（前期日程）

令和４年度　理科　物理基礎・物理（物理）化学基礎・化学（化学）

科目の選択方法

教育学部の受験者	届け出た１科目を解答すること。
理学部の受験者	物理受験の者は，物理基礎・物理（物理）を解答すること。 化学受験の者は，化学基礎・化学（化学）を解答すること。
医学部の受験者	物理基礎・物理（物理）と，化学基礎・化学（化学）を解答すること。
工学部の受験者	届け出た１科目を解答すること。
農学部の受験者	届け出た１科目を解答すること。

注意事項

1　試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

2　出題科目およびページは，下表のとおりです。

出題科目	ページ
物理基礎・物理（物理）	１～13
化学基礎・化学（化学）	14～23

3　試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。

4　すべての解答用紙に受験番号を記入しなさい。

5　解答は，すべて解答用紙の指定のところに記入しなさい。

6　解答用紙はすべて机の上に出しておくこと。机の中に入れてはいけません。

物理基礎・物理（物理）

教育学部，理学部，工学部および農学部の受験者は，$\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$ を解答すること。

医学部の受験者は，$\boxed{1}$，$\boxed{2}$ を解答すること。

1 以下の設問に答えなさい。

問 1　図 1 のように，長さ ℓ の糸の一端を天井に取りつけ，他端に質量 m の小球 P をつるす。糸がたるまないようにして小球を持ち上げ，鉛直方向と角 θ（$0^\circ < \theta < 90^\circ$）をなす位置 A で小球を静かに放した。重力加速度の大きさを g として，以下の設問に答えなさい。なお，空気抵抗の影響と小球の大きさ，糸の質量は無視できるものとする。

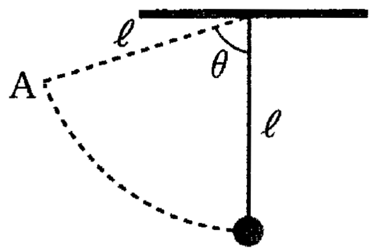

図 1

(1)　小球 P が最下点に達したときの速さ v_1 を求めなさい。なお，解答に使用できる記号は m，ℓ，θ，g とする。

(2)　最下点で小球 P が受ける糸の張力の大きさ T_1 を求めなさい。なお，解答に使用できる記号は m，ℓ，θ，g とする。

(3)　小球 P を，質量 $2m$ の小球 Q と交換して同じ操作をおこなった。小球 Q の大きさは無視できるものとして，小球 Q が最下点に達したときの速さ v_2 を v_1 を用いて表しなさい。

問 2　図 2 のように，図 1 の糸が取りつけられている点から鉛直下方 $\dfrac{\ell}{2}$ のところにある点 O に，十分に細いくぎが水平に固定してある。糸がたるまないようにして質量 m の小球 P を持ち上げ，鉛直方向と角 θ（$0^\circ < \theta < 90^\circ$）をなす位置 A で小球 P を静かに放した。重力加速度の大きさを g として，以下の設問に答えなさい。なお，空気抵抗の影響と小球の大きさ，糸の質量は無視でき，糸とくぎの間に摩擦はないものとする。また，くぎは小球 P が運動する平面に対して垂直方向に固定してあるものとする。

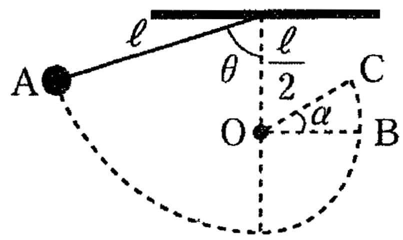

図 2

(4) 小球Pが最下点に達した直後の糸の張力の大きさT_2を求めなさい。なお，解答に使用できる記号はm，ℓ，θ，gとする。

(5) $\theta = \theta_0$において小球Pを静かに放したところ，小球Pは点Oと同じ高さにある点Bまで，ちょうど達した。θ_0を求めなさい。

(6) $\theta > \theta_0$において小球Pを静かに放したところ，点Cに達したとき，はじめて糸がたるんだ。$\angle BOC = \alpha$として$\sin\alpha$を求めなさい。なお，解答に使用できる記号はm，ℓ，θ，gとする。

問3 図3のように，水平でなめらかな床に質量Mの箱Rをおき，質量mの小球Pが長さℓの糸で箱の上部中央の位置からつりさげられている。重力加速度の大きさをgとして，以下の設問に答えなさい。なお，空気抵抗の影響と小球の大きさ，糸の質量は無視でき，箱と床の間に摩擦はないものとする。

