

# 物 理

教育学部 200点

## 注 意 事 項

1. 問題は、**1** から **4** までの計 4 問です。
2. **1** から **4** までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は、(4 の 1) から (4 の 4) までの計 4 枚です。解答は、すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 必ず解答用紙のすべてに、本学の受験番号を記入しなさい。
5. 印刷不鮮明およびページの落丁・乱丁等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
7. 試験終了後、問題冊子および計算用紙は持ち帰りなさい。

- 1 次の〔I〕と〔II〕について、説明を読みながら、問い(1)~(6)に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。

I) 図1のように、長さ  $l[\text{m}]$ 、質量  $m[\text{kg}]$  の一様な棒 AB の左端 A を、鉛直に立てた摩擦のある壁に押し当てた。棒の右端 B には糸 1 をつけて糸の他端を天井の点 C に固定した。さらに棒の右端 B に糸 2 をつけて質量  $M[\text{kg}]$  のおもりをつり下げた。棒と糸 1 のなす角度は  $\theta[\text{rad}]$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) で、棒は水平を保ち静止している。棒と壁との間の静止摩擦係数を  $\mu$  とし、糸は軽くて伸びないものとする。

- (1) 棒の左端 A のまわりの力のモーメントがつり合うことを考慮して、糸 1 の張力の大きさ  $T[\text{N}]$  を  $g, m, M, \theta$  を用いて表せ。
- (2) 棒が壁から受ける静止摩擦力の大きさ  $F[\text{N}]$  を  $g, m$  を用いて表せ。
- (3) 糸 2 の位置を棒の右端 B から左向きにゆっくり移動させたところ、右端 B から  $x[\text{m}]$  離れた位置で棒の左端 A がすべり始めた。すべり始める直前の棒が壁から受ける垂直抗力の大きさ  $N[\text{N}]$  を  $g, l, m, M, \mu, x$  を用いて表せ。

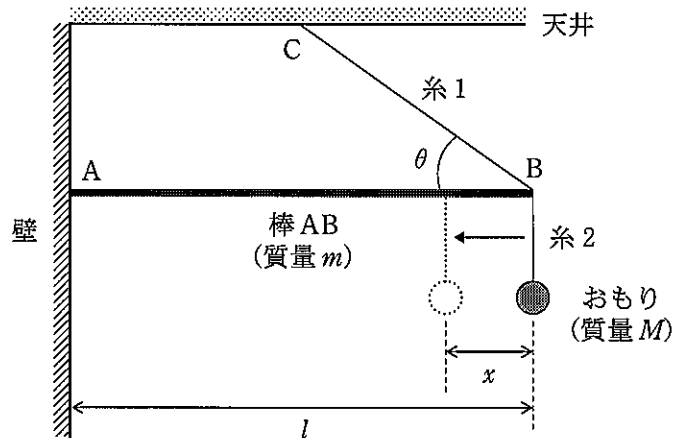


図 1

〔Ⅱ〕 図2のように、摩擦のない水平な床と階段がつながっている。階段の一段の高さと幅はともに  $l$  [m] である。床の上には一端を壁に固定したばね定数  $k$  [N/m] の軽いばねと、質量  $m_1$  [kg] の小物体および質量  $m_2$  [kg] の小球 ( $m_2 > m_1$ ) が置かれている。小物体をばねに押し付け、自然長から  $x$  [m] 縮めて静かに放したところ、ばねが自然長に戻ったところで小物体はばねから離れ、床の上を右向きに速さ  $v_1$  [m/s] で運動した。その後、小物体は離れた場所に静止していた小球と非弾性衝突し、左向きにはね返った。ここでは小物体と小球の間の反発係数(はね返り係数)  $e$  とし、小物体と小球の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。

(4)  $v_1$  を  $k, m_1, x$  を用いて表せ。

(5) 前述のように、衝突後に小物体が左向きにはね返るためには、 $e$  がある値より大きい必要がある。その値を  $m_1, m_2$  を用いて表せ。

衝突された小球は、床の上を右向きに速さ  $v_2$  [m/s] で運動後、床から飛び出した。

(6) 階段の二段目に小球が直接到達したとする。そのために必要な  $v_2$  の範囲と、床を飛び出してから二段目に到達するまでの時間  $t$  [s] を、それぞれ  $g, l$  を用いて表せ。

