

# 物 理

## 注 意 事 項

- 1 「解答始め」の合図があるまでこの冊子を開かないこと。
- 2 この冊子は 8 ページである。
- 3 学部名と受験番号は、必ず 4 枚の解答用紙のそれぞれに記入すること。
- 4 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。

1 図1に示すように天井からひもで吊り下げられた質量  $m$  の物体が、滑らかな斜面の上に置かれている。物体の位置から斜面の下端までの距離は  $L$ 、斜面の下端から地面までの高さは  $H$ 、鉛直線と斜面のなす角は  $\beta$  である。この時の鉛直線とひものなす角を  $\alpha$ 、ひもの張力の大きさを  $T$ 、物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさを  $N$  とする。

ひもは一直線上に張った状態で伸縮せず、ひもの質量は無視できるとする。物体の大きさは十分小さく質点として考えることができるとする。物体と斜面の間には摩擦力が作用しないとし、空気抵抗は無視できるものとする。また、重力加速度の大きさは  $g$  とする。

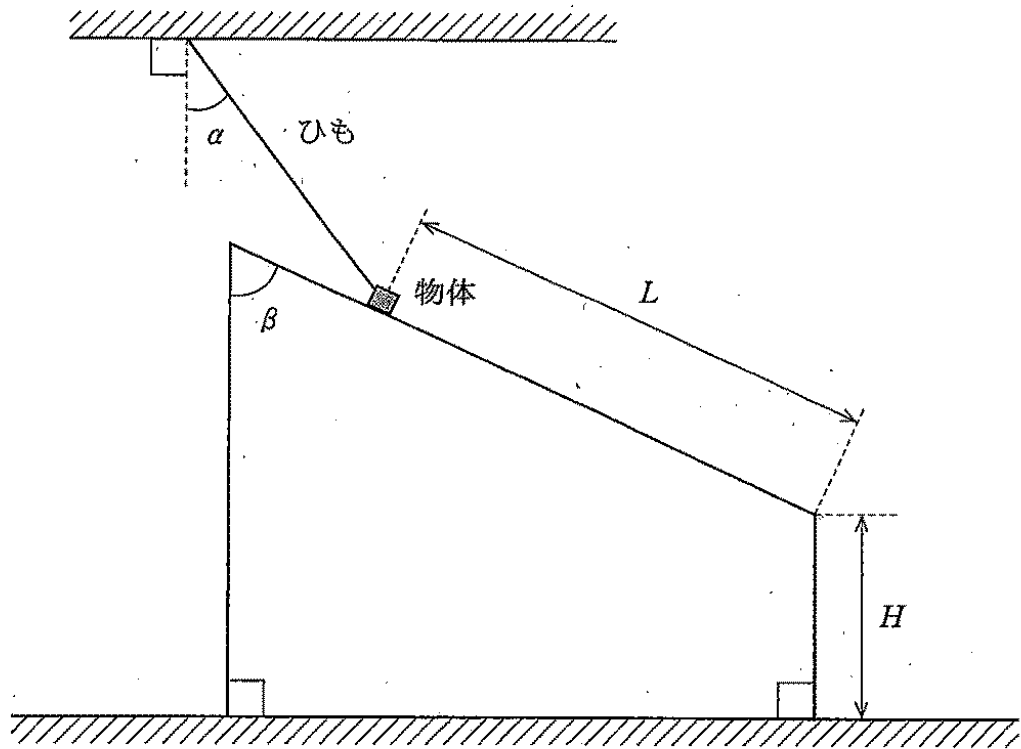


図1

- (1) 物体に作用する力を解答欄の図に矢印で示せ。矢印が何の力を示しているのかが分かるように矢印には文字を添えること。
- (2) 物体に作用する力について、斜面に平行な方向と垂直な方向の力の釣り合い条件を式で表せ。
- (3) ひもと物体の接続部分でひもを切断すると、物体が斜面下方に向かって運動し始めた。物体が斜面から飛び出す瞬間の物体の速さ  $v$  を求めよ。答えの導出過程も示せ。
- (4) 物体が地面に着地するときの物体の速度  $V$  を水平方向  $V_x$  (右向きを正) と鉛直方向  $V_y$  (下向きを正) に分けて  $\beta$ ,  $g$ ,  $H$ ,  $v$  を用いて表せ。答えの導出過程も示せ。

