

(2015年度)

# 物理問題 (90分)

(この問題冊子は7ページ, 3問である。)

## 受験についての注意

1. 監督の指示があるまで, 問題冊子を開いてはならない。
2. 試験開始前に, 監督から指示があったら, 解答用紙の右上の番号が自分の受験番号と一致することを確認し, 所定の欄に氏名を記入すること。次に, 解答用紙の右側のミシン目にそって, きれいに折り曲げてから, 受験番号と氏名が書かれた切片を切り離し, 机上に置くこと。
3. 監督から試験開始の指示があったら, この問題冊子が, 上に記したページ数どおりそろっていることを確かめること。
4. 筆記具は, HかFかHBの黒鉛筆またはシャープペンシルに限る。万年筆・ボールペンなどを使用してはならない。時計に組み込まれたアラーム機能, 計算機能, 辞書機能などを使用してはならない。
5. 解答は, 解答用紙の各問の選択肢の中から正解と思うものを選んで, そのマーク欄をぬりつぶすこと。その他の部分には何も書いてはならない。
6. マークをするとき, マーク欄からはみ出したり, 白い部分を残したり, 文字や番号, ○や×をつけてはならない。
7. 訂正する場合は, 消しゴムでていねいに消すこと。消しきずはきれいに取り除くこと。
8. 解答用紙を折り曲げたり, 破ったりしてはならない。
9. 試験時間中に退場してはならない。
10. 解答用紙を持ち帰ってはならない。
11. 問題冊子, 計算用紙は必ず持ち帰ること。

1 図1のように、質量  $m$  の物体と質量  $\frac{m}{2}$  の板が水平面からの傾き  $30^\circ$  の斜面上で静止している。斜面と板の間に摩擦はないが、物体と板の間には動摩擦係数  $\mu$  の摩擦力が働く。板と斜面は十分に長く、物体と板の位置エネルギーは図1の状態を基準として測るものとし、重力加速度を  $g$  とする。

時刻  $t = 0$  で物体に斜面に沿って上向きに初速度  $v_0$  を与えると、板も斜面上を動き始めた。斜面に沿った上向き方向の物体の速度を  $v$ 、板の速度を  $V$  として、この運動における  $v$ 、 $V$  と時刻  $t$  の関係をグラフに表すと図2が得られた。この運動を以下の手順で調べよう。

1. 物体と板が斜面上を動き始めた後、時刻  $t$  における物体の速度は  $v = v_0 + [ 1 ] \times (-gt) + [ 2 ] \times (-\mu gt)$ 、板の速度は  $V = [ 3 ] \times (-gt) + [ 4 ] \times \mu gt$  と表せる。また、物体が動いた距離は  $v_0 t + [ 5 ] \times (-gt^2) + [ 6 ] \times (-\mu gt^2)$ 、板が動いた距離は  $[ 7 ] \times (-gt^2) + [ 8 ] \times \mu gt^2$  と表せる。このように板が動きだしたことから、動摩擦係数  $\mu$  が満たしている条件は  $\mu > [ 9 ]$  とわかる。
2. その後、時刻  $t_1 = [ 10 ] \times \frac{v_0}{\mu g}$  で物体は板に対して静止した。時刻  $t_1$  において、一体となった物体と板の斜面に対する速度は  $[ 11 ] \times v_0 + [ 12 ] \times \left(-\frac{v_0}{\mu}\right)$  と表せる。時刻  $t = 0$  から  $t_1$  までに板に対して物体が動いた距離は  $[ 13 ] \times \frac{v_0^2}{\mu g}$  であり、物体と板の位置エネルギーは合わせて  $[ 14 ] \times \frac{mv_0^2}{\mu} + [ 15 ] \times \left(-\frac{mv_0^2}{\mu^2}\right)$  だけ増加している。時刻  $t_1$  において、物体と板の力学的エネルギーは合わせて  $[ 16 ] \times mv_0^2$ 、時刻  $t_1$  までに摩擦力によって失われたエネルギーは  $[ 17 ] \times mv_0^2$  となり、これらは動摩擦係数  $\mu$  に依存しないことがわかる。
3. その後、物体と板は一体となったまま減速しながら斜面を上昇し、時刻  $t_2 = [ 18 ] \times \frac{v_0}{g}$  で静止した。時刻  $t = 0$  で動き始めてから時刻  $t_2$  で

静止するまでに、板が斜面上で移動した距離は〔 19 〕 $\times \frac{v_0^2}{g}$  + 〔 20 〕  
 $\times \left(-\frac{v_0^2}{\mu g}\right)$  であり、その間に重力の斜面に平行な成分が物体と板に与え  
 た力積の大きさは〔 21 〕 $\times mv_0$  である。

