

理 科

理科は **物 理** **化 学** **生 物** のうち 2 科目を選択受験のこと。

物 理 …… 1 頁 **化 学** ……16 頁 **生 物** ……29 頁

問題 **I** はマークシート方式、**II** は記述式である。

I の解答はマークシートに、**II** の解答は解答用紙に記入すること。

〔注 意 事 項〕

1. 監督者の指示があるまでは、この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは、コンピュータで処理するので、折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに、氏名・受験番号を記入し、科目選択・受験番号をマークする。
マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

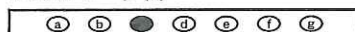
受験番号のマーク例(13015の場合)

受 験 番 号				
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
①	①	●	①	①
●	①	①	●	①
②	②	②	②	②
③	●	③	③	③
④	④	④	④	④
⑤	⑤	⑤	⑤	●
⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

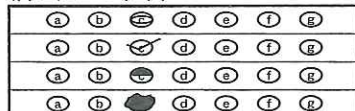
4. マークシートにマークするときは、HB または B の黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には、消しゴムで丁寧^{ていねい}に消し、消し^{ていねい}くずを完全に取り除いたうえで、新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い、正しくマークすること。

(例えば c と答えたいとき)

正しいマーク例



誤ったマーク例



○をする
Vをする
完全にマークしない
枠からはみ出す

6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが、科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答は所定の位置に記入すること。

物 理

I 以下の問題(第1問～第3問)の答えをマークシートに記せ。

第1問 次の問い(問1～問5)に答えよ。〔解答番号 1 ～ 8 〕

問1 図1のように、一様な棒ABの一方の端Bを鉛直な壁の点Cと糸でつなぎ、他方の端Aを鉛直な壁に沿って動かし、ABが水平になるようにつり合わせた。このとき、BCをつなぐ糸と水平な棒ABのなす角の大きさは 30° になった。壁と棒の間の静止摩擦係数を μ とすると、つり合いが保たれているためには

$$\mu \geq \boxed{1}$$

の関係が成り立たなければならない。1 に入れる数値として正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。

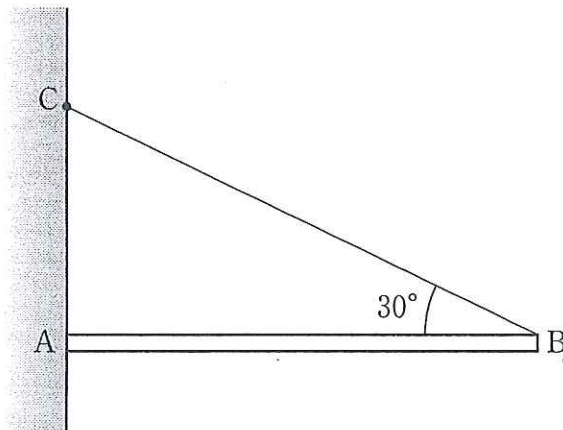


図 1

- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ① $\frac{1}{4}$ | ② $\frac{1}{3}$ | ③ $\frac{1}{2}$ | ④ $\frac{\sqrt{3}}{4}$ |
| ⑤ $\frac{\sqrt{2}}{3}$ | ⑥ $\frac{\sqrt{3}}{3}$ | ⑦ $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | ⑧ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ |

問 2 真空中の波長が λ であるレーザー光を用いた干渉実験について、次の問い
((a), (b))に答えよ。

- (a) このレーザー光を、空气中で図2のように、間隔 d の2本のスリット
 S_1 , S_2 をもつスリット板に垂直に入射させた。スリット板に平行で距離 L
の位置にあるスクリーン上にはスリット S_1 , S_2 からでた光の干渉により
明暗の縞模様ができる。スクリーン上の明るい線の間隔はどのように表さ
れるか。正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、 L は d
に比べてじゅうぶん大きく、空気の屈折率は1としてよい。 2

