

(2018年度)

物 理 問 題 (90分)

(この問題冊子は9ページ，4問である。)

受験についての注意

1. 試験監督者の指示があるまで，問題冊子を開いてはならない。
2. 試験開始前に，試験監督者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. 試験監督者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，辞書機能やスマートウォッチなどのウェアラブル端末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。
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×をつけたりしてはならない。また，マーク箇所以外の部分には何も書いてはならない。
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. 試験監督者の許可なく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

質量 m , $2m$, $3m$ のおもり 1, 2, 3 をなめらかに回る滑車 A, B と糸でつないで、次のような実験を行った。ただし、滑車 A, B と糸の質量は無視できるものとし、重力加速度を g とする。

1. 最初に、図 1 のように、質量 m と $2m$ のおもり 1, 2 を天井からつるされている滑車 A にかけた。この状態でおもり 1, 2 からそっと手を放すと、おもり 1 は加速度 [1] $\times g$ で上昇を始めた。このとき、滑車 A をつるしている糸の張力 T は [2] $\times mg$ になっている。
2. 次に、図 2 のように、滑車 A を天井から外した状態でおもり 1, 2 からそっと手を放すと同時に、滑車 A をつるしている糸に $3mg$ の力を鉛直上方にかけた。すると、おもり 1 は加速度 [3] $\times g$ で上昇を始め、おもり 2 は加速度 [4] $\times g$ で下降を始めた。
3. 次に、図 3 のように、滑車 A を箱の内側につるし、箱を加速度 g で鉛直上方に引き上げながらおもり 1, 2 からそっと手を放した。すると、おもり 1 は加速度 [5] $\times g$ で上昇を始め、おもり 2 も加速度 [6] $\times g$ で上昇を始めた。このとき、滑車 A をつるしている糸の張力 T は [7] $\times mg$ になっている。
4. 最後に、図 4 のように、天井からつるされている滑車 B を通して、滑車 A を質量 $3m$ のおもり 3 とつないだ。この状態でおもりからそっと手を放すと、おもり 1 は加速度 [8] $\times g$ で上昇を始め、おもり 2 は加速度 [9] $\times g$ で下降を始めた。このとき、滑車 A をつるしている糸の張力 T は [10] $\times mg$ になっている。

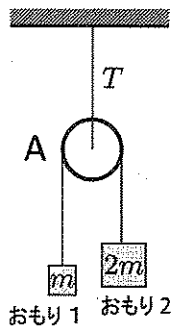


図 1

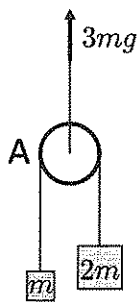


図 2

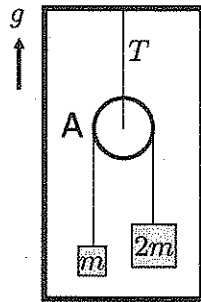


図 3

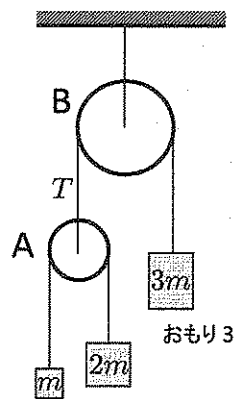


図 4

{ 1 } ~ { 10 } の選択肢

- | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| a) 1 | b) 2 | c) 3 | d) $\frac{1}{2}$ | e) $\frac{3}{2}$ | f) $\frac{5}{2}$ | g) $\frac{1}{3}$ |
| h) $\frac{2}{3}$ | i) $\frac{4}{3}$ | j) $\frac{5}{3}$ | k) $\frac{7}{3}$ | l) $\frac{8}{3}$ | m) $\frac{16}{3}$ | n) $\frac{1}{4}$ |
| o) $\frac{3}{4}$ | p) $\frac{5}{4}$ | q) $\frac{7}{4}$ | r) $\frac{1}{17}$ | s) $\frac{2}{17}$ | t) $\frac{3}{17}$ | u) $\frac{5}{17}$ |
| v) $\frac{7}{17}$ | w) $\frac{9}{17}$ | x) $\frac{12}{17}$ | y) $\frac{24}{17}$ | z) $\frac{48}{17}$ | | |

