平成 22 年度

前期日程

理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は，物理，化学，生物の順序で1冊にまとめてある。

   問題は { **物理**　**2ページから13ページ**　/ **化学**　**14ページから21ページ**　/ **生物**　**22ページから33ページ** } にある。

   ページの脱落があれば直ちに申し出ること。
3. 解答用紙は，物理3枚，化学4枚，生物4枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. **受験番号は，受験する科目の解答用紙の受験番号欄に1枚ずつ正確に記入すること。**
5. 解答は，1ページの「**理科の解答についての注意**」の指示に従い，解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は，適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

○　**数学科，化学科，生物科学科生物科学コース**を志望する者は，物理，化学，生物の 3 科目のうちから 2 科目を選んで解答すること。

○　**物理学科**を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから 1 科目を選んで解答すること(計 2 科目)。

○　**生物科学科生命理学コース**を志望する者は，物理と化学の 2 科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の 3 科目のうちから 2 科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の 3 科目のうちから 1 科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから 1 科目を選んで解答すること(計 2 科目)。

物　理　問　題

（解答はすべて物理解答用紙に記入すること）

〔１〕　質量が無視できるばねの下端を，長い円筒の底に図の (a) のように固定し，ばねの上端に円板をのせたところ，ばねが図の (b) のように縮んで静止した。ばねと円板のあいだは固定されていない。円板は円筒の内壁とちょうど接する半径を持っている。鉛直上向きを x 軸の正の向きにとり，円板をのせる前のばねの上端の位置を $x = 0$ と定義する。円板の厚さは無視でき，円板の面はつねに水平を保つとして，円板の位置を x を用いて表す。

円板に力を加えて，図の (b) の場合にばねが縮んだ距離の２倍の距離だけさらにばねが縮んで，図の (c) の状態になるようにする。ここで，円板に力を加えるのをやめると，円板は上向きに動きだす。その瞬間の時刻を $t = 0$ とする。その後，円板はある高さまで上昇した後下降を始め，最も低い位置に到達した後再び上昇するという，上下運動を繰り返す。円板はばねに固定されていないので，円板がばねから離れることがある。空気抵抗の影響は無視できるとして，この円板の運動を考察しよう。

まず，ばねに結びつけた小物体の運動が以下の特性を示すことに注意しよう。

> 質量が無視できるばねの一端を固定し，他端に小物体を結びつけて小物体をばねの長さの方向に運動させると，小物体は単振動を行う。その振動の角振動数は，ばねの強さを表すばね定数と小物体の質量を用いて，
>
> $$角振動数 = \sqrt{\frac{ばね定数}{小物体の質量}}$$
>
> と表すことができる。

円板と同じ質量を持つ小物体を，図のばねと同じばね定数を持つばねに結びつけて振動させた場合の単振動の角振動数を ω，重力加速度の大きさを g として，以下の問に答えよ。**解答にあたって，指定された以外の物理量を用いてはならない。**

I. **まず，円板と円筒の内壁とのあいだに摩擦が働かない場合を考える。**

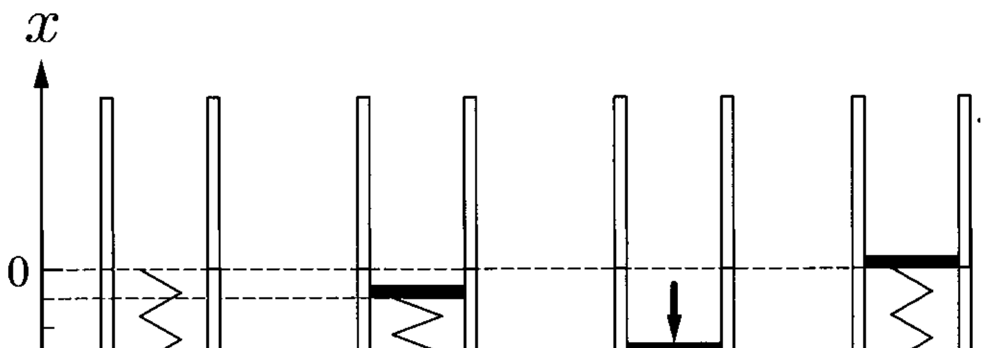
問 1 時刻 $t=0$ に円板が図の (c) の状態から動き始めて，初めて図の (d) の状態に変化する途中での円板の位置 x を時刻 t の関数として