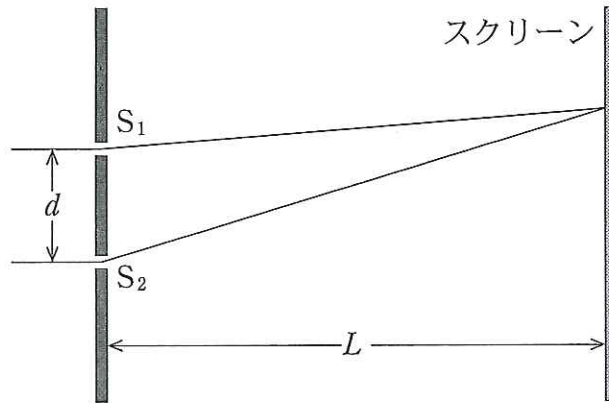


図 2

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ① $\frac{Ld}{2\lambda}$ | ② $\frac{L\lambda}{2d}$ | ③ $\frac{Ld}{\lambda}$ |
| ④ $\frac{L\lambda}{d}$ | ⑤ $\frac{3Ld}{2\lambda}$ | ⑥ $\frac{3L\lambda}{2d}$ |

- (b) 次に、図3のように、スリット S_1 を、屈折率 n 、厚さ t の透明な薄膜でおおう。薄膜でおおう前は、 $S_1 S_2$ の中点 M を通りスクリーンに垂直な直線とスクリーンとの交点 O には縞模様の中心である明るい線がある。この明るい線は、スリット S_1 を薄膜でおおくと、点 O から x だけ離れた点 P に移動した。 x を表す式として正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。 3

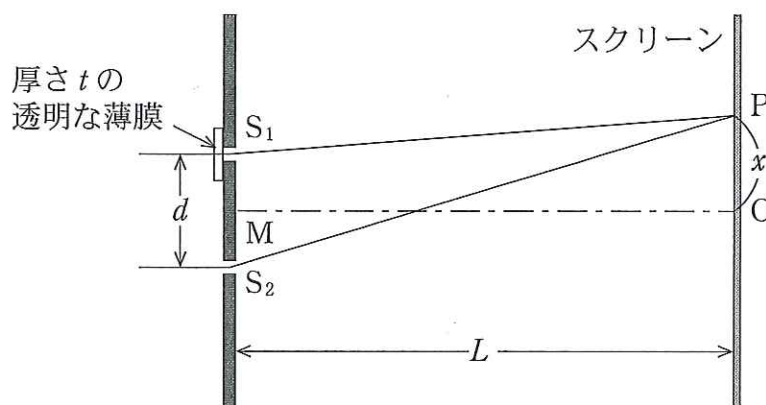


図 3

- | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ① $\frac{(n-1)tL}{\lambda}$ | ② $\frac{(n-1)tL}{2\lambda}$ | ③ $\frac{(n-1)tL}{n\lambda}$ |
| ④ $\frac{(n-1)tL}{2n\lambda}$ | ⑤ $\frac{(n-1)tL}{d}$ | ⑥ $\frac{(n-1)tL}{2d}$ |
| ⑦ $\frac{(n-1)tL}{nd}$ | ⑧ $\frac{(n-1)tL}{2nd}$ | |

- 問 3 たくさんの水素分子がすべて同じ向きに同じ速さ $1.8 \times 10^3 \text{ m/s}$ で進み、固定した板の面と弾性衝突する。毎秒 7.0×10^{20} 個の分子が板の面の法線に対して 45° の角度で、面積 3.0 cm^2 の平らな板の面に一様に当たっているとする。この水素分子の流れが板の面におよぼす圧力はいくらか。最も近い値を、次の①～⑨のうちから一つ選べ。ただし、水素分子の分子量を 2.0、アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ とし、水素分子どうしの衝突はないものとする。また、 $\sqrt{2} \div 1.4$ として計算してよい。 4 Pa

