

(2017年度)

物 理 問 題 (90分)

(この問題冊子は11ページ，3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 の小さなおもりが、質量 $2m$ で長さ L の板の左端の点 P に置かれており、おもりと板は一体となってなめらかな水平面上を速さ v_0 で右方向に進んでいる。おもりと板の間の静止摩擦係数と動摩擦係数をそれぞれ μ と μ' とし、重力加速度を g とする。また、板の右端の点を Q とする。

最初に、図 1 のように右側に壁がある場合を考える。時刻 $t=0$ に板が壁と弾性衝突した後、おもりは左方向の加速度 $[1] \times g$ 、板は右方向の加速度 $[2] \times g$ で運動した。

1. v_0 が小さい場合には、時刻 $t = [3] \times \frac{v_0}{g}$ におもりは板の上で再び静止し、その後はおもりと板は一体となって、速さ $[4] \times v_0$ で左方向に進んだ。時刻 $t=0$ からこのときまでに、板は床の上を $[5] \times \frac{v_0^2}{g}$ だけ進んでおり、おもりは板の上を $[6] \times \frac{v_0^2}{g}$ だけ移動している。また、図 1 の状態からこのときまでに失われた力学的エネルギーは $[7] \times mv_0^2$ である。
2. v_0 を大きくしながら同じ実験を繰り返すと、 v_0 が $\sqrt{[8] \times gL}$ より大きい場合には、おもりは板の上に静止することなく点 Q から板を離れた。

次に、図 2 のように右側の壁にばね定数 k の軽いばねが取り付けられている場合を考える。時刻 $t=0$ で板の右端の点 Q が静止しているばねの左端と接触し、板がばねを押し縮め始めた。

3. v_0 が小さい場合には、ばねとの接触後もおもりと板は一体となったまま運動を続け、時刻 $[9] \times \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ でその速さは 0 になった。このとき、ばねは $[10] \times \sqrt{\frac{m}{k}} v_0$ だけ縮んでおり、おもりと板の間に働いている静止摩擦力は $[11] \times \sqrt{km} v_0$ である。
4. v_0 が $[12] \times \sqrt{\frac{m}{k}} g$ より大きい場合には、板がばねを $[13] \times \frac{mg}{k}$ だけ押し縮めたときに、おもりは板の上を滑りだした。滑りだす直

前のおもりと板の速さは $\sqrt{v_0^2 - [14] \times \frac{mg^2}{k}}$ で与えられる。また、滑りだした直後のおもりと板の加速度の大きさは、それぞれ $[15] \times g$ と $[16] \times g$ になっている。その後、おもりが板の上を右方向に滑っている間は、板は周期 $[17] \times \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ の単振動をしているとみなせる。このとき点 Q の単振動の中心は、ばねが $[18] \times \frac{mg}{k}$ だけ縮んだ点になっている。