$$x = a\cos\omega t + b$$

と表すとき，定数 a と b を，g と ω のうちで必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問 2 円板が動き始めてから，円板の位置が初めて $x=0$ となる時刻を，g と ω のうちで必要なものを用いて表せ。

問 3 円板が動き始めてから，最初に到達する最高点の座標 x を，g と ω のうちで必要なものを用いて表せ。



(a)　(b)　(c)　(d)

問 4 円板の位置が初めて $x = 0$ となってから，再び $x = 0$ となるまでの時間間隔を，g と ω のうちで必要なものを用いて表せ。

問 5 円板は周期が一定の周期運動を行う．その周期を，g と ω のうちで必要なものを用いて表せ。また，円板の位置 x を時間 t の関数として表したグラフの概形を $t = 0$ から始まる一周期分について，解答用紙のグラフ用紙に示せ。解答用紙には，x は g/ω^2 を，t は $1/\omega$ を単位とする目盛がそれぞれ記入してある。解答にあたって，曲線を描くだけでなく，周期の始めと終わりの t と x，曲線と t 軸の交点の t と x，最高点の t と x がわかるように，それらの数値を有効数字２桁で，(t, x) の形式でグラフに書き込め。例えば，$t = 4.2/\omega$，$x = -1.7g/\omega^2$ という値を持つ点を示したい場合には，曲線にかからないように $(4.2, -1.7)$ と書き，その点に向かう矢印を使って指し示せ。

Ⅱ．**次に，$x \leqq 0$ の位置では円板と円筒の内壁とのあいだに摩擦力は働かないが，$0 < x$ の位置では摩擦力が働く場合を考える。**ただし，摩擦力の大きさは円板の速さに関係なく一定であり，円板に働く重力の大きさに比べて小さい。すなわち，２つの力の大きさの比を

$$\alpha = \frac{\text{円板に働く摩擦力の大きさ}}{\text{円板に働く重力の大きさ}}$$

と定義すると，$0 < \alpha < 1$ である。

問 6 円板が運動を始めてから最初に到達する最高点の x 座標を，g，α，ω のうちで必要なものを用いて表せ。

問 7 円板が運動を始めてから２回目に到達する最高点の x 座標を，g，α，ω のうちで必要なものを用いて表せ。

問 8 多数回の周期運動を繰り返すと，それぞれの周期において円板が到達する最高点と最下点はある高さに次第に近づく。最高点の x 座標，および最高点と最下点の高さの差を，g，α，ω のうちで必要なものを用いて表せ。

〔**2**〕 電気力線について考察しよう。真空中に置かれた電気量 Q〔C〕 ($Q > 0$) の正の点電荷から発生する電気力線の総本数 N は Q に比例する。そこで，比例係数 A を用いて $N = AQ$ で与えられるとしよう。また，点電荷から発生する電気力線は，全ての方向に等しく放射状に広がる。このとき，電場（電界）の強さ E〔N/C〕は，電気力線に垂直な面を考え，それを通過する電気力線の単位面積当たりの本数 n に比例する。そこで，比例係数 B を用いて $E = Bn$ で与えられるとしよう。電場ベクトルの向きは電気力線の向きに等しい。一方，負の電気量の点電荷に対する電気力線は向きが逆になる。これらのことを踏まえて以下の問に答えよ。なお，解答には係数 A, B を用いてよいが，問題中で与えられていない記号を用いてはならない。

