平成 25 年度　　　　　　　　　　　　　　　〔試験時間　80 分〕

D３ 物理　D４ 化学　D５ 生物

この冊子は，物理，化学および生物の問題を１冊にまとめてあります。

物理学科は物理指定

応用生物科学科と経営工学科は，物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は，　1 ページより 19 ページまであります。
化学の問題は，20 ページより 30 ページまであります。
生物の問題は，31 ページより 52 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と氏名を記入し，さらに受験番号と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 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(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。

物　　理

1　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。)　(40点)

ばねで接続された小球が水平面上で別の小球や鉛直な壁と衝突することによる運動の変化を考えよう。以下の各設問で，各小球は水平な同一直線上を運動し，水平床面と小球の間の摩擦は無視できて，小球どうしの衝突も小球と壁の衝突も，すべて弾性衝突であるとする。また，小球の直径はばねの長さに比べてじゅうぶん小さく，ばねの質量は小球の質量に比べて無視できるほど小さいとする。

(1)　同じ質量 m[kg] をもつ２つの小球 A と B が，ばね定数が k[N/m] で自然長が L[m] であるばねでつながれている。A よりも B が右になるように，壁からそれぞれ距離 $(X+L)$[m] と X[m] にある O_A 点と O_B 点において静止させた(**図1(a)**)。そこに左から速度 v_0[m/s] で質量 m[kg] の小球 C が進んできて小球 A と衝突した（**図1(b)**)。ただし，位置と速度は右向き（壁に近づく向き）を正とし，C が A に衝突した瞬間を時刻 $t=0$ s とする。また，v_0 は十分小さく，衝突後にばねの長さがゼロまで縮んで A と B が衝突することはないとする。

衝突後の A と B の運動を考えるため，初期位置 O_A 点と O_B 点からの A と B の変位を時刻 t[s] においてそれぞれ，$x_A(t)$[m] と $x_B(t)$[m] で表すことにする(**図1(a)**)。つまり，$t=0$ に，A と B はそれぞれの初期位置 O_A 点と O_B 点から運動を始め，時刻 t までにそれぞれ $x_A(t)$ と $x_B(t)$ だけ移動する。A と B の間の距離は x_B-x_A+L で与えられ，A と B の間のばねの長さの自然長からの変化は，x_B-x_A である。また，A と B の重心はそれらの中点にあり，O_A 点から，$\frac{1}{2}(x_B+x_A+L)$ だけ右の位置にある。