2

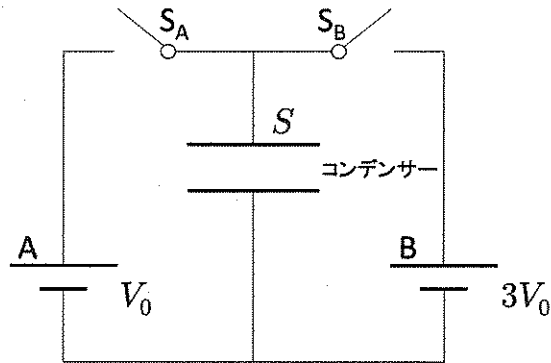
図のように、電圧 V_0 の電池 A、電圧 $3V_0$ の電池 B、面積 S の極板の間隔が自由に変えられる平行板コンデンサー、スイッチ S_A 、 S_B からなる回路がある。真空の誘電率は ϵ_0 であり、極板の質量は無視できる。また、電場はコンデンサーの極板間にのみ存在するとしてよい。最初の状態ではスイッチ S_A 、 S_B は開いており、コンデンサーの極板には電荷はなく、極板の間隔は d になっている。次のように、この回路を使った状態 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ というサイクルで電池 A から電池 B へ電荷を移動させることにより、外部からの力学的な仕事を電気的エネルギーに変換して電池に蓄えることができる。

- まず、スイッチ S_A を閉じて十分に長い時間が経過した状態を 1 とする。このときコンデンサーには $[1] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0$ の電気量と $[2] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ の静電エネルギーが蓄えられている。
- 次に、スイッチ S_A を開いて、コンデンサーの極板を手で支えながらその間隔をゆっくりと $[3] \times d$ まで広げるとコンデンサーの極板間の電位差は $3V_0$ になった。この状態を 2 とする。この過程 $1 \rightarrow 2$ で、コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは $[4] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ だけ増加しており、これは、コンデンサーの極板に対して手が行った仕事に等しい。
- 次に、スイッチ S_B を閉じて、コンデンサーの極板を手で支えながらその間隔をゆっくりと $5d$ まで広げた。この状態を 3 とする。この状態ではコンデンサーに蓄えられている電気量は $[5] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0$ 、静電エネルギーは $[6] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ となっている。この過程 $2 \rightarrow 3$ で、電池 B には $[7] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ のエネルギーが蓄えられ、コンデンサーの極板に対して手が行った仕事は $[8] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ である。
- 次に、 S_B を開き、コンデンサーの極板を手で支えながらその間隔をゆっくりと $[9] \times d$ まで狭めるとコンデンサーの極板間の電位差は V_0 になった。この状態を 4 とする。この過程 $3 \rightarrow 4$ で、コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは $[10] \times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ だけ減少しており、

これは、コンデンサーの極板が手に対して行った仕事に等しい。

5. 最後に、スイッチ S_A を閉じて、コンデンサーの極板を手で支えながらその間隔をゆっくりと d まで狭めて状態 1 に戻した。この過程 $4 \rightarrow 1$ で、電池 A は [11] $\times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ のエネルギーを放出しており、コンデンサーの極板が手に対して行った仕事は [12] $\times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ である。

以上で示した状態 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ というサイクルにより、電池 A と電池 B のエネルギーの和は [13] $\times \frac{\epsilon_0 S}{d} V_0^2$ だけ増加しており、これは、手が極板に対して行った仕事の総和に等しい。



[1] ~ [13] の選択肢

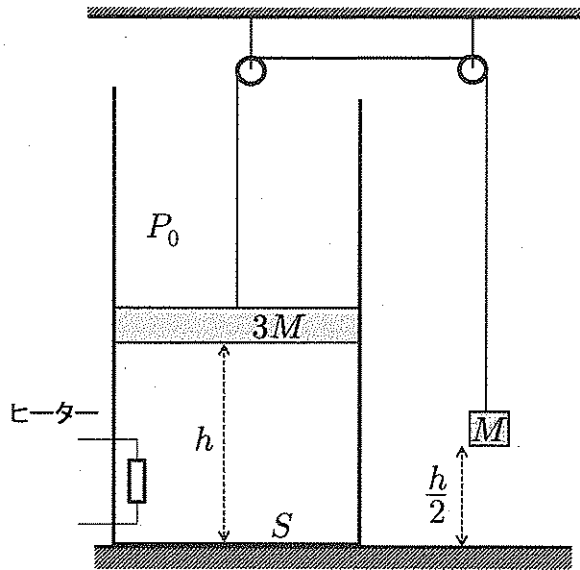
- | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| a) 0 | b) 1 | c) 2 | d) 3 | e) 4 | f) $\frac{1}{2}$ | g) $\frac{3}{2}$ |
| h) $\frac{5}{2}$ | i) $\frac{1}{3}$ | j) $\frac{2}{3}$ | k) $\frac{4}{3}$ | l) $\frac{5}{3}$ | m) $\frac{1}{5}$ | n) $\frac{2}{5}$ |
| o) $\frac{3}{5}$ | p) $\frac{4}{5}$ | q) $\frac{6}{5}$ | r) $\frac{7}{5}$ | s) $\frac{1}{6}$ | t) $\frac{5}{6}$ | u) $\frac{7}{6}$ |
| v) $\frac{1}{10}$ | w) $\frac{3}{10}$ | x) $\frac{7}{10}$ | y) $\frac{9}{10}$ | z) $\frac{11}{10}$ | | |