I. 図1のように，原点Oに電気量 Q_1〔C〕 ($Q_1 > 0$) の点電荷を置いた。

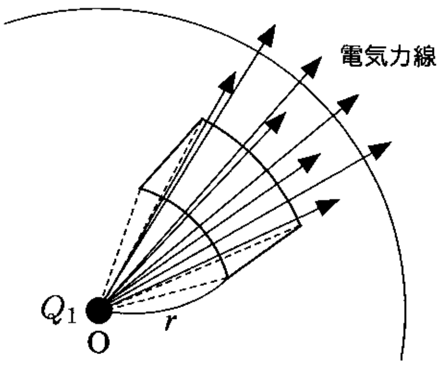


図1

問 1 点電荷 Q_1 から距離 r〔m〕の点における電場ベクトルについて，動径方向（半径 r の球面に垂直で r が増す方向）の成分を示せ。

問 2 図2 (a) または (b) のように，$r = R$ のところに電気量 Q_2〔C〕のもうひとつの点電荷を置いた。このとき，ふたつの点電荷を通る直線上の点Pでの電場ベクトルについて，動径方向の成分を示せ。ただし，点電荷 Q_1 から点Pまでの距離を a とし，図2 (a) の $0 < a < R$ の場合と図2

(b) の $R < a$ の場合について，それぞれ答えよ。

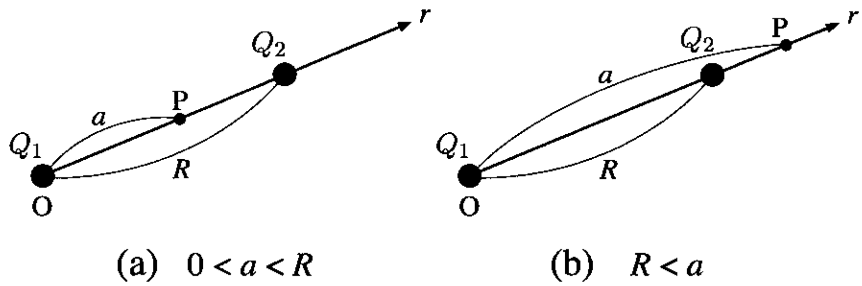


図２

Ⅱ. 厚さが無視できる平板上に電荷を分布させた面電荷について考察しよう。図３のように，平板は z 軸に垂直で $z = 0$ にあり，x 軸方向と y 軸方向にそれぞれ十分に広い幅 L〔m〕と M〔m〕をもつ。この平板上に単位面積当たりの電気量が q_1〔C/m^2〕となるように電荷を一様に分布させた。なお，以下の問では面電荷のふちの効果は考えなくてよい。

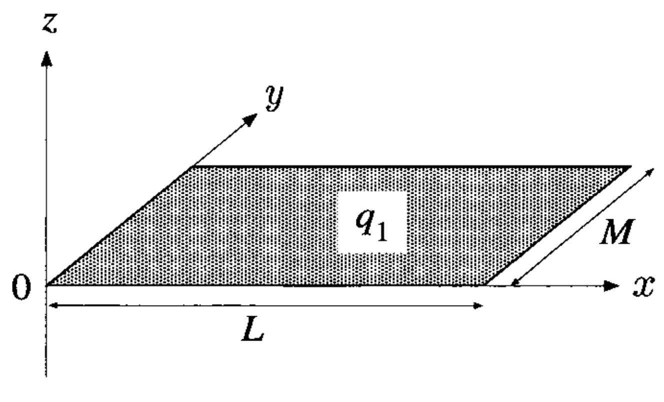


図３

問 3 図３に示した面電荷による $0 < z$ での電場ベクトルについて，z 軸方向の成分を示せ。

問 4 図3で与えた $z=0$ の面電荷に加えて，図4のように，d〔m〕だけ離れた $z=d$ のところに同様の面電荷を与えた。ただし，単位面積当たりの電気量を q_2〔C/m^2〕とした。このとき，$d<z$ ，$0<z<d$ ，$z<0$ の3つの領域における電場ベクトルについて，z 軸方向の成分をそれぞれ示せ。