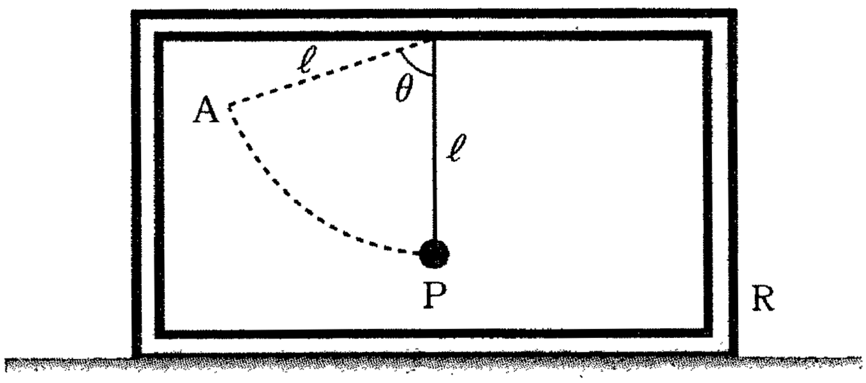

図3

(7) 図3の静止状態において，小球Pだけに水平左向きに初速v_0を与えた。小球Pが最初に最高点に達したときの床に対する箱Rの速さv_Rを求めなさい。なお，解答に使用できる記号はm，M，ℓ，g，v_0とする。また，小球Pは箱には衝突しないものとする。

(8) (7)において，小球Pが最初に最高点に達したときに，糸が鉛直方向となす角をθ_1とする。$\cos\theta_1$を求めなさい。なお，解答に使用できる記号はm，M，ℓ，g，v_0とする。

(9) 図3の静止状態において，糸がたるまないようにして小球Pを持ち上げ，鉛直方向と角$\theta(0° < \theta < 90°)$をなす位置Aで小球Pを静かに放したところ，箱Rは静かに動きはじめた。小球Pが最初に最下点に達したときの小球Pの速さv_Pと箱Rの速さv_R'を，床に対する速さとして，それぞれ求めなさい。なお，解答に使用できる記号はm，M，ℓ，g，θとする。

2 以下の設問に答えなさい。もし解答に根号があらわれる場合には小数に直さず，そのまま記しなさい。

問 1　図 1 および図 2 のような xy 平面上に置かれた点電荷について考える。

図 1 では x 軸上の点 $P_1(d,\ 0)$ に Q〔C〕の正電荷があり，図 2 では x 軸上の点 $P_1(d,\ 0)$ と点 $P_2(-d,\ 0)$ に同じ Q〔C〕の正電荷がある。ただし，d〔m〕を正とする。k〔$N \cdot m^2/C^2$〕をクーロンの法則の比例定数とし，電位の基準を無限遠で 0 として，以下の設問に答えなさい。

(1)　図 1 において y 軸上の点 $R(0,\ \sqrt{3}\,d)$ での電位 V_1〔V〕を求めなさい。解答に使用できる記号は d，k，Q とする。

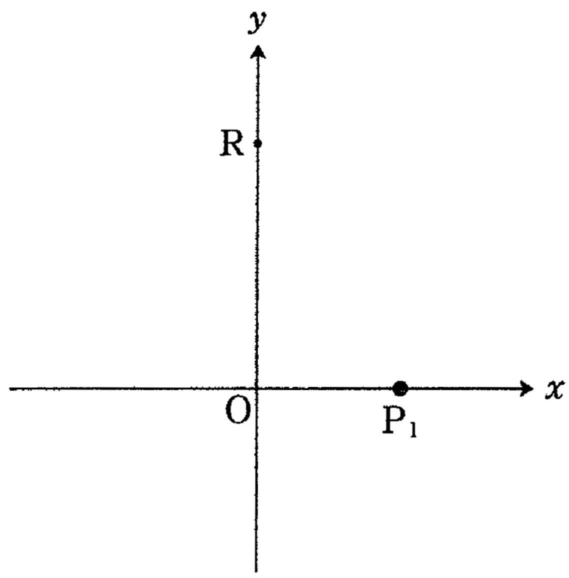

図 1

(2) 図 2 について，以下の設問に答えなさい。

(a) y 軸上の点 $\mathrm{R}(0,\ \sqrt{3}\,d)$ での電場の強さ E_1〔N/C〕を求めなさい。解答に使用できる記号は d，k，Q とする。