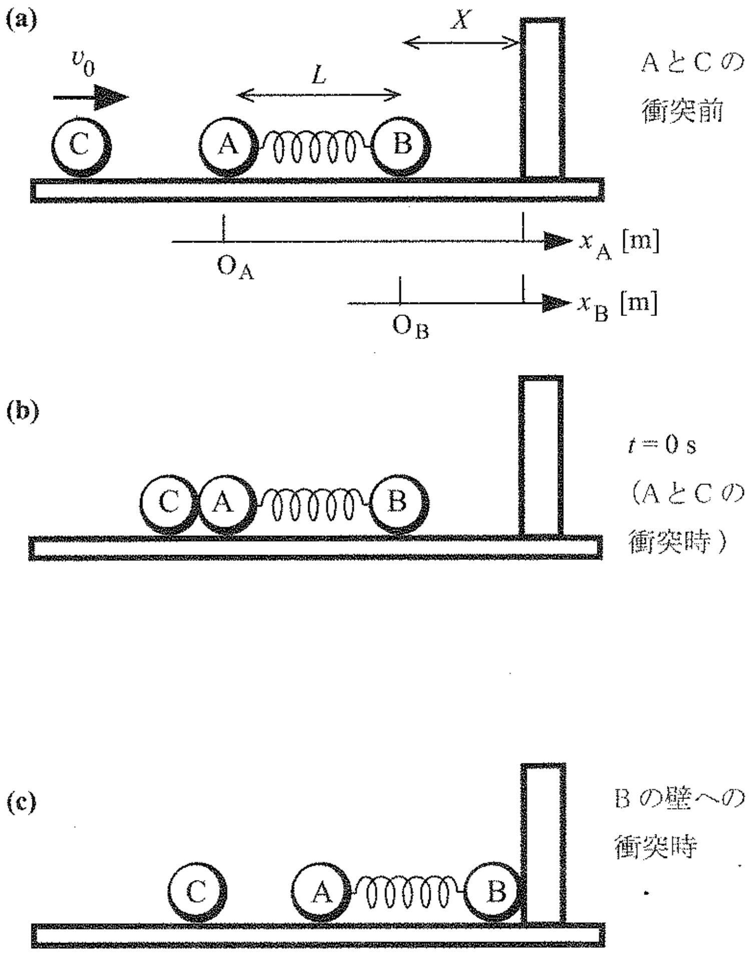


図1

ばねの長さや小球間距離などに対して，小球の半径を誇張して描いてある。

衝突の瞬間を除き，A と B に働く水平方向の力としてはばねの復元力だけが作用する。そこで，時刻 t での A と B の速度をそれぞれ $v_A(t)$ [m/s] および $v_B(t)$ [m/s]，加速度をそれぞれ a_A [m/s^2] および a_B [m/s^2] と書くと運動方程式として，$ma_A = k($ $\boxed{(ア)}$ $)$ と $ma_B = -k($ $\boxed{(ア)}$ $)$ が成り立つことから，$a_A + a_B = 0$，および，$a_B - a_A = ($ $\boxed{(イ)}$ $) \times ($ $\boxed{(ア)}$ $)$ である。一方，A に C が衝突した直後，A と B の速度はそれぞれ $v_A(0) =$ $\boxed{(ウ)}$ と $v_B(0) =$ $\boxed{(エ)}$ となる。関係式 $a_A + a_B = 0$ から，A の速度 v_A と B の速度 v_B の和は一定になっていて，衝突直後の値，$v_A(0) + v_B(0)$ に等しい。したがって A と B の変位の和 $x_A + x_B$ は $x_A(t) + x_B(t) = \{v_A(0) + v_B(0)\}t$ のように時間変化するので，A と B の重心は一定の速度 $\boxed{(オ)}$ で進むことがいえる。一方，$a_B - a_A = ($ $\boxed{(イ)}$ $) \times ($ $\boxed{(ア)}$ $)$ の式は，A と B の間のばねの長さの自然長からの変化 x_{AB} [m] $= x_B - x_A$ が単振動の式に従って，周期 $T =$ $\boxed{(カ)}$ [s] で時間変化することを示している。A と C の衝突直後には，$x_{AB}(0) = x_B(0) - x_A(0) = 0$ であり，また，A からみた B の速度は $v_B(0) - v_A(0) =$ $($ $\boxed{(エ)}$ $) - ($ $\boxed{(ウ)}$ $)$ である。これらから，x_{AB} の時間変化は $x_{AB}(t) =$ $($ $\boxed{(キ)}$ $\times T) \times \sin\left(2\pi \dfrac{t}{T}\right)$ と表される。A-B 間のばねの長さ $x_{AB} + L$ も同じ周期で時間変化する。

C と A の衝突後，ばねの長さが初めて自然長 L に戻ったときに B が右側にある壁に衝突した（**図1(c)**）。このことから，O_B 点と壁の間の距離は $X =$ $\boxed{(ク)}$ $\times T$ [m] であることがわかる。壁に衝突した直後の B の速度は $\boxed{(ケ)}$ [m/s] となり，A と B の重心は速度 $\boxed{(コ)}$ [m/s] をもつ。壁に衝突した後も $x_A + x_B$ と $x_B - x_A$ の時間変化は衝突する前と同様の式にしたがうが，衝突によって B が新しい初速度をもつことが異なる。壁に衝突してから時間 $\boxed{(サ)}$ [s] が経過すると，再び A と C が衝突する。最後の衝突のあと，A と B の重心の速度は $\boxed{(シ)}$ [m/s]，C の速度は $\boxed{(ス)}$ [m/s] となる。最初に C が A に衝突してから最後に A が C に衝突するまでの，O_A 点から見た小球 A と B の位置の時間変化を描いたグラフとして最も適切なのは $\boxed{(セ)}$ である。

(ア) の解答群

0 $x_A + x_B$　　1 $x_B - x_A$　　2 x_A

3 $-x_A - x_B$　　4 $x_A - x_B$　　5 x_B

(イ) の解答群

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

(ウ), (エ), (オ) の解答群

0 0　　1 v_0　　2 $2v_0$　　3 $\frac{v_0}{2}$　　4 $-v_0$　　5 $-\frac{v_0}{2}$

(カ) の解答群

0 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$　　1 $\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$　　2 $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$

3 $\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$　　4 $\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$　　5 $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}$

(キ) の解答群

0 $\frac{v_0}{\pi}$　　1 $\frac{v_0}{2\pi}$　　2 $\frac{2v_0}{\pi}$

3 $-\frac{v_0}{\pi}$　　4 $-\frac{v_0}{2\pi}$　　5 $-\frac{2v_0}{\pi}$

(ク) の解答群

0 $\frac{v_0}{8}$　　1 $\frac{v_0}{4}$　　2 $\frac{v_0}{2}$

3 v_0　　4 $2v_0$　　5 $4v_0$

(ケ), (コ) の解答群

0 0　　1 v_0　　2 $2v_0$　　3 $\frac{v_0}{2}$　　4 $-v_0$　　5 $-\frac{v_0}{2}$

(サ) の解答群

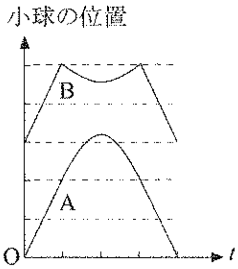
0 $\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ 1 $\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$ 2 $\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$