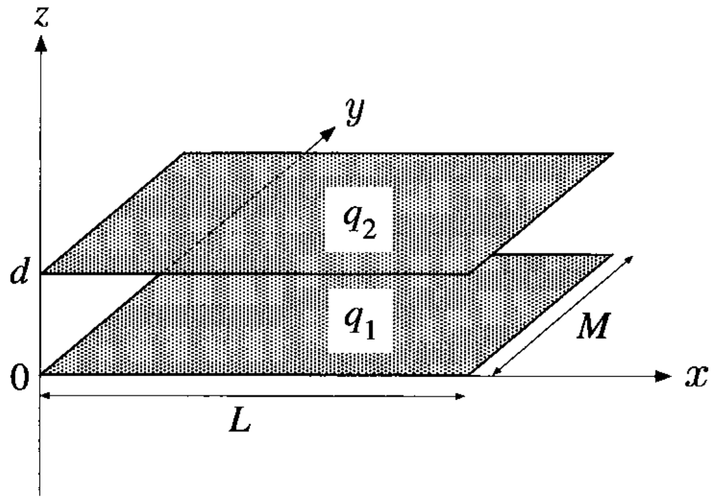


図4

Ⅲ. 図4において $q_1=-q_2=q$ ($q>0$) とし，また，ふたつの平板は導体でできた極板とすると，ふたつの面電荷はコンデンサーのふたつの極板に蓄えられた電荷と等しくなる。

問 5 ふたつの極板を互いに接触しない範囲で十分に接近させた状態から，面間隔 d の状態まで広げるのに必要なエネルギーを示せ。

問 6 面間隔 d の状態において，ふたつの極板の間の電位差の大きさを示せ。また，この結果を用いて，コンデンサーとして考えたときの電気容量を示せ。

Ⅳ. 図4において $q_1 = -q_2 = q$ $(q > 0)$ とした状態で，導体でできた極板の間に誘電体を挿入した。誘電体の厚さは d，x 軸方向と y 軸方向の幅は極板のサイズと等しく，それぞれ L，M とする。

問 7 極板の間を全て満たす位置に誘電体を挿入した。このとき，誘電分極（不導体の静電誘導）によって誘電体の上と下の面に見かけの面電荷が発生した。その結果，問6で求めた誘電体を挿入しない場合に比べて極板の間の電位差は，この面電荷によって f 倍になった。ここで f は誘電体の種類によって決まる1より小さな正の定数である。誘電分極によって誘電体の下の面に発生した見かけの面電荷について，単位面積当たりの電気量を示せ。さらに，極板をコンデンサーとして考えたときの電気容量を示せ。

問 8 問7の状態から誘電体を部分的に引き抜き，図5のように，x 軸方向に深さ b〔m〕$(0 < b < L)$ まで挿入した状態とした。誘電体が挿入されている領域と挿入されていない領域における下の極板 $(z = 0)$ の面電荷について，単位面積当たりの電気量をそれぞれ示せ。