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| ① 10 | ② 20 | ③ 30 | ④ 40 | ⑤ 50 |
| ⑥ 60 | ⑦ 70 | ⑧ 80 | ⑨ 90 | |

問 4 図 4 のように、空気中で極板間の距離 d 、電気容量 C の二つの平行板コンデンサーがスイッチと電圧 V の電池につながれている。下の問い (a), (b) に答えよ。

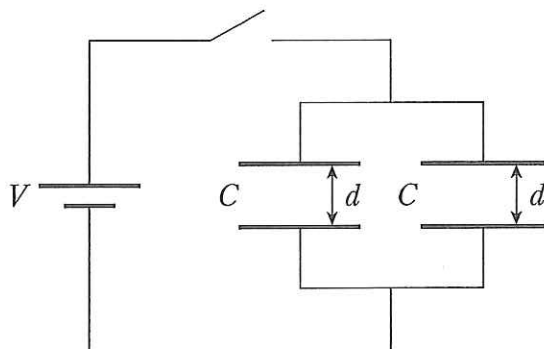


図 4

(a) スイッチを閉じて、二つのコンデンサーのうちの一つの極板間の距離を $2d$ にひろげた。二つのコンデンサーに蓄えられた電気量の和はいくらか。正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。 5

- | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| ① CV | ② $2CV$ | ③ $3CV$ |
| ④ $\frac{1}{2}CV$ | ⑤ $\frac{3}{2}CV$ | ⑥ $\frac{5}{2}CV$ |
| ⑦ $\frac{1}{4}CV$ | ⑧ $\frac{3}{4}CV$ | ⑨ $\frac{5}{4}CV$ |

(b) 次にスイッチを切り、極板間の距離が $2d$ のコンデンサーを元の距離 d までゆっくりともどした。このとき、外力がする仕事はいくらか。正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。 6

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① $-\frac{3}{4}CV^2$ | ② $-\frac{5}{4}CV^2$ | ③ $-\frac{7}{4}CV^2$ |
| ④ $-\frac{3}{8}CV^2$ | ⑤ $-\frac{5}{8}CV^2$ | ⑥ $-\frac{7}{8}CV^2$ |
| ⑦ $-\frac{3}{16}CV^2$ | ⑧ $-\frac{5}{16}CV^2$ | ⑨ $-\frac{7}{16}CV^2$ |

問 5 電子とイオンが電界中を移動する場合を考え、次の問い((a), (b))に答えよ。

- (a) 負電荷 $-e$ ($e > 0$) をもつ電子は抵抗を受けながら一定の速さ v で図 5 のように電界と逆向きに移動し、正電荷 q をもつイオンは一定の速さ v' で電界の向きに移動しているとする。電子とイオンは、それぞれ単位体積あたり n 個、 n' 個で分布しているとする。電界に垂直な面積 S の面を流れる電流はいくらか。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、電界の向きに流れる電流を正とする。 7

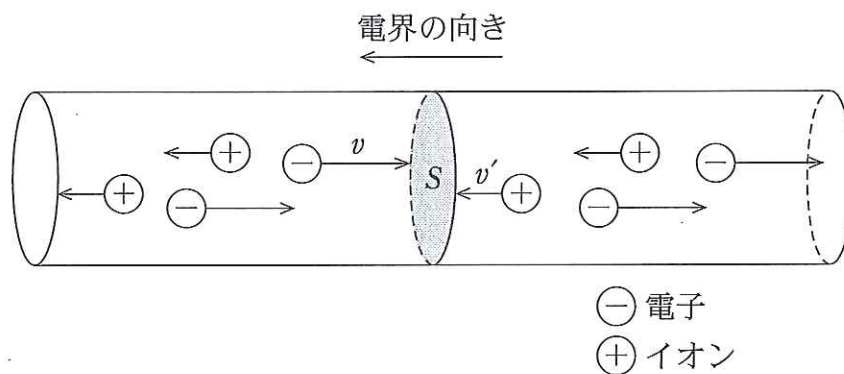


図 5

- | | |
|--------------------|---------------------|
| ① $envS$ | ② $qn'v'S$ |
| ③ $-envS$ | ④ $-qn'v'S$ |
| ⑤ $(env + qn'v')S$ | ⑥ $(-env + qn'v')S$ |
| ⑦ $(env - qn'v')S$ | ⑧ $(-env - qn'v')S$ |

