平成23年度　　　　　　　　　　　　　　　　〔試験時間　80分〕

H3 物理　　　H4 化学

この冊子は，物理 と 化学 の問題を1冊にまとめてあります。

情報科学科と土木工学科は，物理または化学のどちらかを選択

工業化学科は化学指定

機械工学科は物理指定

物理の問題は，1ページより22ページまであります。
化学の問題は，23ページより35ページまであります。

〔注　　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号及び氏名を記入し，さらに受験番号・志望学科をマークしてください。

(3) 解答は所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合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，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは横1行について1箇所に限ります。2箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

◇M24(040—400)

物　　理

1 次の問題の $\boxed{}$ の中にいれるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。
(同じ番号を何回用いてもよい。)　　　　(35点)

図1のように，糸の一端に質量 m[kg]の小球をつけて他端を点Oに固定する。点Oの真下の点O′には細い釘(くぎ)が固定されている。糸をぴんと張り，点Aから小球を静かに放つ。点Bは小球の円軌道の最下点である。点Bから測った点Aの高さを h[m]，O′B間の距離を ℓ[m]，糸の全長を 4ℓ[m]，重力加速度の大きさを g[m/s^2]とする。また，糸は伸縮せず，その質量は無視できるものとする。

なお，必要ならば，角度 ϕ[rad]が十分に小さいとき，$\sin\phi \fallingdotseq \phi$，$\cos\phi \fallingdotseq 1$，$\tan\phi \fallingdotseq \phi$ と近似できることを用いてよい。

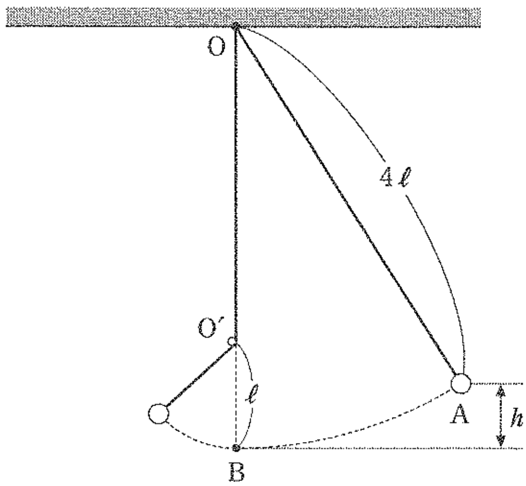

図1

右のページは白紙です。

(1)　点Aの高さが点O′の高さ以下の場合($h \leqq \ell$)を考える。このとき，点Aから放たれた小球は点Bを通過した後，点O′を中心とする円軌道をえがき，運動の折り返し点に至る。折り返した後，小球は点Bを通過して再びA点に戻る。以降，これが周期的に繰り返される。

小球が点Bを通過するとき，その速さは $\boxed{\text{(ア)}}$ 〔m/s〕である。また，図2で小球が点Bを右から左に通過するとき，通過の直前と直後で，小球に作用する糸の張力の大きさは $\boxed{\text{(イ)}}$ 〔N〕だけ変化する。

図2に示すように水平面内にx軸をとる。B点からの変位をx〔m〕とし，また，小球の加速度のx軸方向の成分をa〔m/s^2〕とする。重力の，糸に垂直な成分が，小球の速さを変えるはたらきをすることに注意し，∠AOBが十分に小さいとして運動方程式をたてると，$x > 0$のとき$ma =$ $\boxed{\text{(ウ)}}$ ，$x < 0$のとき$ma =$ $\boxed{\text{(エ)}}$ が得られる。これより，この振り子の周期は $\boxed{\text{(オ)}}$ 〔s〕となる。