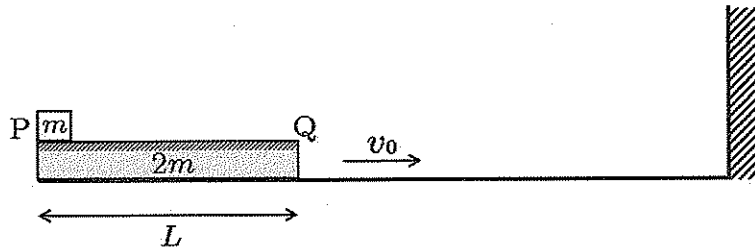


図 1

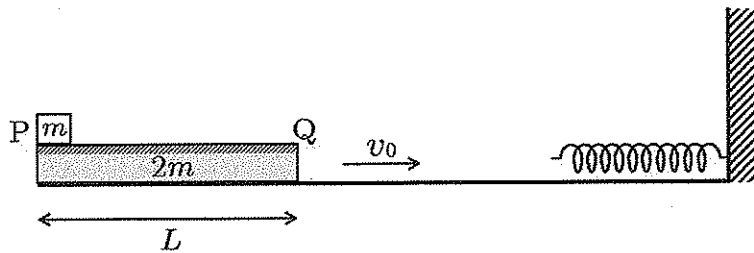


図 2

[1] ~ [8] の選択肢

- | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| a) 1 | b) 2 | c) $\frac{1}{2}$ | d) $\frac{3}{2}$ | e) $\frac{1}{3}$ | f) $\frac{4}{3}$ |
| g) $\frac{3}{4}$ | h) $\frac{8}{9}$ | i) μ' | j) $2\mu'$ | k) $3\mu'$ | l) $\frac{\mu'}{2}$ |
| m) $\frac{3\mu'}{2}$ | n) $\frac{\mu'}{3}$ | o) $\frac{4\mu'}{3}$ | p) $\frac{3\mu'}{4}$ | q) $\frac{8\mu'}{9}$ | r) $\frac{1}{\mu'}$ |
| s) $\frac{2}{\mu'}$ | t) $\frac{3}{\mu'}$ | u) $\frac{1}{2\mu'}$ | v) $\frac{3}{2\mu'}$ | w) $\frac{1}{3\mu'}$ | x) $\frac{4}{3\mu'}$ |
| y) $\frac{3}{4\mu'}$ | z) $\frac{8}{9\mu'}$ | | | | |

[9] ~ [18] の選択肢

- | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| a) 1 | b) 2 | c) $\sqrt{2}$ | d) $2\sqrt{2}$ |
| e) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | f) $\sqrt{3}$ | g) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | h) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ |
| i) μ' | j) $2\mu'$ | k) $\sqrt{2}\mu'$ | l) μ |
| m) 3μ | n) $\sqrt{3}\mu$ | o) $\mu - \mu'$ | p) $\mu - \frac{1}{2}\mu'$ |
| q) $\frac{3}{2}\mu - \mu'$ | r) $\frac{3}{2}\mu - \frac{1}{2}\mu'$ | s) $3\mu - \mu'$ | t) $3\mu - \frac{1}{2}\mu'$ |
| u) μ'^2 | v) $2\mu'^2$ | w) μ^2 | x) $3\mu^2$ |
| y) $2\mu\mu'$ | z) $6\mu\mu'$ | | |

以下余白

次頁へ続く

2 図1のように、質量 m で電荷 $q (> 0)$ の荷電粒子を、点 $P(0, 0, -L)$ から速さ v で z 軸から角度 θ をなすように yz 平面内に射出する。 xy 平面上には蛍光塗料が塗布された透明なスクリーン S があり、荷電粒子が S 上に到達して作る輝点は S の裏面 (z 軸の正方向の面) から観察され、その座標 (x, y) が記録される。図の実験装置全体には、 z 軸の正の方向に磁束密度 B の一様な磁場と、 z 軸の負の方向に強さ E の一様な電場を加えることができる。また、地球の磁場と重力の影響は無視できるものとする。

最初に、電場が加えられていない場合を考える。

1. 磁束密度 B の一様な磁場を加えた状態で上の実験を行い、 S 上の輝点を観測した。この実験では、射出された荷電粒子が受けている力は z 軸に垂直であり、その大きさは $[1] \times q$ となっている。 z 軸方向から見た荷電粒子の運動は、中心座標が $([2] \times \frac{m}{q}, [3] \times \frac{m}{q})$ で半径が $[4] \times \frac{m}{q}$ の円運動であり、その周期は $[5] \times \frac{m}{q}$ となっている。
2. 磁束密度 B を 0 から徐々に増加させながら 1. の実験を繰り返し、 S 上の輝点を観測した。まず、 $B = 0$ のときには、輝点は図2に示した点 $Q_1(0, [6])$ で観測される。磁束密度 B を増加させると輝点は図2の矢印が示すように点線に沿って移動し、 $B = [7] \times \frac{m}{q}$ になった時に、初めて x 軸上の点 $Q_2([8], 0)$ に到達する。さらに磁束密度 B を増加させていくと、 $B = [9] \times \frac{m}{q}$ になったときに、原点 O に到達する。

次に、強さ E の一様な電場が加えられている場合を考える。

3. $B = 0$ の場合には、射出する速さが $[10]$ より大きい場合にのみ S 上で輝点を観測できる。この条件をみたす速さ v で射出された荷電粒子が S 上に作る輝点の座標を $(0, y)$ とすると、 y は次の式をみたす。