2 図2の「状態1」に示すように、滑らかに動く質量  $m$ 、断面積  $A$  のピストン付きのシリンダがある。この中に単原子分子理想気体を  $n$  モルだけ封入し、水平に置いたところ、気体の圧力、体積、絶対温度はそれぞれ  $p_1 = p_0$ 、 $V_1$ 、 $T_1 = T_0$  になった。次に、以下に説明するように  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  の順に状態変化をさせた。図中の圧力  $p$ 、体積  $V$ 、絶対温度  $T$  の下付添字 1~4 は封入した気体の状態 1~4 を意味し、下付添字 0 は大気の状態を意味する。

- 1 → 2 : 状態1からシリンダを立てたところピストンは降下した後に静止し、体積  $V_2$  は  $2V_1$  に等しくなった。この状態変化に要した時間は短く、熱の出入りは無視できる。
- 2 → 3 : 状態2で静止していたピストンが徐々に降下し、温度  $T_3$  が大気温度  $T_0$  と等しくなったときにピストンは静止した。
- 3 → 4 : 状態3からシリンダを水平にしたところ、ピストンは移動した後に静止し、圧力  $p_4$  は  $p_0$  に等しくなった。この状態変化に要した時間は短く、熱の出入りは無視できる。
- 4 → 1 : 圧力一定のもとに、体積が  $V_1$  になるまで状態変化をさせた。

気体定数を  $R$ 、重力加速度の大きさを  $g$  として以下の問いに答えよ。ただし、ピストンはいずれの状態においてもシリンダ内に留まっているものとする。(1)~(3)は答えの導出過程も示せ。

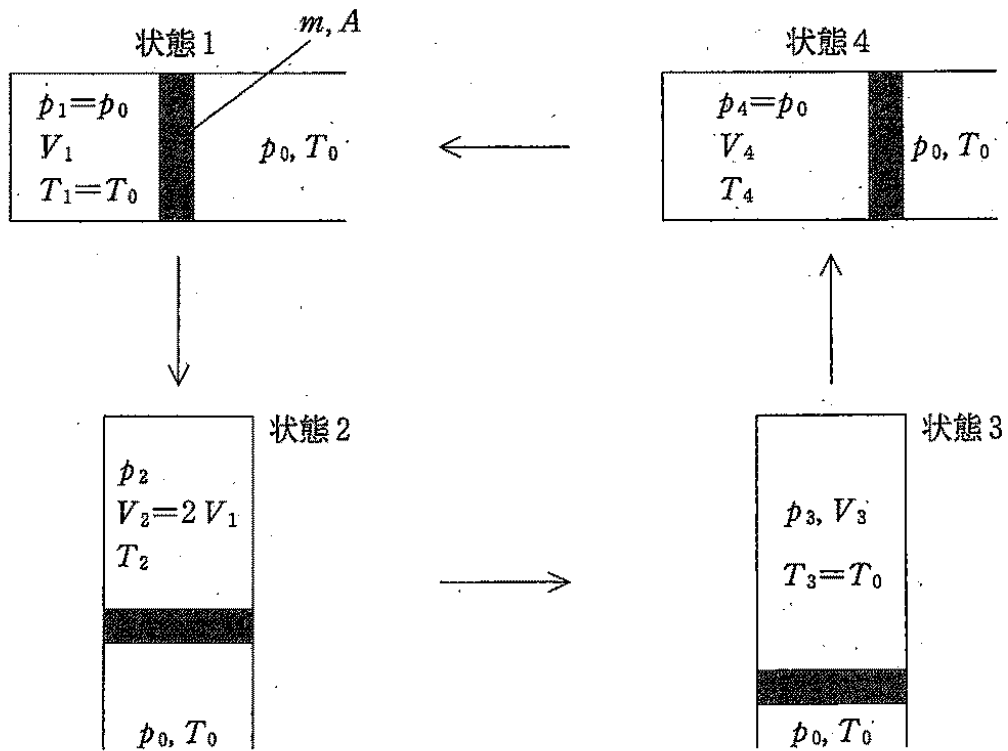


図2

- (1) 状態2における気体の圧力  $p_2$  を  $m, A, p_0, g$  を用いて求めよ。
- (2) 状態2における気体の温度  $T_2$  を  $p_0, p_2, T_0$  を用いて求めよ。
- (3)  $2 \rightarrow 3$  の変化で、気体がピストンになした仕事  $W_{23}$  を  $n, R, T_0, T_2$  を用いて求めよ。
- (4)  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  の変化を解答欄の  $p-V$  グラフ中に示せ。状態を示す点には、対応する番号を付すこと。ただし、 $1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 4$  の過程を表す曲線は、傾向が分かる程度に描けばよい。また、グラフ中の破線は点1を通る  $pV = \text{一定}$  の曲線であり、補助的に示したものである。
- (5)  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  の変化で気体がピストンになした仕事  $W_{123}$  と、仮に状態1から等温的に状態3まで変化させたときに気体がピストンになした仕事  $W_{13}$  はどちらが大きいか。理由をつけて述べよ。