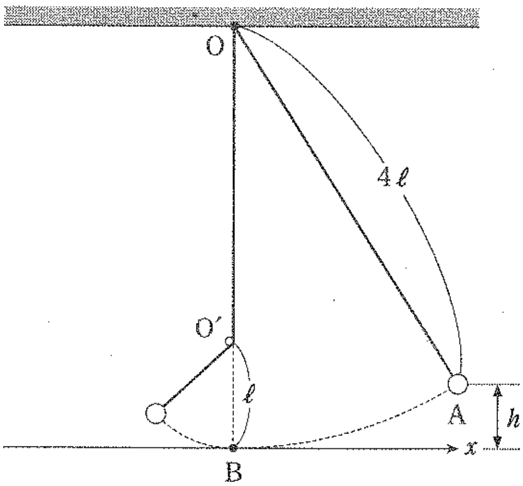

図2

(ア)の解答群

0 gh　　1 $2gh$　　2 mgh　　3 $2mgh$

4 $\sqrt{gh}$　　5 $\sqrt{2gh}$　　6 $\sqrt{mgh}$　　7 $\sqrt{2mgh}$

(イ)の解答群

0 $\dfrac{mgh}{\ell}$　　1 $\dfrac{mgh}{2\ell}$　　2 $\dfrac{mgh}{3\ell}$　　3 $\dfrac{3mgh}{2\ell}$

4 $-\dfrac{mgh}{\ell}$　　5 $-\dfrac{mgh}{2\ell}$　　6 $-\dfrac{mgh}{3\ell}$　　7 $-\dfrac{3mgh}{2\ell}$

(ウ), (エ)の解答群

0 $\dfrac{mgx}{\ell}$　　1 $\dfrac{mgx}{2\ell}$　　2 $\dfrac{mgx}{3\ell}$　　3 $\dfrac{mgx}{4\ell}$

4 $-\dfrac{mgx}{\ell}$　　5 $-\dfrac{mgx}{2\ell}$　　6 $-\dfrac{mgx}{3\ell}$　　7 $-\dfrac{mgx}{4\ell}$

(オ)の解答群

0 $\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$　　1 $\pi\sqrt{\dfrac{2\ell}{g}}$　　2 $2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$　　3 $\pi\sqrt{\dfrac{3\ell}{g}}$

4 $3\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$　　5 $\pi\sqrt{\dfrac{g}{\ell}}$　　6 $\pi\sqrt{\dfrac{2g}{\ell}}$　　7 $2\pi\sqrt{\dfrac{g}{\ell}}$

8 $\pi\sqrt{\dfrac{3g}{\ell}}$　　9 $3\pi\sqrt{\dfrac{g}{\ell}}$

(2) 点 A が点 O′ よりも高い位置にある場合($h > \ell$)を考える。点 A の位置がさほど高くなければ，円運動に続き，糸がたるんで小球は放物運動する。このような運動が実現される h の上限値を L〔m〕とする。一方，h が L 以上となると，糸はたるむことなく釘に巻き付く。(ただし，小球と糸の衝突は考えない。)

以下，L を求めていく。$\ell < h < L$ として，小球が円運動から放物運動に移る位置を点 C とする。また，点 C での小球の速さを v_C〔m/s〕，直線 O′C と鉛直線のなす角を θ_C〔rad〕とする(図 3)。小球が点 C に達すると，糸の張力はゼロになることから，v_C は，θ_C，g，ℓ を用いて，$v_C =$ $\boxed{(カ)}$ と表される。

h を L に近づけると，点 C は半径 ℓ の円運動の最上点(点 B の鉛直上方の距離 2ℓ の点)に近づいていく。$h = L$ のとき，円運動の最上点での小球の速さは $\boxed{(キ)}$ 〔m/s〕，また，$L =$ $\boxed{(ク)}$ $\times \ell$ となることがわかる。

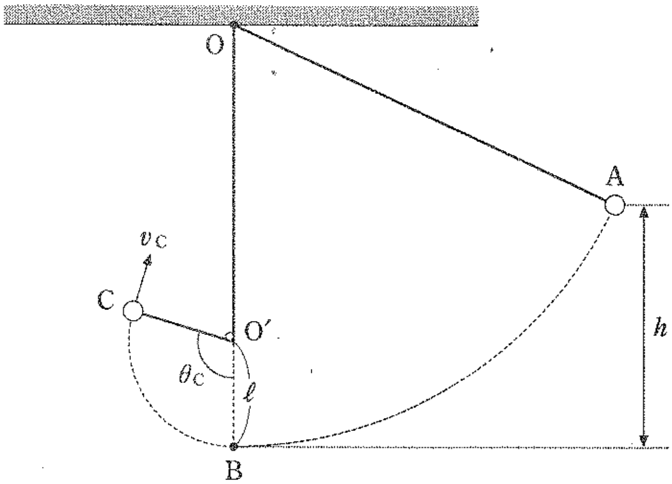

図 3

(カ)の解答群

0 $\sqrt{-\ell g\tan\theta_C}$　　1 $\sqrt{-2\ell g\tan\theta_C}$　　2 $\sqrt{-4\ell g\tan\theta_C}$