〔 1 〕 ~ 〔 21 〕 の選択肢

- a) 1    b)  $\frac{1}{2}$     c)  $\frac{1}{3}$     d)  $\frac{2}{3}$     e)  $\frac{4}{3}$     f)  $\frac{8}{3}$   
 g)  $\frac{1}{4}$     h)  $\frac{3}{4}$     i)  $\frac{1}{6}$     j)  $\frac{1}{9}$     k)  $\frac{2}{9}$     l)  $\frac{4}{9}$   
 m)  $\frac{8}{9}$     n)  $\frac{1}{36}$     o)  $\sqrt{3}$     p)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$     q)  $\frac{3\sqrt{3}}{2}$     r)  $\frac{5\sqrt{3}}{2}$   
 s)  $\frac{\sqrt{3}}{4}$     t)  $\frac{3\sqrt{3}}{4}$     u)  $\frac{\sqrt{3}}{6}$     v)  $\frac{\sqrt{3}}{9}$     w)  $\frac{2\sqrt{3}}{9}$     x)  $\frac{\sqrt{3}}{18}$   
 y)  $\frac{\sqrt{3}}{27}$     z)  $\frac{2\sqrt{3}}{27}$

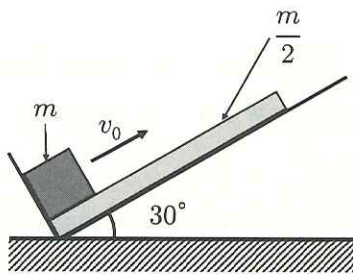


図 1

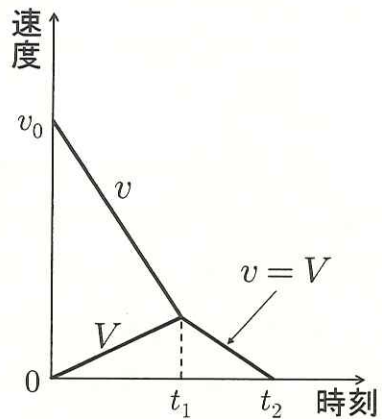


図 2

2 図のように、電気容量  $C_0$  のコンデンサー A、極板の間隔が自由に換えられる平行板コンデンサー B、電圧  $V_0$  の電池、スイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  からなる回路がある。最初、スイッチは2つとも開いており、コンデンサー A、B には電荷は蓄えられていない。また、コンデンサー B の電気容量は  $C_0$  になるように調整されており、このときの極板の間隔は  $d$  になっている。なお、極板の質量、および極板の端における電場の乱れは無視できるものとする。

はじめにスイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  を閉じた。

1. このときコンデンサー B には [ 1 ]  $\times C_0 V_0$  の電気量と [ 2 ]  $\times C_0 V_0^2$  の静電エネルギーが蓄えられている。また、極板間の引力の大きさは [ 3 ]  $\times \frac{C_0 V_0^2}{d}$  である。
2. スイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  を閉じたまま、コンデンサー B の極板の間隔を手でさえながらゆっくりと  $\frac{3}{4}d$  まで減少させた。この過程で電池が供給したエネルギーは [ 4 ]  $\times C_0 V_0^2$  であり、コンデンサー B に蓄えられた静電エネルギーは [ 5 ]  $\times C_0 V_0^2$  だけ増加している。これから、コンデンサー B の極板が手に対して行った仕事は [ 6 ]  $\times C_0 V_0^2$  であることがわかる。
3. 次にスイッチ  $S_2$  を開いた後、コンデンサー B の極板の間隔を手でゆっくりと  $d$  まで戻した。この過程で手が極板に対して行った仕事は [ 7 ]  $\times C_0 V_0^2$  であり、これがコンデンサー B の静電エネルギーとして蓄えられた。

次にコンデンサー A、B を放電させ、電荷が蓄えられていない最初の状態に戻した。そこでスイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  を閉じてコンデンサー A、B を電圧  $V_0$  の電池で充電した後、スイッチ  $S_1$  を開いた。

4. スイッチ  $S_2$  を閉じたまま、コンデンサー B の極板の間隔を手でゆっくりと  $3d$  まで増加させた。その結果、コンデンサー B の極板間にかかる電圧は [ 8 ]  $\times V_0$  になった。この過程でコンデンサー A に蓄えられている静電エネルギーは [ 9 ]  $\times C_0 V_0^2$  だけ [ 10 ] しており、コンデンサー B に蓄えられている静電エネルギーは [ 11 ]  $\times C_0 V_0^2$

だけ [ 12 ] している。これから、コンデンサー B の極板に対して手が行った仕事は [ 13 ]  $\times C_0 V_0^2$  であることがわかる。