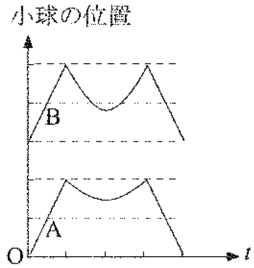
3 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ 4 $2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$ 5 $\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$

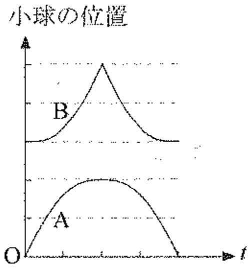
(シ), (ス) の解答群

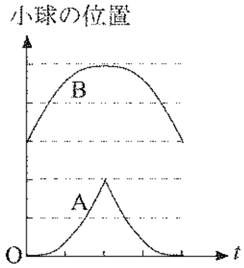
0 0 1 v_0 2 $2v_0$ 3 $\dfrac{v_0}{2}$ 4 $-v_0$ 5 $-\dfrac{v_0}{2}$

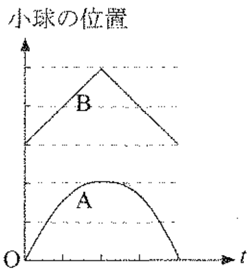
(セ) の解答群

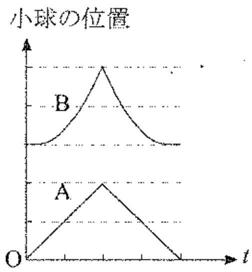
0


1


2


3


4


5


左のページは白紙です。

(2)　前問 (1) と同じばねでつながれた小球 A と B を，ばねを自然長に保ったまま，前問 (1) と同様に O_A 点と O_B 点におき，時刻 $t = 0$ に，A と B にともに右向きに等しい初速度 v_0 を与えて運動させた（図2）。そのあと B は壁に衝突し，ばねが縮み始めた。前問 (1) と同様に，v_0 は十分小さく，ばねの長さがゼロまで縮んで A と B が衝突することはないとする。衝突直後の B の速度は $\boxed{\text{(ソ)}}$ [m/s] であり，A と B の重心の壁に対する速度は $\boxed{\text{(タ)}}$ [m/s] である。最初の衝突から時間 $\boxed{\text{(チ)}}$ [s] が経過すると，ばねが伸びてきたことにより，B が再び壁に衝突する。２回目の衝突直後の B の速度は $\boxed{\text{(ツ)}}$ [m/s] であり，このあと A と B の重心は壁に対して速度 $\boxed{\text{(テ)}}$ [m/s] で運動する。時刻 $t = 0$ 以降の O_A 点から見た小球 A と B の位置の時間変化を描いたグラフとして最も適切なのは $\boxed{\text{(ト)}}$ である。

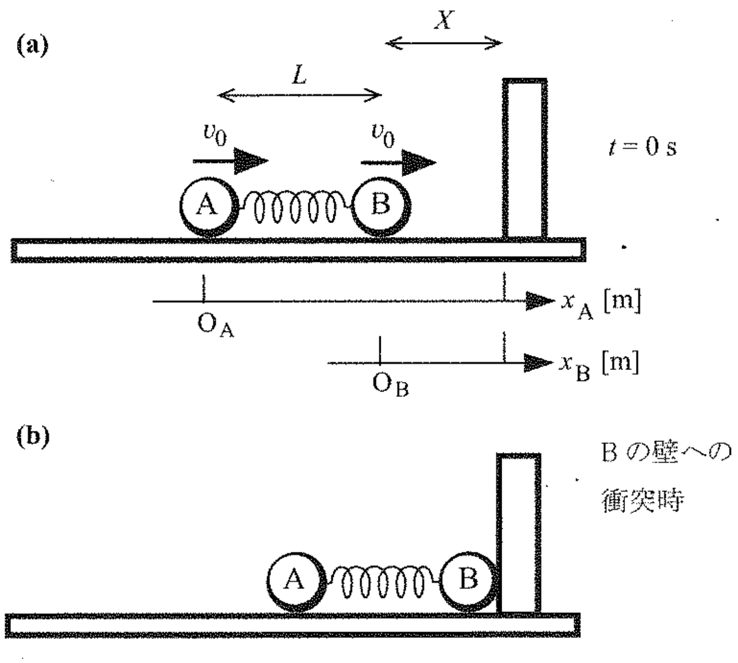


図2

ばねの長さや小球間距離などに対して，小球の半径を誇張して描いてある。

(ソ)，(タ) の解答群

0　0　　1　v_0　　2　$2v_0$　　3　$\dfrac{v_0}{2}$　　4　$-v_0$　　5　$-\dfrac{v_0}{2}$

(チ) の解答群

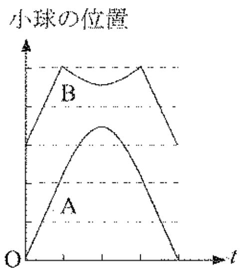
0　$\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　　1　$\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$　　2　$\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$