3 $\sqrt{-6\ell g\tan\theta_C}$　　4 $\sqrt{-\ell g\cos\theta_C}$　　5 $\sqrt{-2\ell g\cos\theta_C}$

6 $\sqrt{-4\ell g\cos\theta_C}$　　7 $\sqrt{-6\ell g\cos\theta_C}$

(キ)の解答群

0 0　　1 $\sqrt{\ell g}$　　2 $\sqrt{2\ell g}$　　3 $\sqrt{4\ell g}$　　4 $\sqrt{6\ell g}$

(ク)の解答群

0 1　　1 $\frac{3}{2}$　　2 2　　3 $\frac{5}{2}$　　4 3

5 $\frac{7}{2}$　　6 4

(3) 点Aの高さhを，$\ell < h < L$の範囲のある値に選んだところ，放物運動の途中，小球は点O′の釘とぶつかったという。以下，そのような点Aの高さを求めることを考える。

小問(2)と同様，小球が円運動から放物運動に移る位置を点Cとし，点Cでの小球の速さをv_C〔m/s〕，直線O′Cと鉛直線のなす角をθ_C〔rad〕とする(図4)。

点Cを座標の原点とし，右方向にX軸，上方向にY軸をとる。点Cでの小球の速度のX成分v_X〔m/s〕とY成分v_Y〔m/s〕はそれぞれ$v_X = v_C \times$((ケ))，$v_Y = v_C \times$((コ))となる。放物運動をする小球の位置(X〔m〕，Y〔m〕)のX座標，Y座標の関係(軌道の式)は，v_C，θ_C，gを用いて$Y =$((サ))$\times X^2 +$((シ))$\times X$と表すことができる。

点O′のX座標$X_{O'}$〔m〕とY座標$Y_{O'}$〔m〕はそれぞれ$X_{O'} = \ell \times$((ス))，$Y_{O'} = \ell \times$((セ))となる。小球の軌道が点O′を通るという条件から，$\cos\theta_C$がみたす2次方程式が得られ，それを解くことにより，$\cos\theta_C =$ (ソ) が得られる。そのためには，点Aの高さは((タ))$\times \ell$〔m〕であればよい。

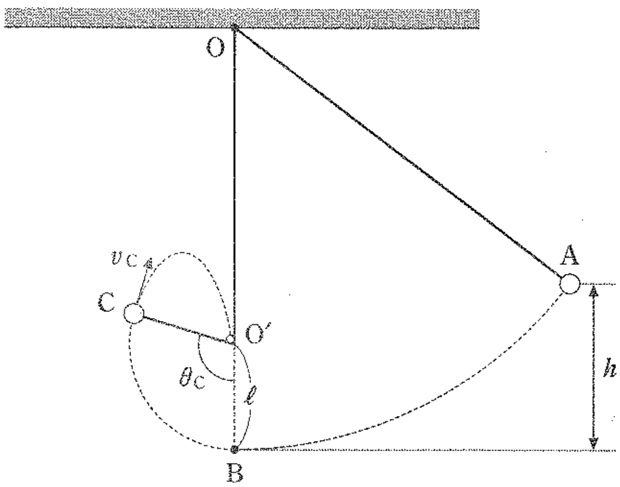

図4

(ケ), (コ)の解答群

0 $\tan\theta_C$　　1 $-\tan\theta_C$　　2 $\cos\theta_C$

3 $-\cos\theta_C$　　4 $\sin\theta_C$　　5 $-\sin\theta_C$

(サ)の解答群

0 $-\dfrac{g}{v_C^2\tan^2\theta_C}$　　1 $-\dfrac{g}{2v_C^2\tan^2\theta_C}$　　2 $-\dfrac{g}{v_C^2\cos^2\theta_C}$

3 $-\dfrac{g}{2v_C^2\cos^2\theta_C}$　　4 $-\dfrac{g}{v_C^2\sin^2\theta_C}$　　5 $-\dfrac{g}{2v_C^2\sin^2\theta_C}$