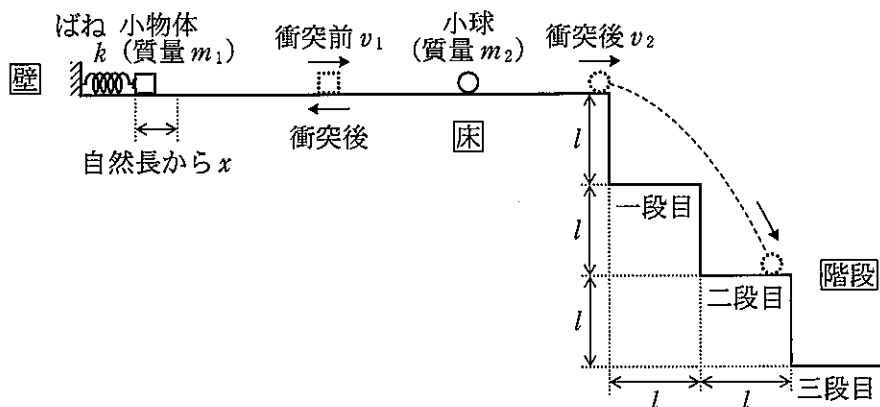


図 2

- 2 次の文中の (ア) ~ (ス) に入る適切な式または値を、また、  
 ① ~ ⑧ に入る A~F の記号を答えよ。なお、 はすでに  で与えられたものと同じものを表す。

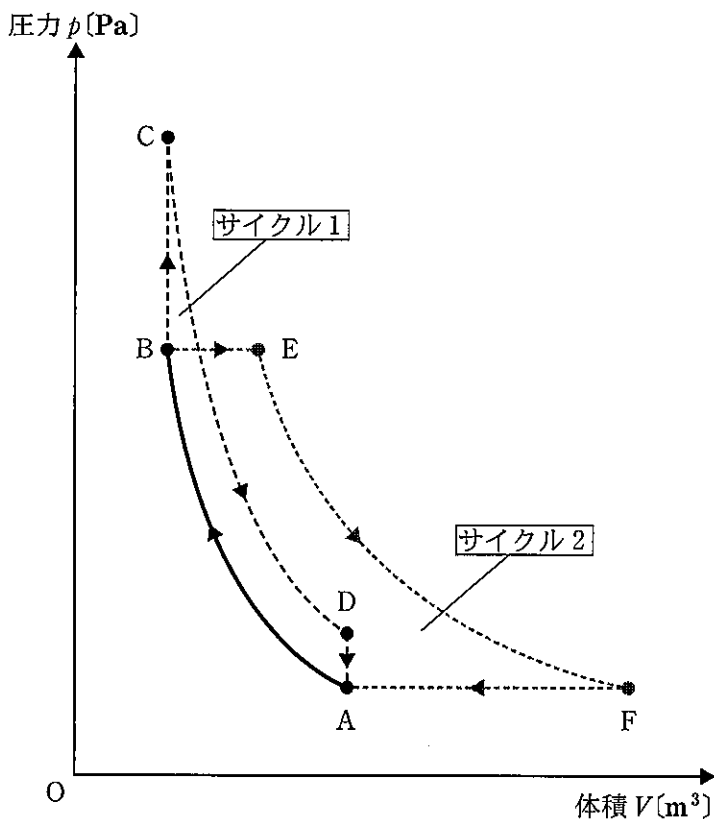


図 3

単原子分子理想気体 1 mol の状態を図 3 のように、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  の順に  
 ゆっくりと変化させる場合(サイクル1)と、 $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow A$  の順にゆっくりと  
 変化させる場合(サイクル2)を考える。 $A \rightarrow B$ ,  $C \rightarrow D$ ,  $E \rightarrow F$  は断熱変化、  
 $B \rightarrow C$ ,  $D \rightarrow A$  は定積変化、 $B \rightarrow E$ ,  $F \rightarrow A$  は定圧変化である。気体定数を  
 $R$  [J/(mol·K)], 状態 A, B, C, D, E, F の温度をそれぞれ  $T_A$  (K),  $T_B$  (K),  
 $T_C$  (K),  $T_D$  (K),  $T_E$  (K),  $T_F$  (K) とする。なお、単原子分子理想気体の定積モル  
 比熱  $C_V$  [J/(mol·K)], 定圧モル比熱  $C_p$  [J/(mol·K)] はそれぞれ  $\frac{3}{2}R$ ,  $\frac{5}{2}R$   
 である。

A→B(断熱), B→C(定積), B→E(定圧)の各過程において気体が受け取った熱量  $Q$  [J], 内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J], および気体がした仕事  $W$  [J] を,  $R, T_A, T_B, T_C, T_E$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表すと, 表1のように整理できる。