(b) y 軸上の点 $(0,\ y)$ での電位 $V_2(y)$〔V〕を求めなさい。解答に使用できる記号は d，k，y，Q とする。

(c) $V_2(y)$ は，$y=0$ で最大となるか，最小となるか，あるいはどちらでもないかを答えなさい。

(d) x の範囲が $-d<x<d$ である場合に，x 軸上の点 $(x,\ 0)$ での電位 $V_3(x)$〔V〕を求めなさい。解答に使用できる記号は d，k，x，Q とする。

(e) $V_3(x)$ は $-d<x<d$ の範囲において，$x=0$ で最大となるか，最小となるか，あるいはどちらでもないかを答えなさい。

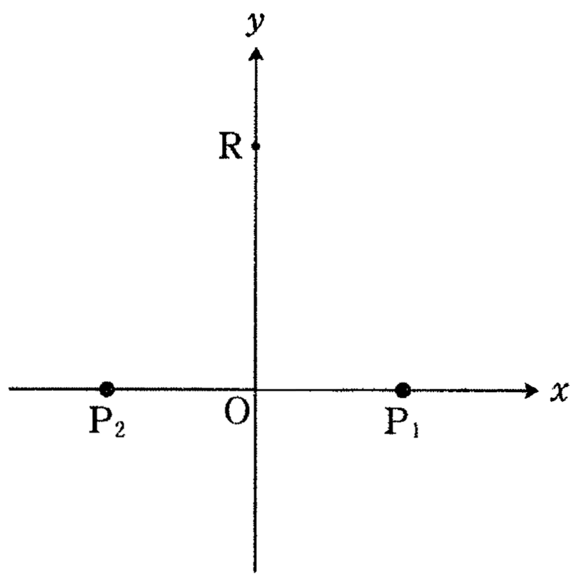

図 2

問 2　図 3 のように xy 平面において，一辺が ℓ〔m〕の導線からなる正方形 $C_1C_2C_3C_4$ の回路が進行方向に対して 45° 傾いた状態を保ったままで，一定の速さ v〔m/s〕で x 軸の正の向きに進んでいる。時刻 $t = 0$〔s〕で C_4 が y 軸に到達し，回路は磁束密度の大きさが B〔T〕である磁束領域（縦 L〔m〕× 横 L〔m〕，$0 \leqq x \leqq L$，$0 \leqq y \leqq L$）に進入を始めた。これ以降も回路は回転しないとして，以下の設問に答えなさい。ただし，回路の全抵抗は R〔Ω〕である。また，L は ℓ よりも十分大きく，C_2 が y 軸上にあるとき，回路は磁束領域内にある。磁束密度は一様で時間変化せず，その向きは紙面と垂直で紙面裏から表向きとする。

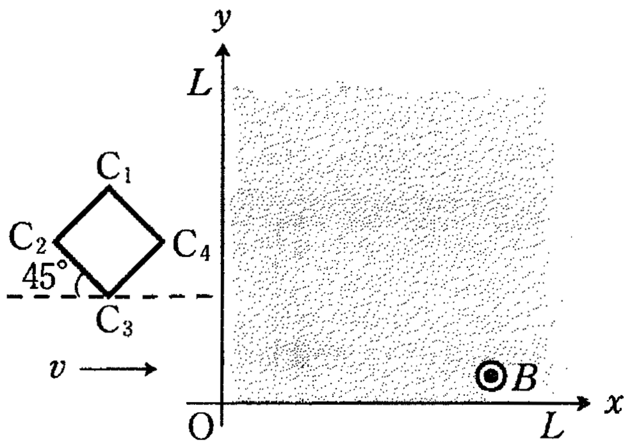

図 3

(3)　回路が磁束領域にちょうど半分だけ進入している（頂点 C_1 と頂点 C_3 が y 軸上にある）時刻 t_1〔s〕を求めなさい。解答に使用できる記号は ℓ，v とする。

(4)　$0 < t < t_1$ となる時刻 t〔s〕では，図4のように回路が磁束領域に進入している。時刻 t〔s〕において，回路が磁束領域に進入している部分がつくる三角形 ADC_4 の面積 $S(t)$〔m^2〕を求めなさい。ただし，点Aおよび点Dは回路と y 軸の交点である。解答に使用できる記号は t，v とする。