(シ), (ス), (セ)の解答群

0 $\tan\theta_C$　　1 $-\tan\theta_C$　　2 $\cos\theta_C$

3 $-\cos\theta_C$　　4 $\sin\theta_C$　　5 $-\sin\theta_C$

(ソ)の解答群

0 $-\dfrac{1}{2}$　　1 $-\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　　2 $-\dfrac{\sqrt{3}}{6}$

3 $-\dfrac{\sqrt{3}-1}{3}$　　4 $-\dfrac{\sqrt{2}-1}{4}$　　5 $-\dfrac{4-\sqrt{3}}{5}$

(タ)の解答群

0 $\dfrac{3}{2}$　　1 $\sqrt{2}$　　2 $\sqrt{3}$

3 $1+\dfrac{\sqrt{2}}{2}$　　4 $1+\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　　5 $1+\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

2 次の問題の $\boxed{\quad\quad}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。) (40 点)

(1) 真空中に二つの点電荷(電荷 Q〔C〕と q〔C〕)が静止している。このとき，二つの点電荷の間に働く静電気力(クーロン力)の大きさは二つの電荷の大きさの $\boxed{(ア)}$ と二つの電荷の距離の $\boxed{(イ)}$ に比例する。以後このときの比例係数を k〔$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$〕とする。また，このときの力が引力となるのは二つの電荷が $\boxed{(ウ)}$ のときである。

(2) 原点に点電荷 A(電荷 Q〔C〕($Q > 0$))を，原点から距離 r〔m〕のところに点電荷 B(質量 m〔kg〕，電荷 q〔C〕($q > 0$))を固定したとき，静電気力による点電荷 B の位置エネルギーは $\boxed{(エ)}$〔J〕である。ただし，この小問では無限遠を位置エネルギーの基準点とする。点電荷 B の固定をはずすと点電荷 B は動き始めた。その後，十分遠方まで移動したときの点電荷 B の速さは $\boxed{(オ)}$〔m/s〕となる。

(ア)の解答群

0　和　　1　差　　2　積　　3　比

(イ)の解答群

0　−2乗　　1　−1乗　　2　0乗　　3　1乗　　4　2乗

(ウ)の解答群

0　ともに正　　1　ともに負　　2　同符号　　3　異符号

(エ)の解答群

0　$\frac{1}{2}kr^2$　　1　kr^2　　2　$kQqr^2$　　3　$\frac{kQq}{r}$　　4　$\frac{kQq}{r^2}$

(オ)の解答群

0　$\sqrt{\frac{kr^2}{m}}$　　1　$\sqrt{\frac{2kr^2}{m}}$　　2　$\sqrt{\frac{2kQqr^2}{m}}$

3　$\sqrt{\frac{2kQq}{mr}}$　　4　$\sqrt{\frac{2kQq}{mr^2}}$

(3) 次に新しい状況として，**図5**のように，x軸とy軸をとり，y軸に平行な一様な電場(強さE〔N/C〕，向きはy軸正の向き)を考える。このxy平面内に長さ$2d$〔m〕の電気を通さない棒を静止させておく。**図5**のように，棒の両端に電荷q〔C〕と$-q$〔C〕($q>0$)の点電荷を固定し，棒とy軸のなす角度をθ〔rad〕($-\pi<\theta\leqq\pi$)とすると，この棒に働く静電気力の合力の大きさは $\boxed{\text{(カ)}}$ 〔N〕である。また，この棒に働く偶力のモーメントは $\boxed{\text{(キ)}}$ 〔N･m〕である。ただし，紙面の表から見て反時計まわりを偶力のモーメントの正の向きとする。

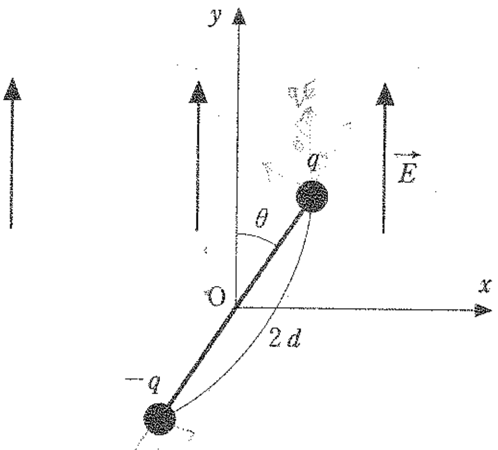

図5

(カ), (キ)の解答群

0　0	1　qE	2　$2\,qE$
3　qdE	4　$2\,qdE$	5　$qE\cos\theta$
6　$2\,qE\sin\theta$	7　$qdE\cos\theta$	8　$2\,qdE\sin\theta$