表1

	気体が受け取った 熱量 $Q$ [J]	内部エネルギーの 変化 $\Delta U$ [J]	気体がした仕事 $W$ [J]
A→B(断熱)	(ア)	(イ)	(ウ)
B→C(定積)	(エ)	(オ)	(カ)
B→E(定圧)	(キ)	(ク)	(ケ)

ここでサイクル1について考える。A→B, B→C, C→D, D→A の中で気体が熱を受け取る過程は (1) → (2), 気体が熱を放出する過程は (3) → (4) なので, サイクル1の熱効率  $e_1$  を  $T_A, T_B, T_C, T_D$  を用いて表すと  $e_1 =$  (コ) となる。ここで, 断熱過程では圧力  $p$  [Pa], 体積  $V$  [m<sup>3</sup>], 比熱比  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  の間に「 $pV^\gamma = \text{一定}$ 」という関係が成り立つことを用いると,  $T_D$  は  $T_A, T_B, T_C$  を用いて  $T_D =$  (サ) と表すことができる。  $e_1 =$  (コ) と  $T_D =$  (サ) より,  $e_1$  は  $T_A, T_B$  だけを用いて  $e_1 =$  (シ) と表すことができる。つまり, サイクル1の熱効率は状態Aと状態Bが決まれば一意に定まることがわかる。

次にサイクル2について考える。A→B, B→E, E→F, F→A の中で気体が熱を受け取る過程は (5) → (6), 気体が熱を放出する過程は (7) → (8) なので, サイクル2の熱効率  $e_2$  を  $T_A, T_B, T_E, T_F$  を用いて表すと  $e_2 =$  (ズ) となる。ここでも断熱過程では「 $pV^\gamma = \text{一定}$ 」の関係を用いると,  $e_2$  は  $T_A, T_B$  だけを用いて  $e_2 =$  (ジ) と表すことができる。すなわち, サイクル2の熱効率も状態Aと状態Bが決まれば一意に定まることがわかる。

以上より, サイクル1のような断熱過程と定積過程から成るサイクル(オットーサイクル)とサイクル2のような断熱過程と定圧過程から成るサイクル(ブレイトンサイクル)を比較すると, 図3のように断熱圧縮過程A→Bが同じであれば両者の熱効率が等しいことがわかる。

3 次の〔I〕と〔II〕について、説明を読みながら、以下の問い(1)~(9)に答えよ。

〔I〕 図4のように、真空中の $xy$ 平面上(座標の単位は $m$ とする)の点 $P(-a, a)$ 、点 $Q(a, a)$ 、点 $R(a, -a)$ ( $a > 0$ とする)にそれぞれ電気量 $q[C]$ 、 $-4q[C]$ 、 $q[C]$ ( $q > 0$ )の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を $k_0(N \cdot m^2/C^2)$ とし、電位の基準点は無限遠にとるものとする。また、重力の影響は考えなくてよい。

- (1) 点 $P$ 、 $Q$ 、 $R$ のそれぞれの点電荷が点 $S(-a, -a)$ につくる電場の大きさ $E_P[N/C]$ 、 $E_Q[N/C]$ 、 $E_R[N/C]$ を求めよ。
- (2) 点 $S$ における電場の大きさ $E_S[N/C]$ を求めよ。
- (3) 点 $S$ の電位 $V_S[V]$ 、および原点 $O$ の電位 $V_O[V]$ を求めよ。

次に、質量 $m[kg]$ 、 $q[C]$ の点電荷を点 $S$ に置き、静かに手を離れたところ、この点電荷は原点 $O$ に向かって移動し始めた。

- (4) この点電荷が点 $S$ から原点 $O$ へ移動するとき、静電気力がする仕事 $W[J]$ を $q$ 、 $V_S$ 、 $V_O$ を用いて表せ。
- (5) この点電荷が原点 $O$ を通過するときの速さ $v[m/s]$ を $m$ 、 $q$ 、 $a$ 、 $k_0$ を用いて表せ。

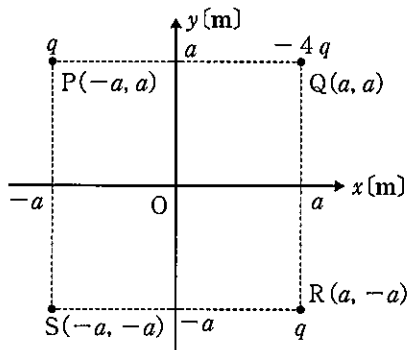


図4

〔Ⅱ〕 図5のように、十分に長い2本の平行導線1, 2を、真空中の $xy$ 平面上の原点 $O$ と点 $P(d, 0)$ に垂直に固定した。導線1には電流 $I$ 〔A〕が、導線2には電流 $2I$ 〔A〕が、ともに紙面に垂直に表から裏に向かう向き(図中の記号 $\otimes$ )に流れている。ここで、真空の透磁率を $\mu_0$ 〔N/A<sup>2</sup>〕とし、円周率を $\pi$ とする。