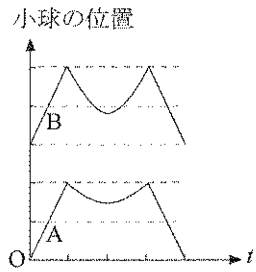
3　$2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　　4　$2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$　　5　$\dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$

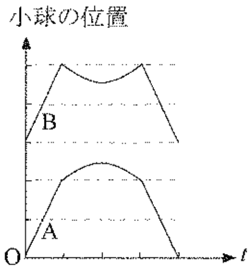
(ツ)，(テ) の解答群

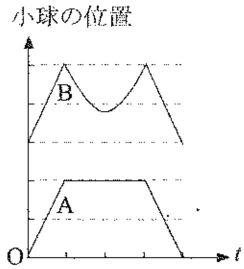
0　0　　1　v_0　　2　$2v_0$　　3　$\dfrac{v_0}{2}$　　4　$-v_0$　　5　$-\dfrac{v_0}{2}$

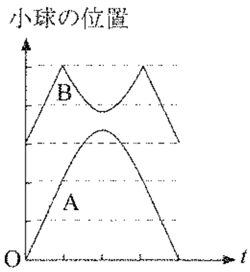
(ト) の解答群

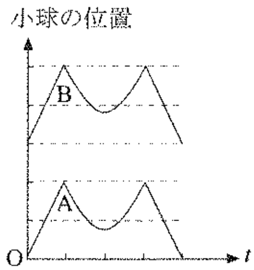
0


1


2


3


4


5


2 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。)　(30点)

図3のような絶縁体でできた細い棒がある。この棒には q [C] の正の電荷を帯びたビーズ状の（孔の空いた）導体球を通すことができる。棒の左端をA点，右端をB点とする。棒にはストッパーが付いていて，導体球はO点より左（A点の方向）へは移動できないが，O点より右（B点の方向）には摩擦なしで移動できる。AO間の距離を a [m]，OB間の距離を b [m]，導体球の質量を m [kg]，クーロンの法則の定数を $k\,[\mathrm{N\cdot m^2/C^2}]$，重力加速度の大きさを $g\,[\mathrm{m/s^2}]$ とする。なお，導体球やストッパーまた以下に出てくる物体は，図では実際より大きく描かれており，それらの大きさは無視することができるほど小さいとする。

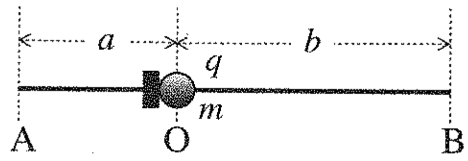


図3

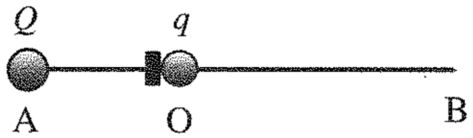


図4

(1) **図4**のように，この棒のA点に電荷を帯びた物体を固定し，棒を水平に保って導体球をO点まで持っていった。A点に固定した物体の電荷を Q [C] とおくと，この電荷がO点に作る電場の大きさは $\boxed{\text{(ア)}}$ [N/C] である。

その後導体球を静かに放すと，導体球はO点からB点に向かって運動しB点をこえて棒から飛び出した。導体球がO点から動きだしてB点に到達するまでに，Qの電荷が作る電場が導体球にした仕事は $\boxed{\text{(イ)}}$ [J] である。

(ア)の解答群

0 $k\dfrac{q}{a^2}$　　1 $k\dfrac{Q}{a^2}$　　2 $k\dfrac{qQ}{a^2}$

3 $k\dfrac{q}{a}$　　4 $k\dfrac{Q}{a}$　　5 $k\dfrac{qQ}{a}$

(イ)の解答群

0 $kq\left(\dfrac{1}{a^2}-\dfrac{1}{(a+b)^2}\right)$　　1 $kq\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{a+b}\right)$

2 $kQ\left(\dfrac{1}{a^2}-\dfrac{1}{(a+b)^2}\right)$　　3 $kQ\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{a+b}\right)$

4 $kqQ\left(\dfrac{1}{a^2}-\dfrac{1}{(a+b)^2}\right)$　　5 $kqQ\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{a+b}\right)$