$2\,qE\sin\theta$

(4) 小問(3)の棒の中心を原点Oに固定し，そのまわりに棒が回転できるようにする。前問で求めた偶力のモーメントが0になる角度が二つある。その二つの角度の状態の内，棒を少し回転したとき元の角度に戻そうとする偶力のモーメントが働く状態は安定な状態と言える。この安定な状態の角度は，$\theta =$ [(ク)] rad である。これに対し，もう一方の角度の状態から棒を少し回転すると，さらにずらそうとする偶力のモーメントが働くので，こちらは不安定な状態と言える。

さて，$\theta = \dfrac{\pi}{2}$ rad の状態を基準にして，棒の向きが θ〔rad〕のときの静電気力による位置エネルギーを求めよう。電荷 q〔C〕の点電荷を電場に平行（y 軸に平行）に Δy〔m〕移動するときに静電気力がする仕事は [(ケ)]〔J〕であり，同じ電荷を電場に垂直に Δx〔m〕移動するときに静電気力がする仕事は [(コ)]〔J〕である。このことから，xy 平面内で，q〔C〕の電荷を位置座標 $(d,\ 0)$（以後，位置座標の成分の単位は〔m〕とする）の点から位置座標 $(d\sin\theta,\ d\cos\theta)$ の点へ移動するときに，静電気力がする仕事は [(サ)]〔J〕である。一方，$-q$〔C〕の電荷を位置座標 $(-d,\ 0)$ の点から $(-d\sin\theta,\ -d\cos\theta)$ へ移動するときに，静電気力がする仕事は [(シ)]〔J〕である。よって，棒の向きが θ〔rad〕の状態の静電気力による位置エネルギーは [(ス)]〔J〕であるといえる。

前述の安定な状態とは，この位置エネルギーが最小となる状態である。

(ク)の解答群

0 0　　1 $\dfrac{\pi}{4}$　　2 $\dfrac{\pi}{2}$　　3 $\dfrac{3\pi}{4}$　　4 π

(ケ)の解答群

0 0　　1 $E\Delta y$　　2 $2E\Delta y$　　3 $qE\Delta y$　　4 $2qE\Delta y$

(コ)の解答群

0 0　　1 $E\Delta x$　　2 $2E\Delta x$　　3 $qE\Delta x$　　4 $2qE\Delta x$

(サ), (シ)の解答群

0 0　　1 $-qEd$　　2 $-qEd\sin\theta$

3 $-qEd\cos\theta$　　4 $-qEd(1-\sin\theta)$　　5 qEd

6 $qEd\sin\theta$　　7 $qEd\cos\theta$　　8 $qEd(1-\sin\theta)$

(ス)の解答群

0 0　　1 $-2qEd$　　2 $-2qEd\sin\theta$

3 $-2qEd\cos\theta$　　4 $-2qEd(1-\sin\theta)$

5 $2qEd$　　6 $2qEd\sin\theta$　　7 $2qEd\cos\theta$

8 $2qEd(1-\sin\theta)$

(5) また，新たな状況を考える。位置座標$(0,\ 0,\ d)$の点Aに点電荷(電荷q〔C〕$(q>0)$)が固定してあるとき，位置座標$(x,\ y,\ z)$の点Pにおける電場$\vec{E}_{\mathrm{A}}$〔N/C〕を求めよう。ベクトル$\overrightarrow{\mathrm{AP}}$を成分で表すと $\boxed{\text{(セ)}}$ となるので，AP間の距離は $\boxed{\text{(ソ)}}$ 〔m〕である。よって，点Pにおける電場の強さは $\boxed{\text{(タ)}}$ 〔N/C〕となり，電場の向きも考慮してベクトルで表すと$\vec{E}_{\mathrm{A}}=$ $\boxed{\text{(チ)}}$ $\times\overrightarrow{\mathrm{AP}}$となる。さらに位置座標$(0,\ 0,\ -d)$の点Bに点電荷(電荷$-q$〔C〕)を固定すると，点Bの電荷による点Pにおける電場$\vec{E}_{\mathrm{B}}$〔N/C〕は$\vec{E}_{\mathrm{B}}=$ $\boxed{\text{(ツ)}}$ $\times\overrightarrow{\mathrm{BP}}$となる。点Pにおける実際の電場$\vec{E}$〔N/C〕は$\vec{E}_{\mathrm{A}}$と$\vec{E}_{\mathrm{B}}$の和である。たとえば，点Pが点Aと点Bから等距離にあるとき(すなわち点Pがxy平面内の点のとき)，電場$\vec{E}$は $\boxed{\text{(テ)}}$ 。