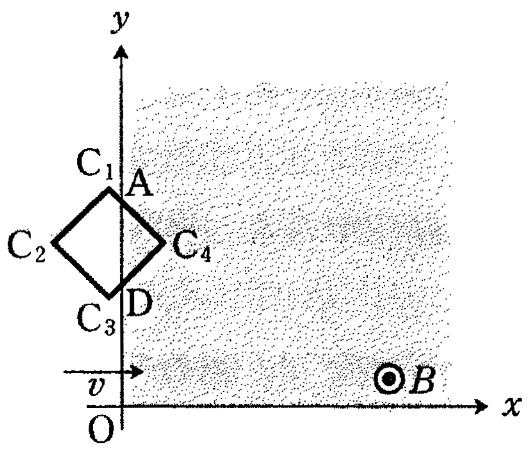

図4

(5)　時刻 t〔s〕と時刻 $t + \Delta t$〔s〕の間の，回路を貫く磁束の変化 $\Delta\Phi$〔Wb〕を求めなさい。ただし，$0 < t < t + \Delta t < t_1$ とし，解答に使用できる記号は t，Δt，v，B とする。

(6)　(5)のときに，時刻 t〔s〕と時刻 $t + \Delta t$〔s〕の間で回路に流れる電流 I〔A〕の大きさを求めなさい。解答に使用できる記号は t，Δt，v，B，R とする。

(7)　回路は時刻 $t=0$〔s〕で磁束領域に進入し(図５)，時刻 t_2〔s〕で磁束領域を抜け始め(図６)，その後，磁束領域を完全に抜け出す。回路に流れる電流の記述として正しいものはどれか。以下の(i)〜(v)から最も適当なものを選び，記号で答えなさい。回路の電流の向きは図５および図６において紙面の表側から見たときの反時計回りを正としなさい。

(i)　回路に一定の電流が流れ続ける。

(ii)　時刻 $t=0$〔s〕で回路に正の電流が流れ始めて，回路が完全に磁束領域にあるときには電流は流れない。時刻 $t=t_2$〔s〕で正の電流が流れ始めて，回路が磁束領域を完全に抜け出したあとには電流は流れない。

(iii)　時刻 $t=0$〔s〕で回路に正の電流が流れ始めて，回路が完全に磁束領域にあるときには電流は流れない。時刻 $t=t_2$〔s〕で負の電流が流れ始めて，回路が磁束領域を完全に抜け出したあとには電流は流れない。

(iv)　時刻 $t=0$〔s〕で回路に負の電流が流れ始めて，回路が完全に磁束領域にあるときには電流は流れない。時刻 $t=t_2$〔s〕で正の電流が流れ始めて，回路が磁束領域を完全に抜け出したあとには電流は流れない。

(v)　時刻 $t=0$〔s〕で回路に負の電流が流れ始めて，回路が完全に磁束領域にあるときには電流は流れない。時刻 $t=t_2$〔s〕で負の電流が流れ始めて，回路が磁束領域を完全に抜け出したあとには電流は流れない。

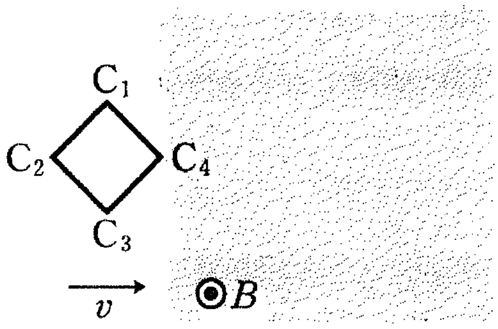

図5

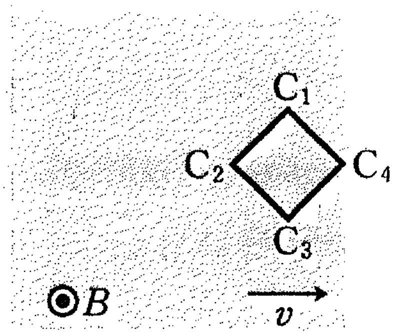

図6

3 次の文章を読み，以下の設問に答えなさい。光路は紙面上に限定されている。真空中の光速を c としなさい。解答に使用できる記号は問題文中に定義されたもののみとする。

問 1　屈折率 n_1 の媒質 1 内の点 A から屈折率 n_2 の媒質 2 内の点 B へ光が伝わる。ただし，媒質 2 の屈折率は任意に設定できるものとする。

図 1 に示したように座標軸を設定する。媒質 1 と媒質 2 は y 軸で接している。また，点 A と点 B の座標は，それぞれ，$(-a,\ -b)$ と $(a,\ b)$ である。ただし，$a > 0$，$b > 0$ とする。