問 9 問8の状態において，ふたつの極板の間の電位差の大きさと，コンデンサーとして蓄えられている静電エネルギーを示せ。

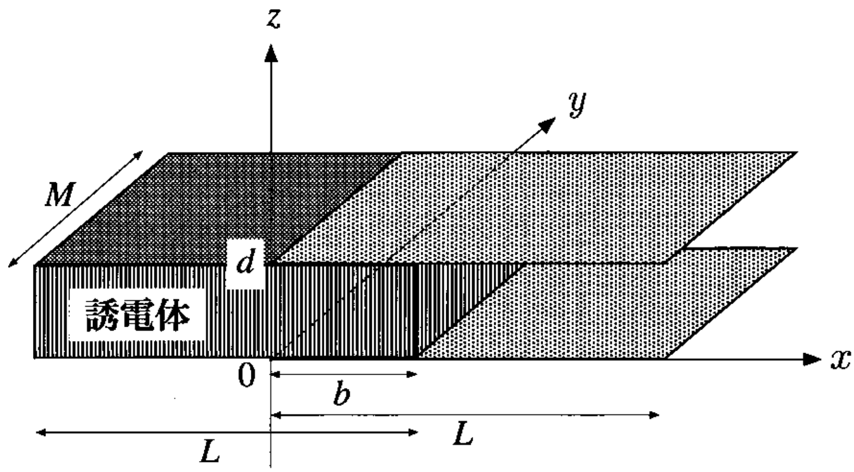


図5

〔**3**〕 断面積 S 〔$\mathrm{m^2}$〕の断熱材でできているシリンダーが鉛直に置かれている。その底面には加熱用のヒーターがついている。大気圧を P 〔$\mathrm{Pa = N/m^2}$〕，重力加速度の大きさを g 〔$\mathrm{m/s^2}$〕，気体定数を R 〔J/mol・K〕として，以下の問に答えよ。シリンダー内の気体にはたらく重力は無視してよい。

I. 図1のように，シリンダーに質量 m 〔kg〕のなめらかに動くことのできるピストンがついている。このピストンは断熱材でできている。シリンダー内にはピストンにより単原子分子理想気体 A が閉じ込められている。温度 T 〔K〕，物質量 n 〔mol〕の単原子分子理想気体の内部エネルギーは $\frac{3}{2}nRT$ である。

問 1 ピストンはある位置で静止している。気体 A の圧力を，P，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

問 2 ヒーターで気体 A をゆっくりと加熱したところピストンが移動した。気体 A の体積が ΔV 〔$\mathrm{m^3}$〕だけ増加したところでヒーターの加熱を止めた。気体 A がした仕事 W_1 〔J〕と，ヒーターから気体 A に与えられた熱量 Q_1 〔J〕を，P，ΔV，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

II. 図2のように，図1のピストンのついたシリンダーに断熱材でできた固定壁を取り付け，単原子分子理想気体 A と B を閉じ込めた。はじめピストンは静止しており，気体 B の圧力は P 〔Pa〕であった。また, 気体 A と B の体積はともに V_2 〔$\mathrm{m^3}$〕，温度は T_2 〔K〕であった。次にヒーターにより気体 A をゆっくりと加熱したところピストンが移動し，加熱を止めた後，気体 B の圧力は P_B 〔Pa〕，体積は V_B 〔$\mathrm{m^3}$〕となった。

問 3 ヒーターで加熱する前と後での，気体 A と B の内部エネルギーの変化量 ΔU_A 〔J〕と ΔU_B 〔J〕を，P，P_B，V_2，V_B，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

問 4 気体 B の変化は断熱的であるため，気体 B の内部エネルギーの変化量 ΔU_B と気体 B がされた仕事 W_B 〔J〕のあいだには，熱力学第一法則よ

り $\Delta U_{\mathrm{B}} = W_{\mathrm{B}}$ の関係が成り立つ。ピストンの位置エネルギーの変化を ΔU_{p}〔J〕，気体Aがした仕事を W_{A}〔J〕とすると，$W_{\mathrm{A}} = W_{\mathrm{B}} + \Delta U_{\mathrm{p}}$ の関係が成り立つ。これらのことを考慮して，ヒーターから気体Aに与えられた熱量 Q_2〔J〕を，P，P_{B}，V_2，V_{B}，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

図1

図2

Ⅲ. 図 3(a) のように，シリンダーにそれぞれ質量 m〔kg〕のなめらかに動くことのできる2つのピストンを取り付け，単原子分子理想気体 A と B を閉じ込めた。気体 A と B の間のピストン 1 は熱を自由に通す材質でできている。一方，気体 B と大気との間のピストン 2 は断熱材でできており，気体 B を大気中に放出するためのバルブが付いている。はじめバルブは閉じており，気体 A と B の体積はともに V_3〔$\mathrm{m^3}$〕，温度は T_3〔K〕であった。ピストン 1 の熱容量は無視できるとする。

問 5 ヒーターによりゆっくりと気体 A を加熱し，図 3(b) のように気体 A の体積が $\dfrac{3}{2}V_3$〔$\mathrm{m^3}$〕となったところでヒーターの加熱を止めた。このときの，気体 A と B の内部エネルギーの変化量 $\Delta U'_{\mathrm{A}}$〔J〕と $\Delta U'_{\mathrm{B}}$〔J〕，ヒーターが与えた熱量 Q_3〔J〕を，P，V_3，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