(b) オーロラに大電流が流れると、地上の送電・発電施設に大電流が流れ停電事故を引き起こすことがある。オーロラの中では大量の電子やイオンが図 5 のように移動していて、一定の電流が流れると仮定する。オーロラ中に 100 kV の電圧で 1×10^6 A の電流が流れるときの電力はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 8 W

① 5×10^{10}

② 1×10^{11}

③ 5×10^{14}

④ 1×10^{15}

⑤ 5×10^{15}

⑥ 1×10^{16}

第2問 磁界中の荷電粒子のらせん運動について、次の問い(A・B)に答えよ。

[解答番号 1 ~ 6]

A まず一様磁界中に入射してきた荷電粒子の運動を考えよう。磁束密度の大きさを B として、次の問い(問1～問3)に答えよ。

問1 図1のように、質量 m 、電荷 q ($q > 0$) の荷電粒子が磁界に垂直な向きに速さ u で入射すると、磁界に垂直な面で等速円運動をする。この円運動の半径として正しいものを、下の①～⑨のうちから一つ選べ。

1

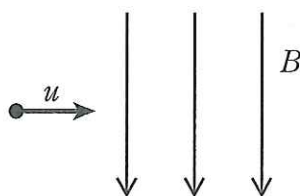


図 1

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ① quB | ② $\frac{qB}{m}$ | ③ $\frac{qB}{mu}$ |
| ④ $\frac{qB}{mu^2}$ | ⑤ $\frac{qB^2}{mu}$ | ⑥ $\frac{m}{qB}$ |
| ⑦ $\frac{mu}{qB}$ | ⑧ $\frac{mu}{qB^2}$ | ⑨ $\frac{mu^2}{qB}$ |

問2 前問の円運動の軌道に囲まれた磁束として正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。 2

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ① B | ② $2\pi quB^2$ | ③ $\pi q^2 u^2 B^3$ |
| ④ $\frac{2\pi mB}{qu}$ | ⑤ $\frac{2\pi muB}{q}$ | ⑥ $\frac{2\pi qB^2}{mu}$ |
| ⑦ $\frac{\pi q^2 B^3}{m^2 u^2}$ | ⑧ $\frac{\pi m^2 u^2}{q^2 B}$ | ⑨ $\frac{\pi m^2 u^2}{q^2 B^2}$ |

問 3 正電荷 q 、質量 m の粒子と負電荷 $-q$ 、質量 m' の粒子が、同じ速度で磁界の向きに対して斜めに入射し、らせん運動をしながら移動しているとする。図 2 のア～エは、磁束密度 B の磁界中の荷電粒子のらせん運動の軌道である。軌道上の矢印は、らせん運動の回転の向きである。荷電粒子の質量が $m > m'$ の条件をみたすとき、それぞれのらせん運動の特徴を表すものとして正しい組み合わせを、下の①～⑩のうちから一つ選べ。