(1)　媒質 2 の屈折率 n_2 を媒質 1 の屈折率 n_1 と等しくした。点 A から点 B までの光の経路の長さを求めなさい。

以下では $n_1 \neq n_2$ の場合について考える。

(2)　点 A から出た光は y 軸上の点 C$(0,\ y)$ を経て点 B に達する。ただし，$-b < y < b$ とする。点 A から点 C への到達時間を求めなさい。

(3)　光が点 C を経由して点 A から点 B に達するとき，屈折の法則をみたすように点 C を経由する。このとき，$\dfrac{y+b}{b-y}\sqrt{\dfrac{a^2+(b-y)^2}{a^2+(y+b)^2}}$ を求めなさい。

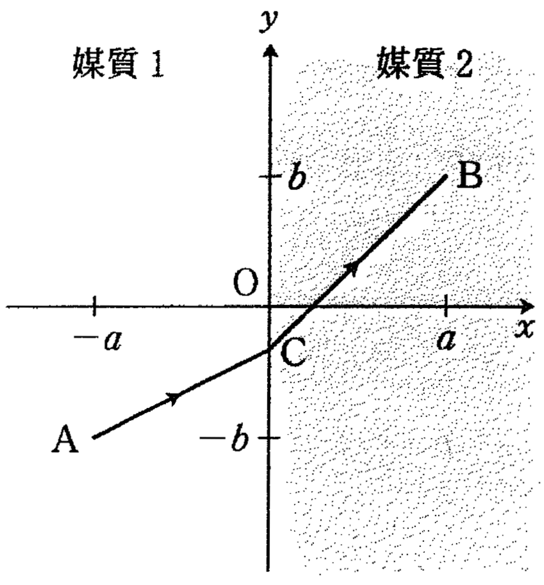

図 1

問 2　屈折率 n_1 の媒質 1 と屈折率 n_2 の媒質 2 は図 1 と同じく y 軸で接している。ここでは，$n_1 < n_2$ とする。新たに媒質 1 を $x = a$ で媒質 2 に接するように配置し，波長 λ の単色光を $x < 0$ 側にある媒質 1 側から入射する。

図 2 に示したように，点 C$(0,\ y)$ を経由して点 B$(a,\ b)$ で反射後，y 軸上の点 D を経由して元の媒質 1 の点 E に戻る光線を①とする。ただし，$a > 0$，$b > 0$，$0 < y < b$ である。

(4)　光線①と平行で点 D で反射する光線②を考える。光線②上の点 C′ と光線①上の点 C で両光線が同位相になっているとする。光線①と光線②が点 E に到達するまでの 2 つの光線の光路長（光学距離）の差を求めなさい。

$\boxed{3}$　問２（5），（6）は，問題の誤りのため省略

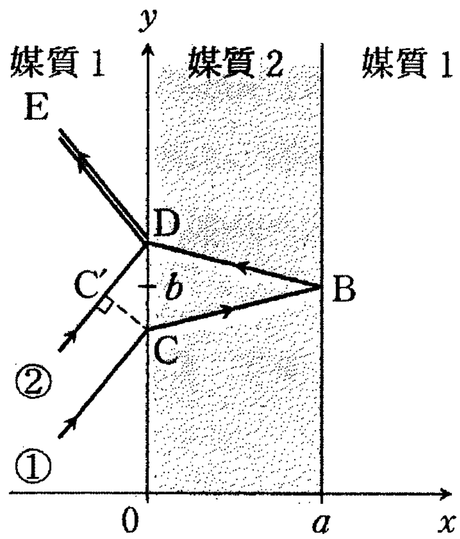

図 2

4 次の文章を読み，以下の設問に答えなさい。

図1のように，なめらかに動くピストンによって物質量 n の理想気体がシリンダー内に封じられている。ピストンの可動域は留め具によって制限され，シリンダー内の体積 V は $V_0 \leqq V \leqq 2V_0$ で変化する。気体との間で熱の授受を行うことができる熱交換器をシリンダー内に設置した。熱交換器の体積は無視できる。シリンダーおよびピストンは断熱材でできている。シリンダー内の気体の断熱変化において，圧力を p とすると，γ を定数として，$pV^{\gamma} =$ 一定という条件が成り立つものとする。

解答に使用できる記号は，n，V_0，γ の他，ピストンの質量 m，ピストンの断面積 S，シリンダー外の圧力 p_0，気体定数 R，重力加速度の大きさ g，シリンダー内の気体の定積モル比熱 C_V である。