3

図のように、水平な地面上に置かれた断面積 S のシリンダー内に小さなヒーターが取り付けられており、なめらかに動くピストンで1モルの単原子分子理想気体が封入されている。シリンダーもピストンも断熱材でできており、質量 $3M$ のピストンは、滑車と軽い糸で質量 M のおもりとつながれている。外気圧は P_0 であり、気体定数を R 、重力加速度を g とする。最初の状態では、ピストンは高さ h 、おもりは高さ $\frac{h}{2}$ に静止している。

- まず、図で表された初めの状態を1とする。この状態でのシリンダー内の圧力は $[1] \times P_0 + [2] \times \frac{Mg}{S}$ であり、その温度は $[3] \times \frac{P_0Sh}{R} + [4] \times \frac{Mgh}{R}$ になっている。
- 次に、状態1でシリンダー内の気体にヒーターで熱を加えると、ピストンが上昇すると共におもりはゆっくりと地面に向かって下がった。おもりが地面に接する直前の状態を2とすると、状態2でのシリンダー内の圧力は $[5] \times P_0 + [6] \times \frac{Mg}{S}$ であり、その温度は $[7] \times \frac{P_0Sh}{R} + [8] \times \frac{Mgh}{R}$ になっている。また、この状態変化1→2の過程で気体が外部に対して行った仕事は $[9] \times P_0Sh + [10] \times Mgh$ 、気体の内部エネルギーの変化は $[11] \times P_0Sh + [12] \times Mgh$ となっている。これから、この過程で気体が受け取った熱量は $[13] \times P_0Sh + [14] \times Mgh$ であることがわかる。
- 状態2でさらにシリンダー内の気体に熱を加え続けると、おもりが地面に接してピストンは高さ $\frac{3}{2}h$ に静止したまま、糸の張力は次第に減少して0になった。この瞬間の状態を3とする。この状態でのシリンダー内の圧力は $[15] \times P_0 + [16] \times \frac{Mg}{S}$ であり、その温度は $[17] \times \frac{P_0Sh}{R} + [18] \times \frac{Mgh}{R}$ になっている。また、この状態変化2→3の過程で気体の内部エネルギーは $[19] \times P_0Sh + [20] \times Mgh$ だけ変化しており、これは、この過程で気体が受け取った熱量に等しい。
- 状態3で引き続きシリンダー内の気体に熱を加え続けると、糸はたるみ、

ピストンはゆっくりと上昇して高さ $2h$ に到達した。この状態を 4 とする。この状態でのシリンダー内の温度は [21] $\times \frac{P_0Sh}{R}$ + [22] $\times \frac{Mgh}{R}$ になっている。また、この状態変化 3 \rightarrow 4 の過程で気体が外部に対して行った仕事は [23] $\times P_0Sh$ + [24] $\times Mgh$ 、気体の内部エネルギーの変化は [25] $\times P_0Sh$ + [26] $\times Mgh$ となっている。これから、この過程で気体が受け取った熱量は [27] $\times P_0Sh$ + [28] $\times Mgh$ であることがわかる。



[1] ~ [28] の選択肢

- | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| a) 0 | b) 1 | c) 2 | d) 3 | e) 4 | f) 5 | g) 6 |
| h) 7 | i) $\frac{1}{2}$ | j) $\frac{3}{2}$ | k) $\frac{5}{2}$ | l) $\frac{7}{2}$ | m) $\frac{9}{2}$ | n) $\frac{11}{2}$ |
| o) $\frac{13}{2}$ | p) $\frac{15}{2}$ | q) $\frac{17}{2}$ | r) $\frac{1}{4}$ | s) $\frac{3}{4}$ | t) $\frac{5}{4}$ | u) $\frac{7}{4}$ |
| v) $\frac{9}{4}$ | w) $\frac{11}{4}$ | x) $\frac{13}{4}$ | y) $\frac{15}{4}$ | z) $\frac{17}{4}$ | | |