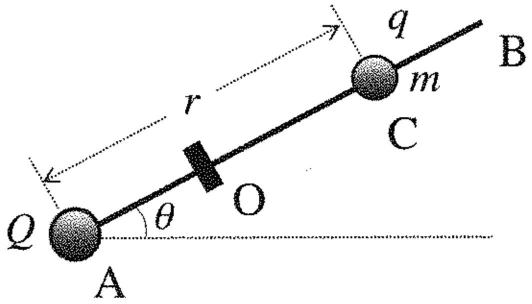


図5

つぎに，棒を水平方向からある角度だけ傾けた状態に保ち，導体球を O 点まで持っていってから静かに放す。**図 5** に示すように棒と水平面とのなす角を θ [rad] とする。θ は $0 \leqq \theta \leqq \pi/2$ の範囲で変化させる。

θ がある値 θ_1 よりも小さいとき，O 点で放した導体球は B 点に向かって運動し B 点をこえて棒から飛び出した。このとき，導体球が O 点から B 点まで運動する間に，Q の電荷が作る電場が導体球にした仕事は $\boxed{\text{(ウ)}}$ [J] であり，重力が導体球にした仕事は $\boxed{\text{(エ)}}$ [J] である。

θ が θ_1 より大きく θ_2 より小さいときは，O 点で放した導体球は B 点に向かって運動したが B 点には到達しなかった。このとき，導体球を O 点から B 点の間で動かして導体球が静止する位置を求める。**図 5** に示すように，この静止位置を C 点，AC 間の距離を r [m] とすると，力のつりあいの条件から $r = \boxed{\text{(オ)}}$ [m] と求められる。

θ が θ_2 以上のときは，導体球を放しても O 点から動かなかった。この θ_2 などを用いて，A 点の物体の電荷が $Q = \boxed{\text{(カ)}}$ [C] と求められる。

(ウ) の解答群

0 $kq\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{(a+b)^2}\right)$　　1 $kq\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{a+b}\right)$

2 $kQ\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{(a+b)^2}\right)$　　3 $kQ\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{a+b}\right)$

4 $kqQ\left(\frac{1}{a^2}-\frac{1}{(a+b)^2}\right)$　　5 $kqQ\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{a+b}\right)$

(エ) の解答群

0 mgb　　1 $mgb\sin\theta$　　2 $mgb\cos\theta$

3 $-mgb$　　4 $-mgb\sin\theta$　　5 $-mgb\cos\theta$

(オ) の解答群

0 $\sqrt{\frac{mg\sin\theta}{kQq}}$　　1 $\sqrt{\frac{kQq}{mg\sin\theta}}$　　2 $\sqrt{\frac{mg\cos\theta}{kQq}}$　　3 $\sqrt{\frac{kQq}{mg\cos\theta}}$

4 $\frac{mg\sin\theta}{kQq}$　　5 $\frac{kQq}{mg\sin\theta}$　　6 $\frac{mg\cos\theta}{kQq}$　　7 $\frac{kQq}{mg\cos\theta}$

(カ) の解答群

0 $\frac{kq}{mga\sin\theta_2}$　　1 $\frac{kq}{mga\cos\theta_2}$　　2 $\frac{mga\sin\theta_2}{kq}$　　3 $\frac{mga\cos\theta_2}{kq}$

4 $\frac{kq}{mga^2\sin\theta_2}$　　5 $\frac{kq}{mga^2\cos\theta_2}$　　6 $\frac{mga^2\sin\theta_2}{kq}$　　7 $\frac{mga^2\cos\theta_2}{kq}$

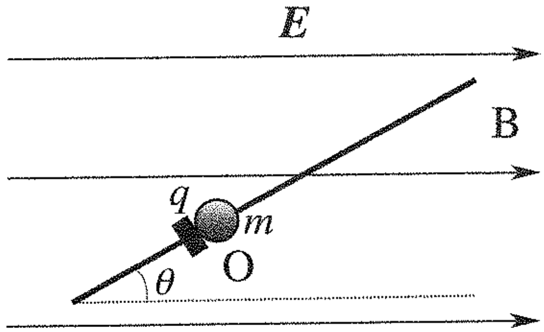


図6

(2) A 点の物体をとりはずし，**図 6** のように，棒を水平面とのなす角が θ [rad] になる状態に保って，大きさ E [N/C] の一様な電場を水平方向右向きにかけた。導体球を O 点まで持っていってから静かにはなしたところ，導体球は O 点から B 点に向かって運動した。導体球が B 点に到達したときの速さは $v_B =$ $\boxed{\text{(キ)}}$ [m/s] である。また，導体球が O 点から B 点まで運動する間に，電場が導体球にした仕事は $\boxed{\text{(ク)}}$ [J] であり，重力が導体球にした仕事は $\boxed{\text{(ケ)}}$ [J] である。