3 図3のように、水槽・スピーカー・発振器・レーザー光源およびレンズA、Bからなる装置を組み立てる。スピーカーから出る音の周波数は発振器から入力される交流の周波数に等しく、音の強さは発振器から入力される交流の電力に比例する。この音は平面波として水中を伝わり、反対側の壁で吸収され、反射は起こらない。レーザー光源からは波長 $\lambda$ の平行光線が出て、レンズAとBを通して再び平行光線となり、水槽に入射する。この装置の動作について、以下の問いに答えよ。

- (1) 発振器から周波数 $f$ の交流信号をスピーカーに通した。このとき、水槽内に生じる音波の波長 $d$ を求めよ。ただし、水中での音速を $s$ とする。
- (2) 音は(ア)波であり、媒質の密度変化が伝わる現象なので、水中には密度変化のパターンが等間隔に生じる。(ア)に当てはまる言葉を解答欄に示せ。
- (3) レンズAの焦点距離を $a$ 、レンズBの焦点距離を $b$ とするとき、2つのレンズの間隔を求めよ。答えの導出過程も示せ。図を用いてもよい。
- (4) 水中音波の波長 $d$ が十分に短い場合には、水中に回折格子ができたのと同じ状況になる。この回折格子は音が伝わるのに伴い移動するが、それは以降で述べる現象には影響しないので、以下では回折格子が静止していると考え。ここに入射した光は、そのまま通り抜ける方向以外にも干渉によって明るく見える方向ができ、それが十分に遠方におかれたスクリーンに鋭い明線となって現れる。このうち、入射光となす角が最も小さい光線(1次回折光)が進む向きと入射光とがなす角 $\theta$ を、 $\lambda$ 、 $d$ を使って表せ。ただし、 $\theta$ が1ラジアンより十分に小さい時の近似式、 $\sin \theta = \theta$ を用いてもよい。答えの導出過程も示せ。図を用いてもよい。
- (5) 水中音波の強さと回折光の明るさは比例する。発振器に代えて、複数の周波数で異なった電力の交流を同時に発生させる装置(シンセサイザー)をスピーカーにつなぎ動作させたところ、1次回折光が3つの方向で生じ、スクリーン上に3本の明線が観察できた。その明るさの比は角 $\theta$ が小さい方から1:2:3であった。このことから、シンセサイザーが発している全ての交流について、その周波数と電力の関係を最もよく表しているグラフを下の①~⑥の中から1つだけ選び、解答欄に示せ。

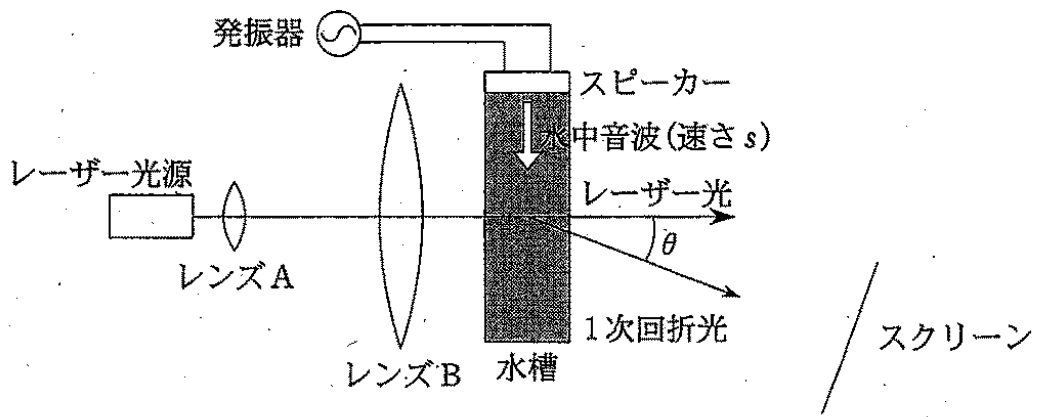
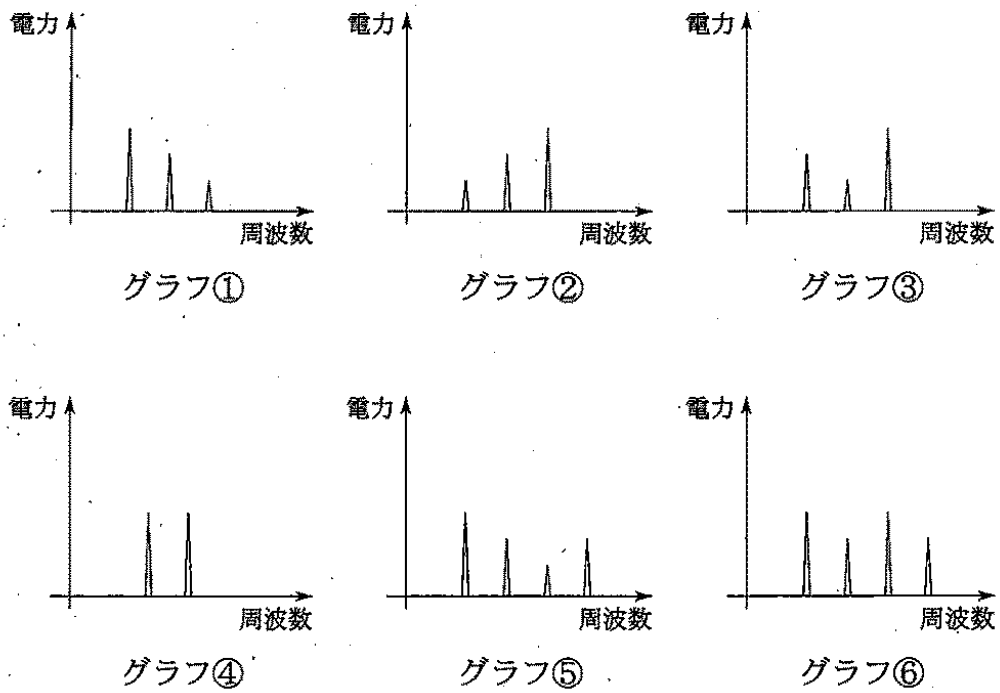