(正電荷粒子の軌道, 負電荷粒子の軌道) = 3

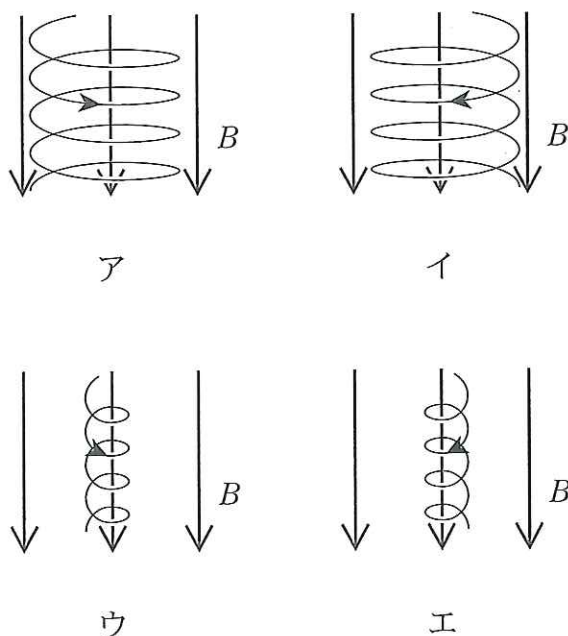


図 2

- | | | |
|----------|----------|----------|
| ① (ア, イ) | ② (ア, ウ) | ③ (ア, エ) |
| ④ (イ, ア) | ⑤ (イ, ウ) | ⑥ (イ, エ) |
| ⑦ (ウ, ア) | ⑧ (ウ, イ) | ⑨ (エ, ア) |
| ⑩ (エ, イ) | | |

B 地球のまわりには、図3のように地球が大きな棒磁石であるような磁界ができています。それは前問Aのような一様磁界とは異なり、地表に近づくほど磁力線が密になっていく磁界である。この磁界中の荷電粒子の運動について、下の問い(問4～問6)に答えよ。

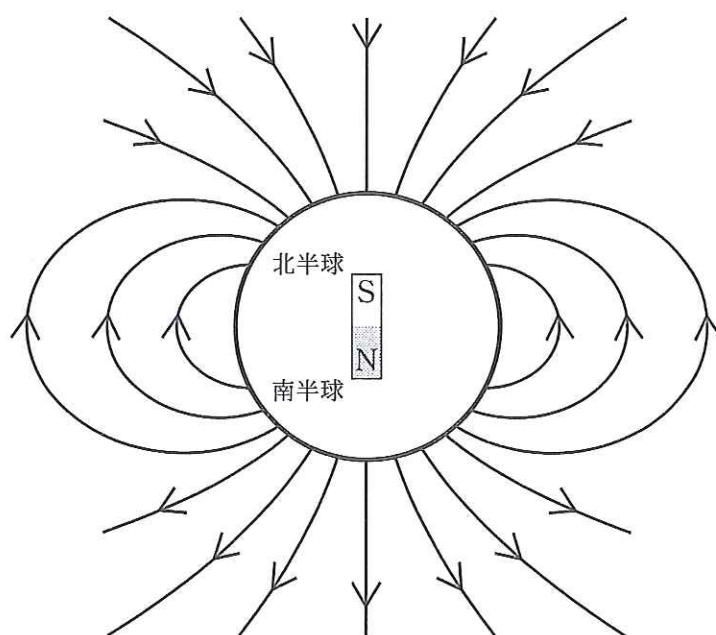


図 3

問 4 北半球の地表付近の磁界中の荷電粒子の運動を考えよう。図4のように、地表に向かう下向きを z 軸方向とし、 z 軸に垂直な面を面a、面bとする。荷電粒子が速さ v_0 で面aを z 軸に対して角度 θ の向きに通過して、らせん軌道を描きながら地表に近い面bに達する。このらせん軌道は、 z 方向の運動と、 z 軸に垂直な面内の円運動(図5)に分けて考えることができる。磁界の変化はじゅうぶんゆるやかなので、図5の面a、面b内の円運動は、それぞれ、 z 方向の磁束密度 B_0 、 B の一様磁界中の速さ $v_0 \sin \theta$ 、 u の等速円運動としてよいとする。電磁誘導の法則から磁束の変化は妨げられるので、地表に近づいて磁束密度が大きくなると円運動の半径が小さくなり、円軌道に囲まれた磁束が一定に保たれることが知られている。このことを用いて、面bにおける速さ u を表す式として正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。