$$L = [11] \times y - [12] \times y^2$$

4. 上の 3. の条件をみたす速さ v で射出された荷電粒子の運動を考える。磁束密度 B を増加させていくとスクリーン S 上の輝点は移動し、

$$v = [13] \times \frac{qL}{m} B + [14] \times \frac{E}{B}$$

がみたされたときに輝点は初めて x 軸を横切る。さらに磁束密度 B を増加させていくと、

$$v = [15] \times \frac{qL}{m} B + [16] \times \frac{E}{B}$$

がみたされたときに輝点は初めて原点 O に到達する。

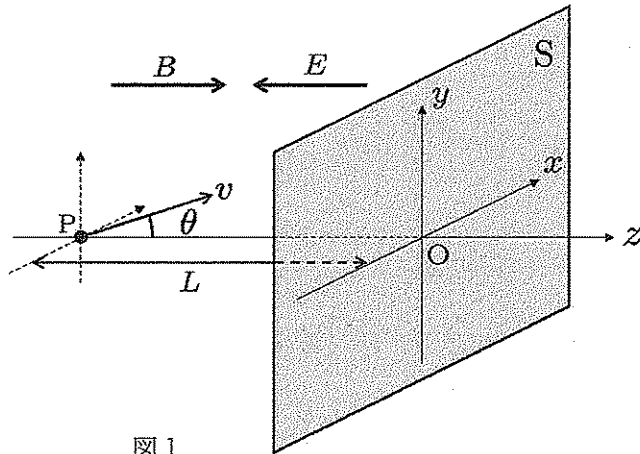


図 1

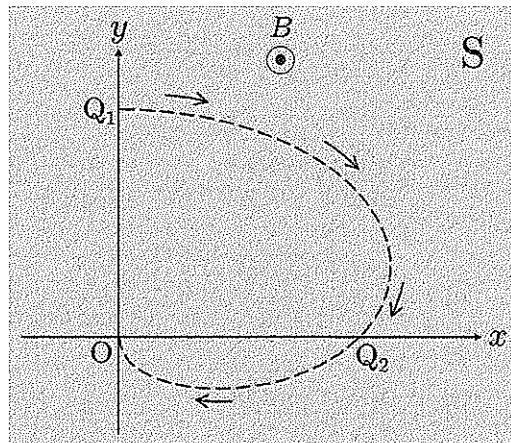


図 2

[1] ~ [5], [7], [9] の選択肢

- a) 0 b) 1 c) 2 d) $\frac{1}{B}$ e) $\frac{\pi}{B}$
- f) $\frac{2\pi}{B}$ g) $\frac{v}{B}$ h) $\frac{v}{B} \sin \theta$ i) $\frac{v}{B} \cos \theta$ j) $\frac{v}{B} \tan \theta$
- k) vB l) $vB \sin \theta$ m) $vB \cos \theta$ n) $vB \tan \theta$ o) $\frac{\pi v}{L}$
- p) $\frac{\pi v}{L} \sin \theta$ q) $\frac{\pi v}{L} \cos \theta$ r) $\frac{\pi v}{L} \tan \theta$ s) $\frac{2\pi v}{L}$ t) $\frac{2\pi v}{L} \sin \theta$
- u) $\frac{2\pi v}{L} \cos \theta$ v) $\frac{2\pi v}{L} \tan \theta$

[6], [8] の選択肢

- a) L b) $L \sin \theta$ c) $L \cos \theta$ d) $L \tan \theta$
- e) $\frac{L}{\pi}$ f) $\frac{L}{\pi} \sin \theta$ g) $\frac{L}{\pi} \cos \theta$ h) $\frac{L}{\pi} \tan \theta$
- i) $\frac{2L}{\pi}$ j) $\frac{2L}{\pi} \sin \theta$ k) $\frac{2L}{\pi} \cos \theta$ l) $\frac{2L}{\pi} \tan \theta$

[10] の選択肢

- a) $\frac{1}{\cos \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ b) $\frac{\sqrt{2}}{\cos \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ c) $\frac{2}{\cos \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$
- d) $\frac{1}{\cos^2 \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ e) $\frac{\sqrt{2}}{\cos^2 \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ f) $\frac{2}{\cos^2 \theta} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$
- g) $\frac{1}{\sqrt{\cos \theta}} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ h) $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\cos \theta}} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$ i) $\frac{2}{\sqrt{\cos \theta}} \sqrt{\frac{qEL}{m}}$

[11], [12] の選択肢

- a) $\sin \theta$ b) $\cos \theta$ c) $\tan \theta$ d) $\frac{1}{\sin \theta}$
e) $\frac{1}{\cos \theta}$ f) $\frac{1}{\tan \theta}$ g) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\sin \theta}$ h) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\cos \theta}$
i) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\tan \theta}$ j) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\sin^2 \theta}$ k) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\cos^2 \theta}$ l) $\frac{qE}{2mv^2} \frac{1}{\tan^2 \theta}$

