

問 4　コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーと導体棒 pq がもつ運動エネルギーの和を U とすると，手を放してから時間 $\frac{4}{3}t_0$ が経過したときの U は，手を放す前の導体棒と原点 O との距離 A 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。

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

① $\frac{1}{8}kA^2$　　② $\frac{1}{4}kA^2$

③ $\frac{3}{8}kA^2$　　④ $\frac{1}{2}kA^2$

⑤ $\frac{1}{8}(k + CB^2\ell)A^2$　　⑥ $\frac{1}{4}(k + CB^2\ell)A^2$

⑦ $\frac{4m + CB^2\ell^2}{8(m + CB^2\ell^2)}kA^2$　　⑧ $\frac{3m + 4CB^2\ell^2}{8(m + CB^2\ell^2)}kA^2$

第3問　図1のように，全長が $2L$ で一定の断面積 S の容器が水平に固定されている。容器内の左の部屋は長さ L である。左の部屋と真ん中の部屋を仕切る壁には気体が通る穴があり，穴は小さな栓で閉じてある。真ん中と右の部屋は，容器の内壁に沿ってなめらかに移動する断面積 S のピストンで分けられている。真ん中の部屋には，温度 T_0 の単原子分子の理想気体が 1 mol 入っており，左と右の部屋は真空である。また，右の部屋では，自然長が L，ばね定数 k のばねの両端がピストンと壁に固定されている。容器，壁，栓，ピストンは薄い断熱材でつくられているとする。また，図1の状態で，ピストンは中央の壁から $\frac{L}{2}$ の距離で静止している。気体定数を R として，下の問い（**問1**～**問5**）に答えよ。

〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ 〕

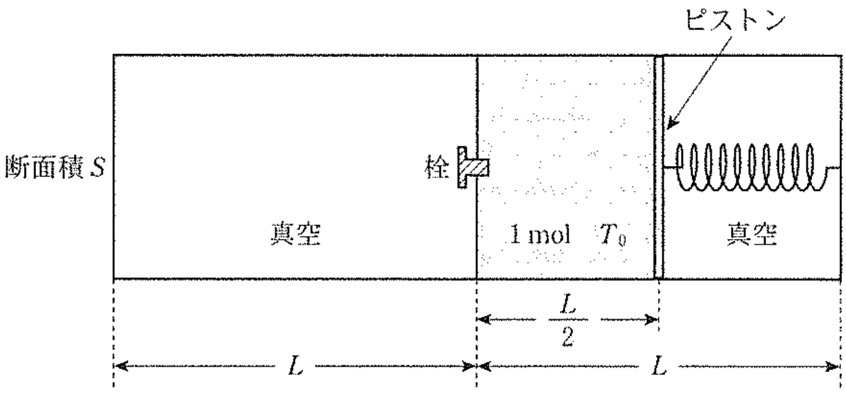


図1

問1　ピストンにはたらく力を考えると，T_0 と L に関係があることがわかる。この関係式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

① $RT_0 = \frac{1}{2}kL^2$　　② $RT_0 = \frac{1}{4}kL^2$　　③ $RT_0 = \frac{1}{8}kL^2$

④ $\frac{3}{2}RT_0 = \frac{1}{2}kL^2$　⑤ $\frac{3}{2}RT_0 = \frac{1}{4}kL^2$　⑥ $\frac{3}{2}RT_0 = \frac{1}{8}kL^2$

問 2　ばねの弾性エネルギーと理想気体の内部エネルギーの和を E_0 とする。E_0 は，温度 T_0 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。

$E_0 =$ $\boxed{\ 2\ }$

① $\dfrac{RT_0}{2}$　② RT_0　③ $\dfrac{3RT_0}{2}$　④ $2RT_0$

⑤ $\dfrac{5RT_0}{2}$　⑥ $3RT_0$　⑦ $\dfrac{7RT_0}{2}$　⑧ $4RT_0$

問 3　図1の中央の壁の栓を取りはずすと，理想気体は左の部屋に広がり，ピストンはゆっくりと動き始めた。しばらくすると，理想気体は左の部屋と真ん中の部屋に均一に広がり，ピストンは中央の壁から距離 x で静止した。このときの理想気体の温度は T であった(図2)。この状態におけるばねの弾性エネルギーと理想気体の内部エネルギーの和を E とする。E は，x を用いてどのように表されるか。正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。