導体球は，B 点を飛び出した後も大きさ E [N/C] の水平方向の電場がある空間を運動する。導体球が B 点を飛び出してから最高点に達するまでに要する時間は $t =$ $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times v_B$ [s]，B 点から最高点までの鉛直距離は $y_h =$ $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times v_B^2$ [m]，B 点から最高点までの水平距離は $x_h =$ $\boxed{\text{(シ)}}$ $\times v_B^2$ [m] である。ここで，$y_h = b\sin\theta$ とするためには，電場を $E = (\boxed{\text{(ス)}}) \times \dfrac{mg}{q}$ とすればよい。

(キ) の解答群

0 $\sqrt{b\left(\dfrac{qE}{m}\sin\theta+g\cos\theta\right)}$　　1 $\sqrt{2b\left(\dfrac{qE}{m}\sin\theta+g\cos\theta\right)}$

2 $\sqrt{b\left(\dfrac{qE}{m}\cos\theta+g\sin\theta\right)}$　　3 $\sqrt{2b\left(\dfrac{qE}{m}\cos\theta+g\sin\theta\right)}$

4 $\sqrt{b\left(\dfrac{qE}{m}\sin\theta-g\cos\theta\right)}$　　5 $\sqrt{2b\left(\dfrac{qE}{m}\sin\theta-g\cos\theta\right)}$

6 $\sqrt{b\left(\dfrac{qE}{m}\cos\theta-g\sin\theta\right)}$　　7 $\sqrt{2b\left(\dfrac{qE}{m}\cos\theta-g\sin\theta\right)}$

(ク) の解答群

0 qEb　　1 $qEb\sin\theta$　　2 $qEb\cos\theta$

3 $-qEb$　　4 $-qEb\sin\theta$　　5 $-qEb\cos\theta$

(ケ) の解答群

0 mgb　　1 $mgb\sin\theta$　　2 $mgb\cos\theta$

3 $-mgb$　　4 $-mgb\cos\theta$　　5 $-mgb\sin\theta$

(コ), (サ) の解答群

0 $\dfrac{\sin\theta}{2g}$　　1 $\dfrac{\cos\theta}{2g}$　　2 $\dfrac{\sin^2\theta}{2g}$　　3 $\dfrac{\cos^2\theta}{2g}$

4 $\dfrac{\sin\theta}{g}$　　5 $\dfrac{\cos\theta}{g}$　　6 $\dfrac{\sin^2\theta}{g}$　　7 $\dfrac{\cos^2\theta}{g}$

(シ) の解答群

0 $\dfrac{\sin\theta}{g}\left(\dfrac{qE\cos\theta}{2mg}+\sin\theta\right)$　　1 $\dfrac{\cos\theta}{g}\left(\dfrac{qE\cos\theta}{2mg}+\sin\theta\right)$

2 $\dfrac{\sin\theta}{g}\left(\dfrac{qE\sin\theta}{2mg}+\cos\theta\right)$　　3 $\dfrac{\cos\theta}{g}\left(\dfrac{qE\sin\theta}{2mg}+\cos\theta\right)$

4 $\dfrac{\sin\theta}{g}\left(\dfrac{qE\cos\theta}{mg}+\sin\theta\right)$　　5 $\dfrac{\cos\theta}{g}\left(\dfrac{qE\cos\theta}{mg}+\sin\theta\right)$

6 $\dfrac{\sin\theta}{g}\left(\dfrac{qE\sin\theta}{mg}+\cos\theta\right)$　　7 $\dfrac{\cos\theta}{g}\left(\dfrac{qE\sin\theta}{mg}+\cos\theta\right)$

(ス) の解答群

0 $\sin\theta + \dfrac{1}{\sin\theta}$	1 $\cos\theta + \dfrac{1}{\cos\theta}$
2 $\sin\theta + \dfrac{2}{\sin\theta}$	3 $\cos\theta + \dfrac{2}{\cos\theta}$
4 $\tan\theta + \dfrac{1}{\sin^2\theta}$	5 $\tan\theta + \dfrac{1}{\cos^2\theta}$
6 $\tan\theta + \dfrac{1}{\sin\theta\cos\theta}$	7 $\tan\theta + \dfrac{2}{\sin^2\theta}$
8 $\tan\theta + \dfrac{2}{\cos^2\theta}$	9 $\tan\theta + \dfrac{2}{\sin\theta\cos\theta}$

左のページは白紙です。

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。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。)　　(30 点)