$$u = \boxed{4}$$

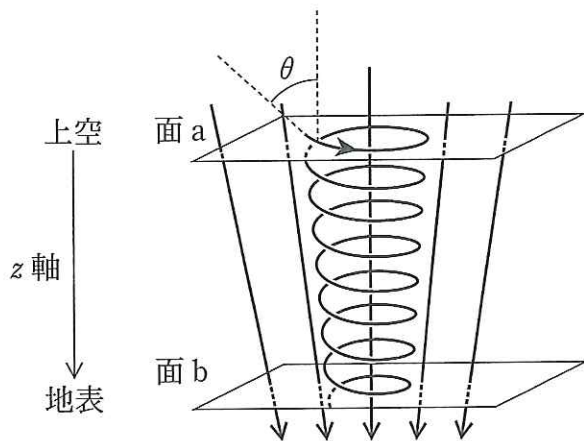


図 4

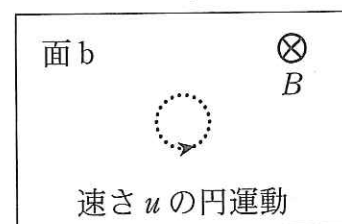
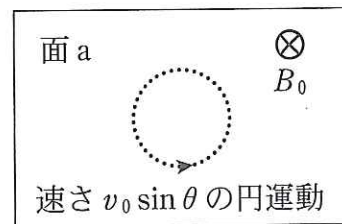


図 5

- | | | |
|--|--|--|
| ① $\sqrt{\frac{B_0}{B}} v_0 \sin \theta$ | ② $\sqrt{\frac{B}{B_0}} v_0 \sin \theta$ | ③ $\frac{B_0}{B} v_0 \sin \theta$ |
| ④ $\frac{B}{B_0} v_0 \sin \theta$ | ⑤ $\left(\frac{B_0}{B}\right)^{\frac{3}{2}} v_0 \sin \theta$ | ⑥ $\left(\frac{B}{B_0}\right)^{\frac{3}{2}} v_0 \sin \theta$ |
| ⑦ $\left(\frac{B_0}{B}\right)^2 v_0 \sin \theta$ | ⑧ $\left(\frac{B}{B_0}\right)^2 v_0 \sin \theta$ | |

問 5 磁力線は図 4 のように地表近くで密に集まってくるため、荷電粒子にはたらくローレンツ力に負の z 成分が生じる。荷電粒子は速度の z 成分が小さくなりやがてゼロとなる面で反射され、らせん軌道を描きながら地表から遠ざかる。磁界は荷電粒子に仕事をしないので運動エネルギーは一定である。前問 4 の荷電粒子が面 a の位置で入射し面 b の位置で反射されるとしたとき、入射したときと反射されたときの荷電粒子の運動エネルギーが等しいことから、反射される位置の磁束密度の大きさがわかる。反射される位置の磁束密度の大きさとして正しいものを、次の①～⑩のうちから一つ選べ。

5

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| ① $B_0 \sqrt{v_0 \sin \theta}$ | ② $B_0 v_0 \sin \theta$ | ③ $B_0 (v_0 \sin \theta)^2$ |
| ④ $\frac{B_0}{v_0 \sin \theta}$ | ⑤ $\frac{B_0}{(v_0 \sin \theta)^2}$ | ⑥ $B_0 \sqrt{\sin \theta}$ |
| ⑦ $B_0 \sin \theta$ | ⑧ $B_0 \sin^2 \theta$ | ⑨ $\frac{B_0}{\sin \theta}$ |
| ⑩ $\frac{B_0}{\sin^2 \theta}$ | | |

問 6 オーロラは、太陽から飛来した荷電粒子が地球の磁力線に沿ってらせん運動をしながら磁界の強い所に集まり、大気分子と衝突して発光し、さまざまな色や形の光のカーテンを作る電磁現象である。図 3 で与えられる地球の磁界の様子と問 4 及び問 5 から導かれることとして、正しくないものを次の