右のページは白紙です。

(セ)の解答群

0 $(x,\ y,\ d)$

1 $(x,\ y,\ z)$

2 $(x,\ y,\ z+d)$

3 $(x,\ y,\ z-d)$

(ソ)の解答群

0 $\sqrt{x^2+y^2+d^2}$

1 $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$

2 $\sqrt{x^2+y^2+(z+d)^2}$

3 $\sqrt{x^2+y^2+(z-d)^2}$

4 $x^2+y^2+d^2$

5 $x^2+y^2+z^2$

6 $x^2+y^2+(z+d)^2$

7 $x^2+y^2+(z-d)^2$

(タ)の解答群

0 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+d^2}$

1 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+z^2}$

2 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z+d)^2}$

3 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z-d)^2}$

4 $\dfrac{kq}{(x^2+y^2+d^2)^2}$

5 $\dfrac{kq}{(x^2+y^2+z^2)^2}$

6 $\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z+d)^2\}^2}$

7 $\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z-d)^2\}^2}$

(チ)の解答群

0 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+d^2}$

1 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+z^2}$

2 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z+d)^2}$

3 $\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z-d)^2}$

4 $\dfrac{kq}{(x^2+y^2+d^2)^{\frac{3}{2}}}$

5 $\dfrac{kq}{(x^2+y^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$

6 $\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z+d)^2\}^{\frac{3}{2}}}$

7 $\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z-d)^2\}^{\frac{3}{2}}}$

(ツ)の解答群

0 $-\dfrac{kq}{x^2+y^2+d^2}$

1 $-\dfrac{kq}{x^2+y^2+z^2}$

2 $-\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z+d)^2}$

3 $-\dfrac{kq}{x^2+y^2+(z-d)^2}$

4 $-\dfrac{kq}{(x^2+y^2+d^2)^{\frac{3}{2}}}$

5 $-\dfrac{kq}{(x^2+y^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$

6 $-\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z+d)^2\}^{\frac{3}{2}}}$

7 $-\dfrac{kq}{\{x^2+y^2+(z-d)^2\}^{\frac{3}{2}}}$

(テ)の解答群

0 0である

1 x 軸正方向を向いている

2 x 軸負方向を向いている

3 y 軸正方向を向いている

4 y 軸負方向を向いている

5 z 軸正方向を向いている

6 z 軸負方向を向いている

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(25点)

以下では，任意の定数 a, b について，$|x|$ が1に比べて十分小さいとき，$(1+x)^a \fallingdotseq 1+ax$ という近似と，$|x|$ と $|y|$ がともに1に比べて十分小さいとき，$(1+x)^a(1+y)^b \fallingdotseq 1+ax+by$ という近似を使ってよい。

(1) 自由に動くことができるピストンのついた容器Aを考え，その中に総分子数 N 個の単原子分子の理想気体を入れる。ボルツマン定数を k_B〔J/K〕とすると，この気体の体積 V〔m^3〕，圧力 P〔Pa〕，温度 T〔K〕は状態方程式 $PV=$ $\boxed{(ア)}$〔J〕で関係付けられ，内部エネルギー U〔J〕を，T を用いて表すと $U=$ $\boxed{(イ)}$〔J〕となる。

(2) この気体の体積を微小体積 ΔV〔m^3〕，温度を微小温度 ΔT〔K〕変化させたとき(**図6**)の，圧力の微小変化を ΔP〔Pa〕とする。ただし $\left|\dfrac{\Delta V}{V}\right|$，$\left|\dfrac{\Delta T}{T}\right|$，$\left|\dfrac{\Delta P}{P}\right|$ はそれぞれ1に比べて十分小さいとする。状態方程式より $P+\Delta P$，$V+\Delta V$，$T+\Delta T$ を関係付けると，$\dfrac{\Delta P}{P}=\left(\boxed{(ウ)}\right)\times\dfrac{\Delta T}{T}+\left(\boxed{(エ)}\right)\times\dfrac{\Delta V}{V}$ であることがわかる。