(6) 点 $Q\left(\frac{3}{2}d, 0\right)$ における磁場の強さ $H$ 〔A/m〕を求めよ。また、その向きを図中の(ア)~(エ)より選んで記号で答えよ。

(7)  $x$ 軸上で磁束密度の大きさが0となる点の $x$ 座標を求めよ。

(8) 導線1を流れる電流は、導線2を流れる電流がつくる磁場から力を受ける。導線1の電流の単位長さあたりにはたらく力の大きさ $F$ 〔N/m〕を求めよ。

(9) (8)ではたらく力は引力か斥力か答えよ。

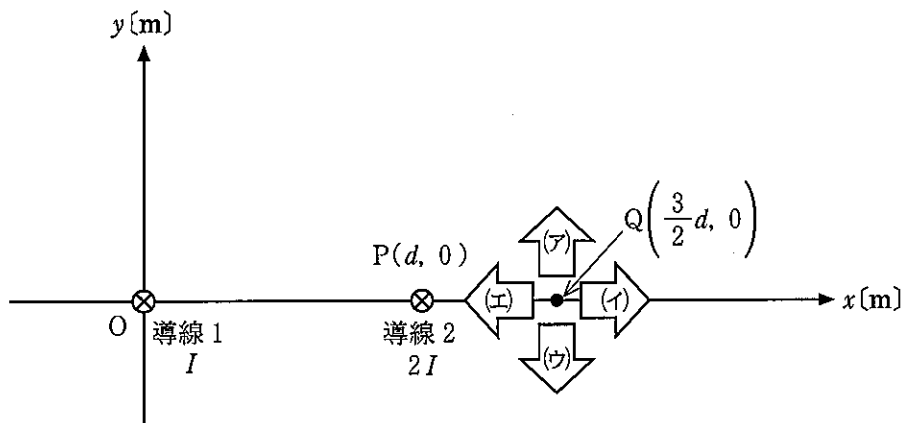


図5

4 次の〔I〕と〔II〕について、説明を読みながら、以下の問い(1)~(8)に答えよ。

〔I〕  $x$  軸の正の向きに速さ  $2.0 \text{ m/s}$  で進む正弦波がある。図 6 は時刻  $t = 0 \text{ s}$  での波形を表しており、横軸は位置  $x \text{ [m]}$ 、縦軸は媒質の変位  $y \text{ [m]}$  を示している。

この波の振幅は   $\text{m}$  で、波長は   $\text{m}$  である。また、波の周期は   $\text{s}$  で、振動数は   $\text{Hz}$  である。