①～⑤のうちから一つ選べ。

6

- ① 地表から遠い面 a 内の円運動の周期は、地表に近い面 b 内の円運動の周期よりも小さい。
- ② 南半球でも荷電粒子が反射される位置があり、反射された粒子は磁力線に沿って北半球へ向かって移動する。
- ③ 南北を結ぶ磁力線に沿って往復するたくさんの荷電粒子が、北半球と南半球にオーロラを作ることがある。
- ④ 面 a で入射した荷電粒子が反射される面の位置は、入射の速さ v_0 には依存しない。
- ⑤ 磁力線の形状から、赤道では大気に侵入してくる荷電粒子が少ないため、高緯度地帯に比べてオーロラは発生しにくい。

第3問 図1は、単原子分子の理想気体1 mol を、圧力 p_0 、体積 V_0 、絶対温度 T_0 の状態 A から出発して、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ と変化させたときの圧力と体積の関係を示したものである。A $\rightarrow$ B は定圧変化で状態 B の体積は $\frac{3}{2}V_0$ 、B $\rightarrow$ C は断熱変化で状態 C の絶対温度は T_0 、C $\rightarrow$ A は等温変化である。気体定数を R として、下の問い(問1～問4)に答えよ。〔解答番号 1 ～ 5 〕

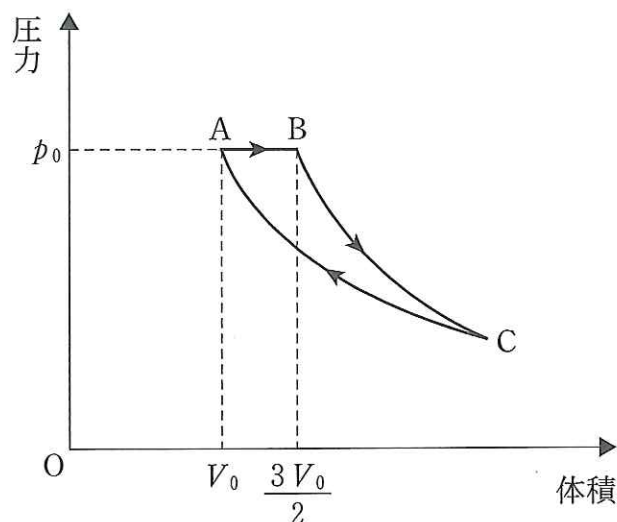


図 1

問1 状態 A での気体の内部エネルギーはいくらか。正しいものを、下の解答群①～⑪のうちから一つ選べ。 1

問2 A $\rightarrow$ B で気体が外部にした仕事と吸収した熱量は、それぞれいくらか。正しいものを、下の解答群①～⑪のうちから一つずつ選べ。

気体が外部にした仕事は 2

気体が吸収した熱量は 3

問 3 B→Cで気体が外部にした仕事はいくらか。正しいものを、下の解答群

①～⑪のうちから一つ選べ。 4

1 ～ 4 の解答群

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ① 0 | ② $\frac{1}{4}RT_0$ | ③ $\frac{1}{2}RT_0$ |
| ④ $\frac{3}{4}RT_0$ | ⑤ RT_0 | ⑥ $\frac{5}{4}RT_0$ |
| ⑦ $\frac{3}{2}RT_0$ | ⑧ $\frac{7}{4}RT_0$ | ⑨ $2RT_0$ |
| ⑩ $\frac{9}{4}RT_0$ | ⑪ $\frac{5}{2}RT_0$ | |

問 4 図1のグラフのA→B→C→Aの経路で囲まれた面積を p_0V_0 で割った値を a で表すと、C→Aで気体が吸収した熱量はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 5