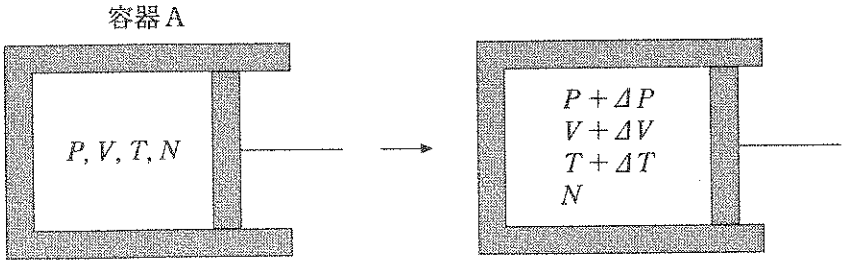

図6

(ア), (イ)の解答群

0 $k_B T$　　1 $\frac{1}{2}k_B T$　　2 $\frac{3}{2}k_B T$

3 $Nk_B T$　　4 $\frac{1}{2}Nk_B T$　　5 $\frac{3}{2}Nk_B T$

(ウ), (エ)の解答群

0 -2　　1 -1　　2 0　　3 1　　4 2

(3) 次に、変化が断熱的である場合を考える。ピストンと容器Aは断熱材でできているとして，小問(1)の状態から気体の体積を断熱的に微小体積 ΔV〔m^3〕だけ増加させる($\Delta V > 0$)。これに伴い圧力も変化するが，その変化量 ΔP〔Pa〕は微小量であり，ΔV と ΔP の積は，微小量同士の積であるため，十分小さいとみなしてよく，無視できるものとすると，この体積変化に伴って気体が外部にした仕事は $P\Delta V$〔J〕である。このため，この断熱的な体積変化による内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕は，$\Delta U = \boxed{\text{(オ)}} \times \dfrac{\Delta V}{V}$〔J〕となる。一方，このときの温度変化を ΔT〔K〕とすると，$\Delta U = \boxed{\text{(カ)}} \times \dfrac{\Delta T}{T}$〔J〕なので，体積変化と温度変化の関係は $\dfrac{\Delta T}{T} = \boxed{\text{(キ)}} \times \dfrac{\Delta V}{V}$ であることがわかる。さらに小問(2)の結果とあわせると，断熱変化における圧力の相対変化は $\dfrac{\Delta P}{P} = \boxed{\text{(ク)}} \times \dfrac{\Delta V}{V}$ となることがわかる。

(オ), (カ)の解答群

0　$-\frac{3}{2}Nk_{\mathrm{B}}T$　　1　$-Nk_{\mathrm{B}}T$　　2　$-\frac{1}{2}Nk_{\mathrm{B}}T$

3　0　　4　$\frac{1}{2}Nk_{\mathrm{B}}T$　　5　$Nk_{\mathrm{B}}T$

6　$\frac{3}{2}Nk_{\mathrm{B}}T$

(キ)の解答群

0　$-\frac{3}{2}$　　1　-1　　2　$-\frac{2}{3}$

3　$-\frac{1}{2}$　　4　0　　5　$\frac{1}{2}$

6　$\frac{2}{3}$　　7　1　　8　$\frac{3}{2}$

(ク)の解答群

0　$-\frac{5}{3}$　　1　$-\frac{3}{2}$　　2　$-\frac{2}{3}$

3　$-\frac{1}{2}$　　4　$-\frac{1}{3}$　　5　$\frac{1}{3}$

6　$\frac{1}{2}$　　7　$\frac{2}{3}$　　8　$\frac{3}{2}$

9　$\frac{5}{3}$

(4) さらに，これまでの断熱容器Aを，断熱膜でできた風船でおきかえて考える。最初風船内部の体積がV〔$\mathrm{m^3}$〕，圧力がP〔Pa〕，温度がT〔K〕，単原子分子気体の総分子数がN個であったとする。気体分子1個の質量をm〔kg〕とし，気体の総質量に対して風船の膜の質量は無視できるものとする。