問 1　$V = V_0$，$p = p_0$ の状態を A(図 1)とする。A からピストンに質量 $2m$ のおもりを乗せて，熱交換器からゆっくりと気体に熱を与えた。しばらくしてピストンが上昇し始めた。このときを B(図 2)とする。B におけるシリンダー内の圧力は $2p_0$ より小さいとする。ピストンは上昇し，$V = 2V_0$ となり停止した。このときを C(図 3)とする。その後も熱を与えたところ $p = 2p_0$ となった。この状態を D とする。

(1) B におけるシリンダー内の圧力を求めなさい。

(2) A から B までの間の気体の温度の増加量を求めなさい。

(3) A から D までの間に気体がした仕事を求めなさい。

(4) A から D までの間の気体の内部エネルギーの増加量を求めなさい。

問 2　問 1 の D からおもりを取り除き，熱交換器によりシリンダー内の気体からゆっくりと熱を取り除いたところ，しばらくしてピストンが下降し始めた。このときを E(図 4)とする。ピストンは下降し，$V = V_0$ となり停止した。このときを F とする。その後も熱を取り除き，$p = p_0$ とし，A の状態に戻した。

(5) D から E を経由して A までの間の気体がされた仕事を求めなさい。

(6) A → B → C → D → E → F → A のサイクルにおける熱効率を求めなさい。

問 3　問1のDにおいて，熱交換器を止めてピストン上のおもりを別のおもりに乗せかえると，ピストンはゆっくりと下降し，$V = V_0$で停止した。このときをG（図5）とする。

(7)　Gにおける気体の温度を求めなさい。

(8)　Gとなるために必要なおもりの最小の質量を求めなさい。

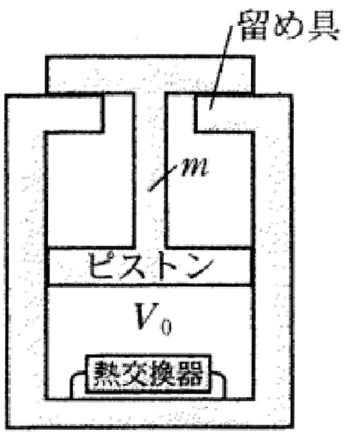

図1　A

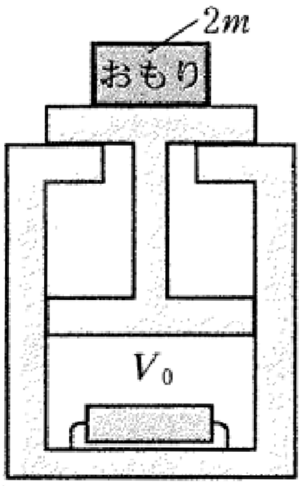

図2　B

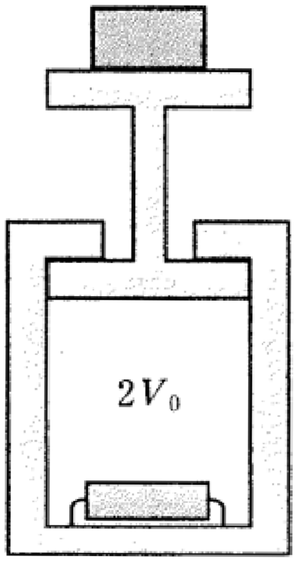

図3　C

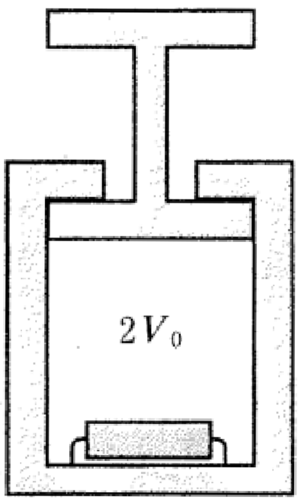

図4　E

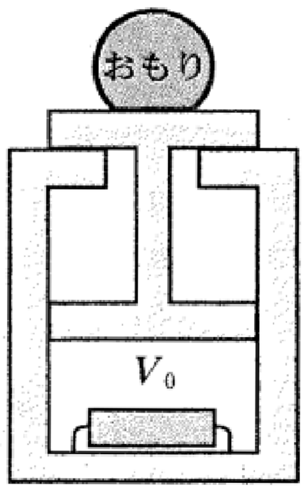

図5　G