4

観測者、音源、音波を反射する板を一直線上に配置して次のような実験を行う。ただし、音源の振動数を f 、音波の速さは V とする。

- 最初に、図1のように、静止した観測者から音源が速さ v で遠ざかっている場合を考える。このとき（音源から図の左方向に出て）直接に観測者へ届く音波の振動数は〔 1 〕 $\times f$ となり、（音源から図の右方向に出て）板で反射して観測者へ届く音波の振動数は〔 2 〕 $\times f$ となる。これから、観測者は周期〔 3 〕 $\times \frac{1}{f}$ のうなりを観測することになる。
- 次に、図2のように、観測者と音源が静止しており、板が音源方向に速さ v で進んでいる場合を考える。このとき、音源から直接に観測者へ届く音波の振動数は f であり、板で反射して観測者へ届く音波の振動数は〔 4 〕 $\times f$ となる。これから、観測者は周期〔 5 〕 $\times \frac{1}{f}$ のうなりを観測することになる。
- 最後に、図3のように、静止している観測者から音源が速さ v で遠ざかっており、板が音源方向に速さ v で近づいている場合を考える。このとき、音源から直接に観測者へ届く音波の振動数は〔 1 〕 $\times f$ となり、板で反射して観測者へ届く音波の振動数は〔 6 〕 $\times f$ となる。これから、観測者は周期〔 7 〕 $\times \frac{1}{f}$ のうなりを観測することになる。

〔 1 〕,〔 2 〕,〔 4 〕,〔 6 〕の選択肢

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| a) $\frac{V}{V-v}$ | b) $\frac{V}{V+v}$ | c) $\frac{V-v}{V}$ | d) $\frac{V+v}{V}$ |
| e) $\frac{V}{V-2v}$ | f) $\frac{V}{V+2v}$ | g) $\frac{V-2v}{V}$ | h) $\frac{V+2v}{V}$ |
| i) $\frac{V+v}{V-v}$ | j) $\frac{V-v}{V+v}$ | k) $\frac{V^2}{(V-v)^2}$ | l) $\frac{V^2}{(V+v)^2}$ |
| m) $\frac{(V-v)^2}{V^2}$ | n) $\frac{(V+v)^2}{V^2}$ | o) $\frac{V(V+v)}{(V-v)^2}$ | p) $\frac{V(V-v)}{(V+v)^2}$ |
| q) $\frac{(V-v)^2}{V(V+v)}$ | r) $\frac{(V+v)^2}{V(V-v)}$ | s) $\frac{(V+v)^2}{(V-v)^2}$ | t) $\frac{(V-v)^2}{(V+v)^2}$ |

[3], [5], [7] の選択肢

- a) $\frac{V}{2v}$ b) $\frac{V-v}{2v}$ c) $\frac{V+v}{2v}$
- d) $\frac{V^2-v^2}{2Vv}$ e) $\frac{(V-v)^2}{2Vv}$ f) $\frac{(V+v)^2}{2Vv}$
- g) $\frac{(V-v)^2(V+v)}{4V^2v}$ h) $\frac{(V-v)(V+v)^2}{4V^2v}$ i) $\frac{(V-v)^3}{4V^2v}$
- j) $\frac{(V+v)^3}{4V^2v}$

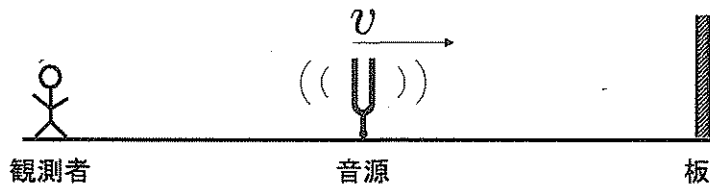


図 1

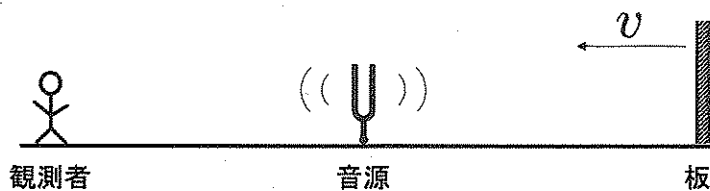


図 2

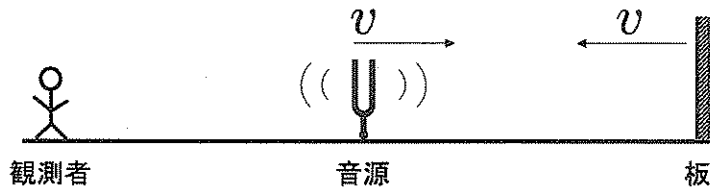


図 3