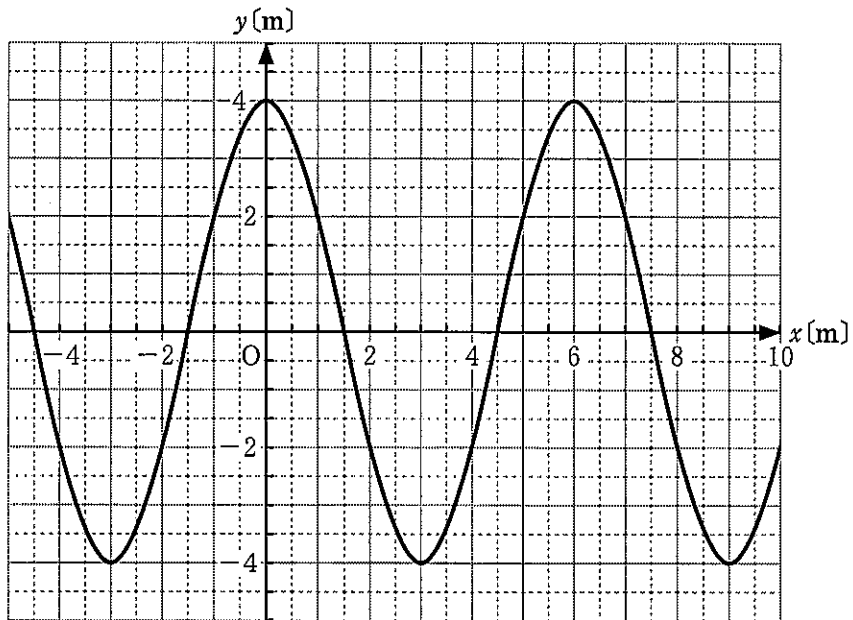


図 6

- (1) 空欄  ~  に適切な数値を入れよ。なお、数値は有効数字 2 桁で示せ。
- (2) 位置  $x \text{ [m]}$ 、時刻  $t \text{ [s]}$  における変位  $y \text{ [m]}$  を表す式を書け。ただし、円周率を  $\pi$  とする。
- (3) 位置  $x = 5.0 \text{ m}$  での媒質の変位を  $t = 0 \sim 8 \text{ s}$  の範囲で  $y - t$  図に描け。



〔Ⅱ〕 回折格子を利用して、箱型の簡易分光器を作製した。図7のように、回折格子に目を当てて箱の中をのぞき込みスリットを光源に向けて、スリットから離れた場所に虚像の明線が見える。

箱の中に光のスペクトルが観察されるこの現象は、障害物の背後に回り込む波の  という性質、また、波が重なり振動を強め合ったり弱め合ったりするという波の  といった性質で説明される。つまり、光が波の性質を持つということである。

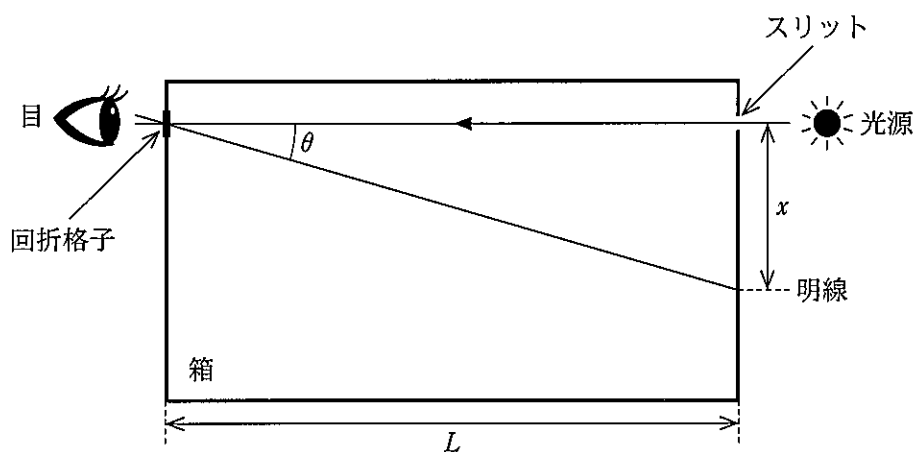


図7

(4) 空欄  ,  に適切な語句を入れよ。

(5) 単色光の弱い光源を観察すると、スリットから距離  $x$  [cm] 離れた場所に最初の明線(1次の明線)が見られた。格子定数(回折格子の筋と筋の間隔)を  $d$  [cm]、回折格子から見てスリットと明線がなす角を  $\theta$  [rad] とする。単色光の波長  $\lambda$  [cm] を  $d$ 、 $\theta$ 、 $x$  のうち必要なものを用いて表せ。

(6) 箱の長さ(スリットから回折格子までの水平距離)を  $L$  [cm] とする。(5)の単色光の波長  $\lambda$  を  $d$ 、 $x$ 、 $L$  を用いて表せ。

(7) 1.0 cm あたり 5000 本の溝が等間隔に刻まれている回折格子と、  
 $L = 24 \text{ cm}$  の箱を用いたところ、 $x = 6.0 \text{ cm}$  の位置に単色光の最初の明線が観察された。この光の波長は何 cm か数値で求めよ。なお数値は、 $|a|$  が 1 に比べて十分に小さいときの近似式  $(1 + a)^n \approx 1 + na$  を用いて、 $\left(\frac{x}{L}\right)^2$  が 1 に比べて十分に小さいとして計算し、有効数字 2 桁で示せ。

(8) 以下の空欄  に入る適切な語句を下の(A)~(D)から選び記号で答えよ。

この簡易分光器で蛍光灯を見ると、赤色から紫色まで何本かの光の線スペクトルが観察された。スリットに近い側に見えるのは  である。

- (A) 紫色に比べて波長の長い赤色
- (B) 紫色に比べて波長の短い赤色
- (C) 赤色に比べて波長の長い紫色
- (D) 赤色に比べて波長の短い紫色