そして，この風船を風船内と同じ単原子分子気体で満たされた十分大きな容器Bの中に移動する。ただし，容器B内部の圧力は$(P+\Delta P)$〔Pa〕$(\Delta P<0)$，温度は$(T+\Delta T_{\mathrm{B}})$〔K〕とする(図7)。風船の体積は自由に変化することができ，風船内の圧力が容器B内の圧力と等しくなるよう体積が変化した。ただし，容器Bは十分大きいので，風船の体積が変わることによる容器Bの気体に対する影響は無視できるものとする。また風船と容器Bの気体の間で熱のやりとりはないので，風船内部の温度$(T+\Delta T_{\mathrm{A}})$〔K〕と容器Bの気体の温度$(T+\Delta T_{\mathrm{B}})$〔K〕は異なっていてもよい。$\left|\dfrac{\Delta T_{\mathrm{A}}}{T}\right|$，$\left|\dfrac{\Delta T_{\mathrm{B}}}{T}\right|$，$\left|\dfrac{\Delta P}{P}\right|$が，それぞれ1より十分小さいとすると，容器Bの気体の密度ρ_{B}〔$\mathrm{kg/m^3}$〕は$\rho_{\mathrm{B}}=\dfrac{mP}{k_{\mathrm{B}}T}\times\left\{1+\left(\boxed{\text{(ケ)}}\right)\times\dfrac{\Delta P}{P}+\left(\boxed{\text{(コ)}}\right)\times\dfrac{\Delta T_{\mathrm{B}}}{T}\right\}$と近似できる。一方，このとき風船の気体の密度$\rho_{\mathrm{A}}$〔$\mathrm{kg/m^3}$〕は，小問(3)で求めた断熱変化における圧力変化と体積変化の関係を使って$\rho_{\mathrm{A}}=\dfrac{mP}{k_{\mathrm{B}}T}\times\left\{1+\left(\boxed{\text{(サ)}}\right)\times\dfrac{\Delta P}{P}\right\}$と近似できる。下向きに重力が働いているとすると，この二つの密度ρ_{A}，ρ_{B}を比べることで，$\dfrac{\Delta T_{\mathrm{B}}}{T}<\boxed{\text{(シ)}}\times\dfrac{\Delta P}{P}$のとき，風船は浮力によって上昇しようとし，$\dfrac{\Delta T_{\mathrm{B}}}{T}>\boxed{\text{(シ)}}\times\dfrac{\Delta P}{P}$のとき，風船は下降しようとすることがわかる。

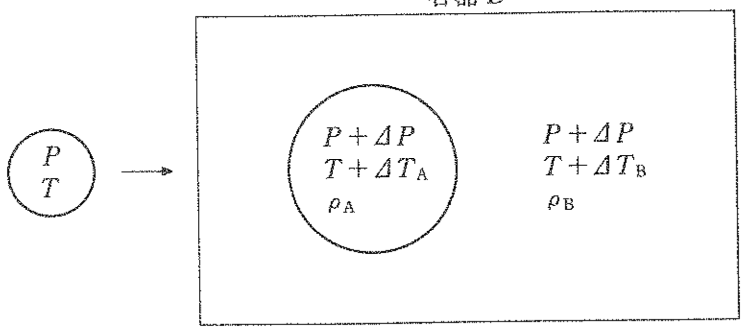

図7

(ケ), (コ)の解答群

0 $-\frac{5}{2}$　　1 -1　　2 $-\frac{2}{3}$　　3 $-\frac{1}{2}$　　4 $-\frac{2}{5}$

5 $\frac{2}{5}$　　6 $\frac{1}{2}$　　7 $\frac{2}{3}$　　8 1　　9 $\frac{5}{2}$

(サ)の解答群

0 $-\frac{5}{3}$　　1 -1　　2 $-\frac{2}{3}$　　3 $-\frac{1}{2}$　　4 $-\frac{3}{5}$

5 $\frac{3}{5}$　　6 $\frac{1}{2}$　　7 $\frac{2}{3}$　　8 1　　9 $\frac{5}{3}$

(シ)の解答群

0 $-\frac{5}{2}$　　1 -1　　2 $-\frac{2}{3}$　　3 $-\frac{1}{2}$　　4 $-\frac{2}{5}$

5 $\frac{2}{5}$　　6 $\frac{1}{2}$　　7 $\frac{2}{3}$　　8 1　　9 $\frac{5}{2}$