問 6 次にバルブを開き，気体 B を大気中にゆっくりと放出し，図 3(c) のようにピストン 2 をはじめの位置に戻し，その後バルブを閉じた。この間，気体 B の圧力と温度は変化しない。このときシリンダー内に残った気体 B の物質量 n_{B}〔mol〕を，P，V_3，T_3，R，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

問 7 次にヒーターにより再度ゆっくりと気体 A を加熱し，図 3(d) のように気体 A の体積が $2V_3$〔$\mathrm{m^3}$〕となったところでヒーターの加熱を止めた。最後にバルブを開き気体 B を大気中にゆっくりと放出し，図 3(e) のようにピストン 2 をはじめの位置に戻し，その後バルブを閉じた。このとき，気体 B は大気中に全て放出された。図 3(a) のはじめの状態から図 3(e) の状態までについて，気体 B の体積 V〔$\mathrm{m^3}$〕と温度 T〔K〕の変化のグラフを描け。また，そのグラフには図 3(b)，(c)，(d)，(e) の 4 つの状態にあたる点をグラフ中の● (a) にならって明示せよ。

問 8 図 3(a) のはじめの状態から図 3(e) の状態までに，ヒーターが加えた熱量の合計 Q'_3〔J〕を，P，V_3，m，g，S の中から必要なものを用いて表せ。

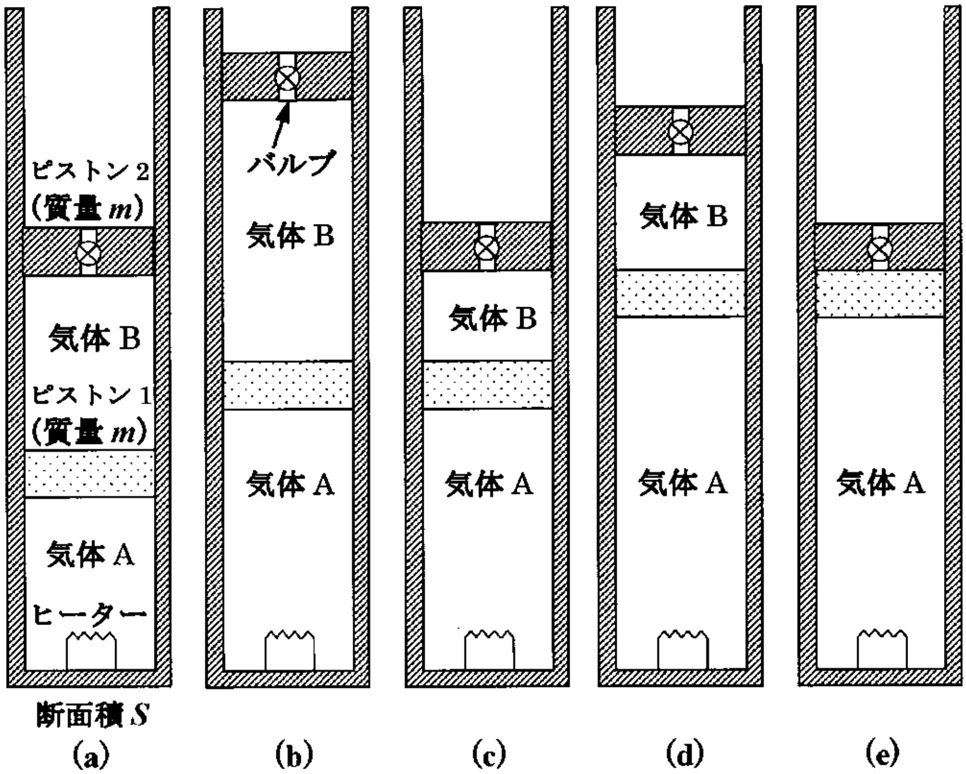


図 3