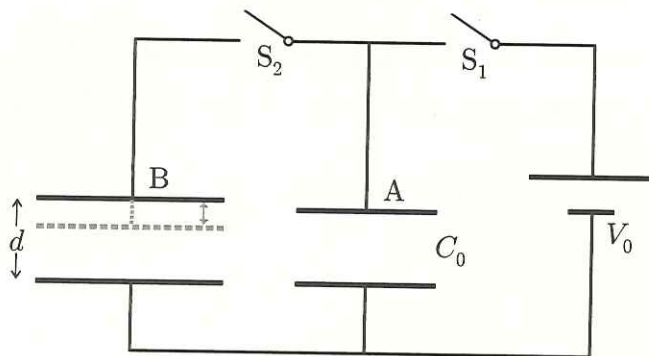
5. この状態からスイッチ  $S_2$  を開き、コンデンサー B の極板の間隔を手でゆっくりと  $d$  まで戻した。この過程でコンデンサー B の静電エネルギーは [ 14 ]  $\times C_0 V_0^2$  だけ減少しており、これが極板が手に対して行った仕事になっている。

[ 1 ] ~ [ 9 ], [ 11 ], [ 13 ], [ 14 ] の選択肢

- a) 0    b) 1    c) 2    d) 3    e) 4    f)  $\frac{1}{2}$     g)  $\frac{3}{2}$   
 h)  $\frac{5}{2}$     i)  $\frac{1}{3}$     j)  $\frac{2}{3}$     k)  $\frac{4}{3}$     l)  $\frac{5}{3}$     m)  $\frac{1}{4}$     n)  $\frac{3}{4}$   
 o)  $\frac{5}{4}$     p)  $\frac{1}{6}$     q)  $\frac{5}{6}$     r)  $\frac{1}{8}$     s)  $\frac{3}{8}$     t)  $\frac{5}{8}$     u)  $\frac{7}{8}$   
 v)  $\frac{1}{9}$     w)  $\frac{2}{9}$     x)  $\frac{4}{9}$     y)  $\frac{7}{9}$     z)  $\frac{8}{9}$

[ 10 ], [ 12 ] の選択肢

- a) 増加    b) 減少



3 1モルの単原子分子理想気体の圧力  $p$  と体積  $V$  を、右の  $p$ - $V$  グラフに示したように  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  の順にゆっくりと変化させた。気体定数を  $R$  とする。

1. この1サイクルの間で温度が最小になるのは、 $V = [ 1 ] \times V_0$ 、 $p = [ 2 ] \times p_0$  のときで、そのときの温度は  $[ 3 ] \times \frac{p_0 V_0}{R}$  である。
2. この1サイクルの間で温度が最大になるのは、 $V = [ 4 ] \times V_0$ 、 $p = [ 5 ] \times p_0$  のときで、そのときの温度は  $[ 6 ] \times \frac{p_0 V_0}{R}$  である。
3.  $A \rightarrow B$  の過程で吸収した熱量は  $[ 7 ] \times p_0 V_0$  であり、外部にした仕事は  $[ 8 ] \times p_0 V_0$  である。また、 $B \rightarrow C$  の過程で吸収した熱量は  $[ 9 ] \times p_0 V_0$  であり、外部にした仕事は  $[ 10 ] \times p_0 V_0$  である。
4. この1サイクルの間で気体が外部にした正味の仕事は  $[ 11 ] \times p_0 V_0$  である。

次に、同じ1モルの単原子分子理想気体に対し、別のサイクル  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D' \rightarrow A$  を考える。これは、 $A \rightarrow B \rightarrow C$  の過程は右の  $p$ - $V$  グラフと同じであるが、状態  $C$  からは等温過程で  $p = p_0$  の状態  $D'$  まで変化させ、その後、圧力を  $p_0$  に保ったまま体積を  $V_0$  まで減少させて状態  $A$  に戻すサイクルである。

5. 状態  $D'$  での体積は  $[ 12 ] \times V_0$  である。また、 $D' \rightarrow A$  の過程で放出する熱量は  $[ 13 ] \times p_0 V_0$  である。
6. この1サイクルの間で気体が外部にする正味の仕事は、右の  $p$ - $V$  グラフに示したサイクル  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  の仕事  $[ 11 ] \times p_0 V_0$  と比べて  $[ 14 ]$ 。

[ 1 ] ~ [ 13 ] の選択肢

- a) 0    b) 1    c) 2    d) 3    e) 4    f) 5    g) 6  
h) 8    i) 9    j)  $\frac{1}{2}$     k)  $\frac{3}{2}$     l)  $\frac{5}{2}$     m)  $\frac{9}{2}$     n)  $\frac{15}{2}$   
o)  $\frac{25}{2}$     p)  $\frac{1}{3}$     q)  $\frac{2}{3}$     r)  $\frac{4}{3}$     s)  $\frac{5}{3}$     t)  $\frac{8}{3}$     u)  $\frac{1}{4}$   
v)  $\frac{3}{4}$     w)  $\frac{5}{4}$     x)  $\frac{9}{4}$     y)  $\frac{15}{4}$     z)  $\frac{25}{4}$

[ 14 ] の選択肢

- a) 大きい    b) 小さい    c) 等しい