図7(a) に示すように，鉛直に立てた断面積 $S\,[\mathrm{m^2}]$ のシリンダーに質量 $m\,[\mathrm{kg}]$ のピストンを使って，外気圧 $P_0\,[\mathrm{Pa}]$ の下で，温度 $T_\mathrm{A}\,[\mathrm{K}]$ で物質量 $x\,[\mathrm{mol}]$ の単原子分子理想気体を封入したら，ピストンはシリンダーの底面から高さ $L_\mathrm{A}\,[\mathrm{m}]$ のところで静止した。シリンダーの高さはじゅうぶんにあり，外部の熱源と接続して内部の気体を加熱したり冷却したりすることができる。また，ピストンはシリンダー内を自由に上下できる。気体定数を $R\,[\mathrm{J/(mol\cdot K)}]$，重力加速度の大きさは $g\,[\mathrm{m/s^2}]$ とする。以下では，状態 X から Y に至る過程で，気体がされる仕事を記号 W_XY [J] で表し，気体の吸収する熱量を記号 Q_XY [J] と書く。

シリンダー内の気体の体積と圧力の関係によって，L_A を S, m, P_0, T_A, x および R を用いて表すと，$L_\mathrm{A} = xRT_\mathrm{A} \times (\boxed{\text{(ア)}})$ である。この最初の状態 A に対して，シリンダーに熱源を接続し，内部の気体を徐々に加熱して温度 $T_\mathrm{B} = \alpha T_\mathrm{A}$ [K] （α は 1 より大きい定数とする）にした。その際，ピストンが元の高さ L_A にとどまるように密度 $\rho\,[\mathrm{kg/m^3}]$ の不揮発性の油をピストンの上に徐々に注いだ（**図7(b)**）。シリンダー内の気体が温度 T_B になったとき，油の深さは $h = \boxed{\text{(イ)}}$ [m] になっている。この状態を B とする。状態 A から B までの過程で気体が吸収する熱量は，$Q_\mathrm{AB} = \boxed{\text{(ウ)}} \times RT_\mathrm{A}$ [J] である。

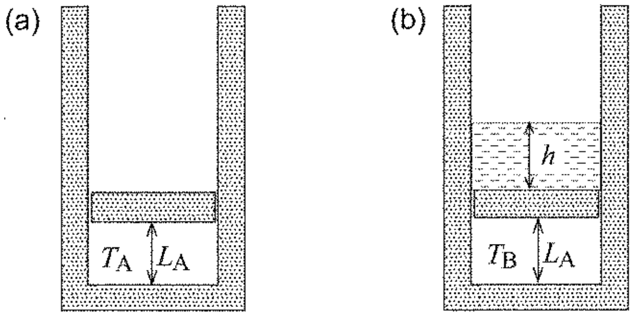


図7

(ア) の解答群

0 $P_0+\dfrac{mg}{S}$　　1 P_0S-mg　　2 P_0S+mg

3 $\dfrac{S}{P_0S+mg}$　　4 $\dfrac{1}{P_0S-mg}$　　5 $\dfrac{1}{P_0S+mg}$

(イ) の解答群

0 $\dfrac{(\alpha+1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$　　1 $\dfrac{(\alpha-1)(P_0S-mg)}{\rho gS}$　　2 $\dfrac{(\alpha-1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$

3 $\dfrac{(\alpha+1)(P_0S+mg)}{\rho g}$　　4 $\dfrac{(\alpha-1)(P_0S-mg)}{\rho g}$　　5 $\dfrac{(\alpha-1)(P_0S+mg)}{\rho g}$

(ウ) の解答群

0 $\dfrac{1}{2}(\alpha-1)x$　　1 $\dfrac{3}{2}(\alpha-1)x$　　2 $\dfrac{5}{2}(\alpha-1)x$

3 $\dfrac{1}{2}(\alpha+1)x$　　4 $\dfrac{3}{2}(\alpha+1)x$　　5 $\dfrac{5}{2}(\alpha+1)x$

次に熱源を交換し，ピストン上の油の量を変化させずに，内部の気体が温度 $T_C = \alpha T_B$ [K] になるまで徐々に加熱した。すると，ピストンは高さ $L_C =$ $\boxed{\text{(エ)}}$ [m] まで上昇した。この状態を C とする。状態 B から C までの過程で，気体が吸収する熱量は $Q_{BC} =$ $\boxed{\text{(オ)}}$ $\times RT_A$ [J]，気体がした仕事は，$-W_{BC} =$ $\boxed{\text{(カ)}}$ $\times RT_A$ [J] である。

状態 C に対して，再び熱源を交換し，気体を徐々に冷やして温度を T_B にした。その際に，ピストン上の油を徐々に抜きとって，ピストンの高さが状態 C から変わらないようにした。この状態を D とする。状態 D では，ピストン上の油は深さ $\boxed{\text{(キ)}}$ [m] となっている。状態 C から D までの過程で気体が放出した熱量は，$-Q_{CD} =$ $\boxed{\text{(ク)}}$ $\times RT_A$ [J] である。