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| ① $(-a - \frac{3}{2})RT_0$ | ② $(a - \frac{3}{2})RT_0$ |
| ③ $(-a - \frac{5}{2})RT_0$ | ④ $(a - \frac{5}{2})RT_0$ |
| ⑤ $(-a - \frac{3}{4})RT_0$ | ⑥ $(a - \frac{3}{4})RT_0$ |
| ⑦ $(-a - \frac{5}{4})RT_0$ | ⑧ $(a - \frac{5}{4})RT_0$ |

Ⅱ 次の問いに答えよ。解答用紙の所定の欄には結果だけでなく考え方と途中の式も記せ。

図1のように、ばね定数 k のばねの一端を天井に固定して、他端を回転軸 O のまわりに滑らかに回る滑車に取りつける。滑車には糸が通してあり、糸の端には質量 M のおもり、他方の端には質量 m 、 m' の二つのおもりがつながれて、おもりも滑車もつり合いの状態で静止している。重力加速度の大きさを g とし、糸はじゅうぶん長く、また、糸の質量と滑車の質量は無視できるとして、下の問い(問1～問6)に答えよ。

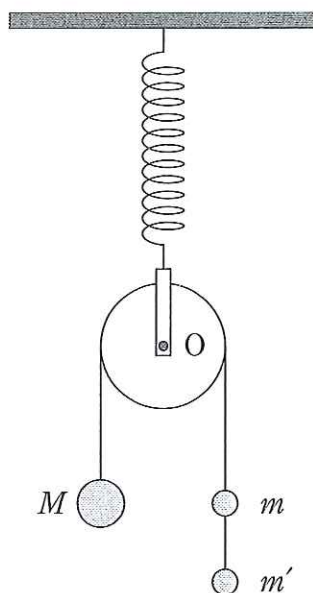


図 1

問 1 図1のつり合いの状態におけるばねの自然長からの伸びを求めよ。ただし、答えは M 、 g 、 k を用いて表せ。

- 問 2 図 1 の質量 m と質量 m' のおもりをつなぐ糸を切ると、おもりと滑車は運動を始める。滑車の回転軸 O が大きさ β の上向きの加速度で動いているときの糸の張力は S とし、質量 M のおもりは、 O から見て下向きの加速度 a をもつとする(図 2)。質量 M と質量 m の二つのおもりそれぞれに対する運動方程式を求めよ。ただし、答えは M, m, g, a, β, S のうちから必要なものを用いて表せ。

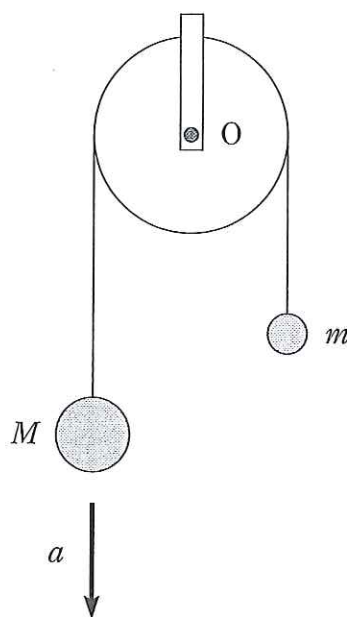


図 2

- 問 3 前問の運動方程式から、糸の張力 S と O から見たおもりの加速度 a を求めよ。ただし、答えは M, m, g, β を用いて表せ。
- 問 4 滑車の質量を無視しているので、滑車にはたらくばねの弾性力と滑車が糸から受ける力がつり合う。ばねの伸びを x としたとき、糸の張力 S を k, x を用いて表せ。
- 問 5 糸がたるまないとき、滑車は単振動することがわかる。この単振動の周期を求めよ。ただし、答えは M, m, g, k のうちから必要なものを用いて表せ。
- 問 6 糸がたるまずに単振動するという条件から、 M と m の間に成り立つ不等式を求めよ。ただし、答えは M, m を用いて表せ。