[13] ~ [16] の選択肢

- a) π b) $\frac{\pi}{\cos \theta}$ c) $\pi \cos \theta$ d) $\frac{\pi}{2}$ e) $\frac{\pi}{2 \cos \theta}$ f) $\frac{\pi \cos \theta}{2}$
g) $\frac{1}{\pi}$ h) $\frac{1}{\pi \cos \theta}$ i) $\frac{\cos \theta}{\pi}$ j) $\frac{1}{2\pi}$ k) $\frac{1}{2\pi \cos \theta}$ l) $\frac{\cos \theta}{2\pi}$

3 図のように、断熱材でできた体積 V_0 のシリンダーが、自由に動く軽くて薄いピストンで2つの部屋に仕切られており、ピストンには断熱シートが貼ってある。2つの部屋には、単原子分子理想気体 A と B がそれぞれ1モルと2モル封入されており、ピストンが釣り合って静止している図の初期状態ではそれぞれの温度は T_0 と $\frac{1}{3}T_0$ である。また、気体定数を R とする。

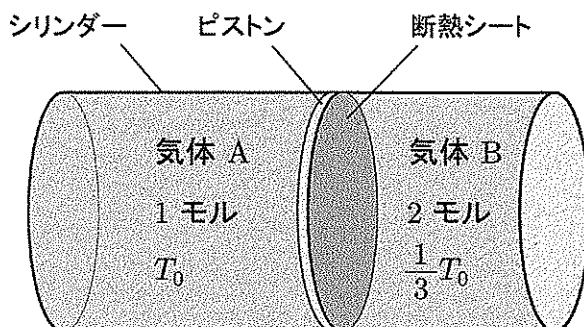
1. 最初に、図の初期状態を考えると、気体 A と B の内部の圧力はともに $[1] \times \frac{RT_0}{V_0}$ であり、その体積はそれぞれ $[2] \times V_0$ と $[3] \times V_0$ になっていることがわかる。また、この初期状態における気体 A と B の内部エネルギーの和は $[4] \times RT_0$ である。

2. 次に、図の初期状態でピストンを固定して断熱シートを取り除くと、ピストンを通してゆっくりと熱が移動した。それから十分に長い時間が経過した状態では、気体 A と B の温度はともに $[5] \times T_0$ になっている。また、このときの気体 A と B の圧力はそれぞれ $[6] \times \frac{RT_0}{V_0}$ と $[7] \times \frac{RT_0}{V_0}$ になっている。この過程で気体 A から B へ移動した熱量は $[8] \times RT_0$ である。

3. 最後に、図の初期状態でピストンが自由に動ける状態のまま断熱シートを取り除くと、ゆっくりと熱が移動するとともにピストンもゆっくりと動いた。それから十分に長い時間が経過してピストンが静止した状態では、気体 A と B の温度はともに $[9] \times T_0$ であり、圧力はともに $[10] \times \frac{RT_0}{V_0}$ になっている。このときの気体 A と B の体積はそれぞれ $[11] \times V_0$ と $[12] \times V_0$ である。また、気体 A の内部エネルギーは $[13] \times RT_0$ だけ減少し、気体 B の内部エネルギーは同じ量だけ増加している。

ここで、この変化過程の途中のある状態に着目する。その状態で気体 A と B の圧力は等しいので、それを p とすると、気体 A と B の内部エネルギーの和は $[14] \times pV_0$ と書ける。これは、ここで考えている過程が $[15]$ であることを示している。これより、この過程で気体 B

が気体 A に対して行った仕事は [16] $\times RT_0$ であり, 気体 A から B へ移動した熱量は [17] $\times RT_0$ であることがわかる。



[1] ~ [14], [16], [17] の選択肢

- | | | | | | |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| a) 1 | b) 2 | c) $\frac{1}{2}$ | d) $\frac{3}{2}$ | e) $\frac{5}{2}$ | f) $\frac{9}{2}$ |
| g) $\frac{1}{3}$ | h) $\frac{2}{3}$ | i) $\frac{5}{3}$ | j) $\frac{8}{3}$ | k) $\frac{1}{5}$ | l) $\frac{2}{5}$ |
| m) $\frac{3}{5}$ | n) $\frac{6}{5}$ | o) $\frac{9}{5}$ | p) $\frac{1}{6}$ | q) $\frac{5}{6}$ | r) $\frac{1}{9}$ |
| s) $\frac{2}{9}$ | t) $\frac{4}{9}$ | u) $\frac{5}{9}$ | v) $\frac{10}{9}$ | w) $\frac{16}{9}$ | x) $\frac{25}{9}$ |
| y) $\frac{16}{27}$ | z) $\frac{25}{27}$ | | | | |

[15] の選択肢

- a) 等温変化 b) 等積変化 c) 等圧変化 d) 断熱変化