次に，さらに熱源を交換し，気体を徐々に冷やして温度を最初の状態 A と同じ T_A に戻した。この状態を E とする。状態 E でのピストンの高さは $\boxed{\text{(ケ)}}$ [m] になる。状態 D から E の過程で気体が放出した熱量は，$-Q_{DE} =$ $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times RT_A$ [J]，気体がされた仕事は $W_{DE} =$ $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times RT_A$ [J] である。

以上の過程 A → B → C → D → E を通して，気体が吸収した熱量は $Q_{in} = Q_{AB} + Q_{BC} =$ $\boxed{\text{(シ)}}$ $\times RT_A$ [J] である。気体がした正味の仕事 $-W_{BC} - W_{DE}$ の Q_{in} に対する割合は，α を大きくすると $\boxed{\text{(ス)}}$ が，$\boxed{\text{(セ)}}$ を越えることはない。過程 A → B → C → D → E におけるピストンの高さ L [m] とピストン上の油の深さ h の関係を，$\alpha = 2$ の場合に図示したものとして最も適切なのは $\boxed{\text{(ソ)}}$ である。

(エ) の解答群

0 αL_A　1 $\frac{1}{2}\alpha L_A$　2 $\frac{3}{2}\alpha L_A$　3 $\frac{1}{\alpha L_A}$　4 $\frac{2}{\alpha L_A}$　5 $\frac{2}{3\alpha L_A}$

(オ)，(カ)，(ク) の解答群

0 $\alpha(\alpha-1)x$　1 $\frac{3}{2}\alpha(\alpha-1)x$　2 $\frac{5}{2}\alpha(\alpha-1)x$

3 $\alpha(\alpha+1)x$　4 $\frac{3}{2}\alpha(\alpha+1)x$　5 $\frac{5}{2}\alpha(\alpha+1)x$

(キ) の解答群

0 0　1 $\frac{(\alpha-1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$　2 $\frac{(\alpha^2-1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$

3 $\frac{(\alpha-1)^2(P_0S+mg)}{\rho gS}$　4 $\frac{(\alpha+1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$　5 $\frac{(\alpha^2+1)(P_0S+mg)}{\rho gS}$

(ケ) の解答群

0 αL_A　1 $\alpha^2 L_A$　2 $(\alpha-1)L_A$

3 $(\alpha^2-1)L_A$　4 $2\alpha L_A$　5 L_A

(コ)，(サ) の解答群

0 $(\alpha-1)x$　1 $\frac{3}{2}(\alpha-1)x$　2 $\frac{5}{2}(\alpha-1)x$

3 $(\alpha+1)x$　4 $\frac{3}{2}(\alpha+1)x$　5 $\frac{5}{2}(\alpha+1)x$

(シ) の解答群

0 $\frac{(\alpha+1)(5\alpha+3)x}{2}$　1 $\frac{(\alpha+1)(5\alpha-3)x}{2}$　2 $\frac{(\alpha+1)(3\alpha+5)x}{2}$

3 $\frac{(\alpha-1)(5\alpha+3)x}{2}$　4 $\frac{(\alpha-1)(5\alpha-3)x}{2}$　5 $\frac{(\alpha-1)(3\alpha+5)x}{2}$

(ス) の解答群

0 増加する　1 減少する

2 いったん増加してから減少する　3 いったん減少してから増加する

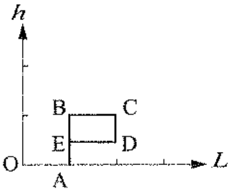
4 変化しない

(セ) の解答群

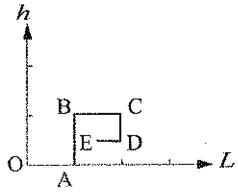
0 $\frac{1}{3}$　　1 $\frac{1}{4}$　　2 $\frac{1}{5}$　　3 $\frac{2}{5}$　　4 $\frac{2}{7}$

(ソ) の解答群

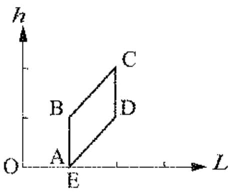
0



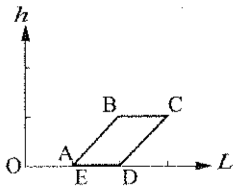
1



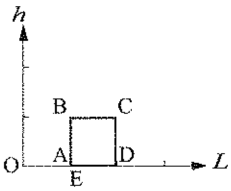
2



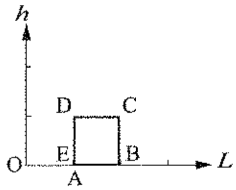
3



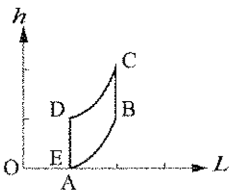
4



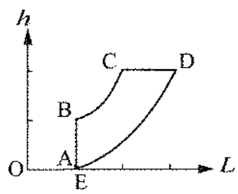
5



6



7



左のページは白紙です。