$E =$ $\boxed{\ 3\ }$

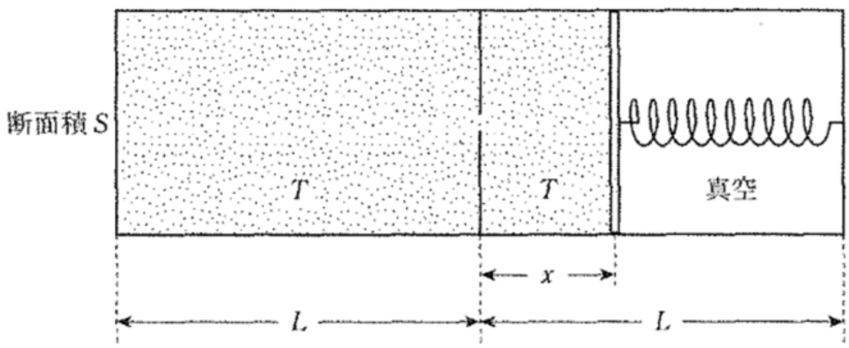


図 2

① $\dfrac{3}{2}kx^2$　② $\dfrac{3}{2}kx(x+L)$　③ $kx\left(x+\dfrac{L}{2}\right)$

④ $kx\left(x+\dfrac{3L}{4}\right)$　⑤ $2kx\left(x+\dfrac{L}{2}\right)$　⑥ $2kx\left(x+\dfrac{3L}{4}\right)$

問 4　図 2 の距離 x は，L 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。

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

① $\dfrac{L}{8}$　② $\dfrac{L}{6}$　③ $\dfrac{L}{4}$　④ $\dfrac{L}{3}$

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

問 5　図 2 の理想気体の温度 T として正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

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

① $\dfrac{9T_0}{16}$　② $\dfrac{3T_0}{5}$　③ $\dfrac{3T_0}{4}$　④ $\dfrac{7T_0}{9}$

⑤ T_0　⑥ $\dfrac{6T_0}{5}$　⑦ $\dfrac{5T_0}{4}$　⑧ $\dfrac{16T_0}{9}$

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。

質量 m の小球が，容器の内側のなめらかな面に沿って円運動を続けている場合を考える。重力加速度の大きさを g として，次の問い(**問 1**，**問 2**)に答えよ。

問 1　円筒形の容器があり，図 1 のように，小球が容器のなめらかな内面に沿って鉛直面内で半径 r の円運動をしている場合を考える。ある瞬間の小球の位置を P とする。円の中心を O，最下点を A として，OA と OP のなす角を θ とする。下の問い((a)〜(c))に答えよ。

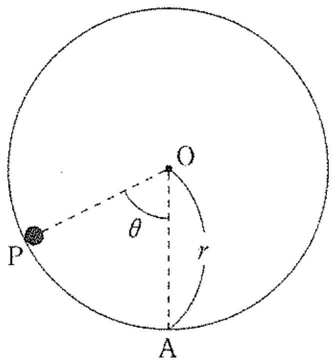


図 1

(a)　最下点 A における小球の速さが v_0 であるとき，点 P における小球の運動エネルギー K を θ，v_0，r，m，g を用いて表せ。

(b)　点 P において小球が面から受ける垂直抗力の大きさ N を θ，v_0，r，m，g を用いて表せ。

(c)　小球が内面から離れずに円運動を続けるための条件から，v_0 が満たす不等式を r，g を用いて表せ。

問 2 図 2 のような底が平らなおわん形の容器が水平に固定されており，小球が容器のなめらかな内面に沿って水平面内を等速円運動している場合を考える。ある瞬間の小球の位置を P とする。図 3 は容器の中心軸と点 P を含む断面図である。容器の断面は中心軸に対して左右対称であり，中心軸から距離 R の位置を A，B とする。中心軸は鉛直で，AB は中心軸に平行である。弧 AC は，点 B を中心とする半径 r の円の円周の $\frac{1}{4}$ の部分である。BA と BP のなす角を ϕ として，次の問い((a)〜(c))に答えよ。

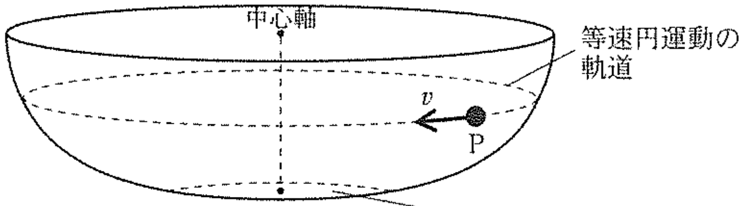


図 2

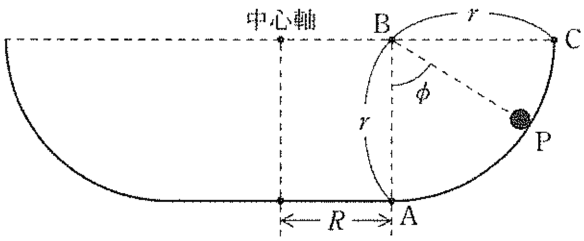


図 3

(a) 等速円運動の速さ v を ϕ，R，r，m，g のうちから適当なものを用いて表せ。

(b) 小球が面から受ける垂直抗力の大きさ N を ϕ，R，r，m，g のうちから適当なものを用いて表せ。

(c) 等速円運動の周期 T を ϕ，R，r，m，g のうちから適当なものを用いて表せ。