図 3



4 図4(a)に示すような、抵抗値がそれぞれ、 $R_1$ ,  $R_2$ の電気抵抗A, B, 電気容量がそれぞれ $2C_0$ ,  $C_0$ のコンデンサーD, E, インダクタンス $L$ のコイル, 起電力 $V_0$ の電池で構成されている回路がある。最初, スイッチ $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ は開いている。また, 最初の各コンデンサーの電荷は0である。導線とコイルの電気抵抗は無視できると考える。

- (1) 電気抵抗Aに流れている電流 $I_A$ を示せ。
- (2) 次に $S_1$ を閉じた直後に位置Xに流れる電流 $I_X$ を求めよ。答えの導出過程も示せ。
- (3) (2)で十分に時間がたった後, コンデンサーDにたくわえられる電気量 $Q_0$ と静電エネルギー $U$ を,  $V_0$ と $C_0$ を用いて表せ。
- (4) (3)の後,  $S_1$ を開いて $S_2$ を閉じて十分に時間がたった後のコンデンサーDの電荷を $Q_D$ , コンデンサーEの電荷を $Q_E$ とする。 $Q_D$ と $Q_E$ を,  $Q_0$ を用いて表せ。答えの導出過程も示せ。
- (5) (4)の後,  $S_2$ を開いて,  $S_3$ を閉じて, コイルの両端の電圧の時間変化を観測したら, 図4(b)のように変化した(電圧の最大値は $V_1$ )。このとき, 図4(a)中の位置Yでの電流 $I$ がどのように変化するかを, 解答欄のグラフに示せ。ただし電流の最大値は $I_1$ とする。
- (6) 図4(b)の時刻 $t = 0, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}$ でのコンデンサーEとコイルのエネルギーを,  $I_1, L, C_0, V_1$ を用いて求め, どのようなエネルギー変化(移動)が起こっているのかを説明せよ。



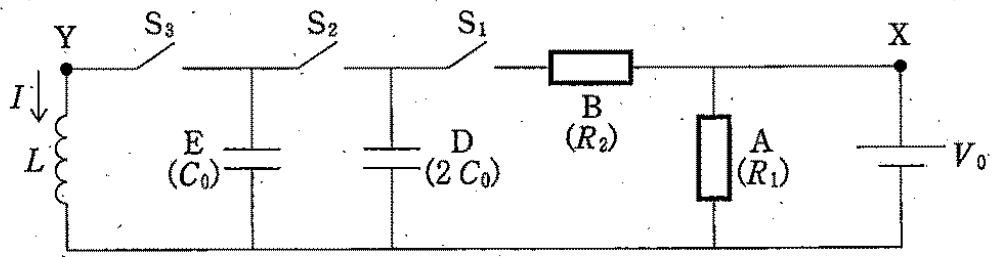


图 4(a)

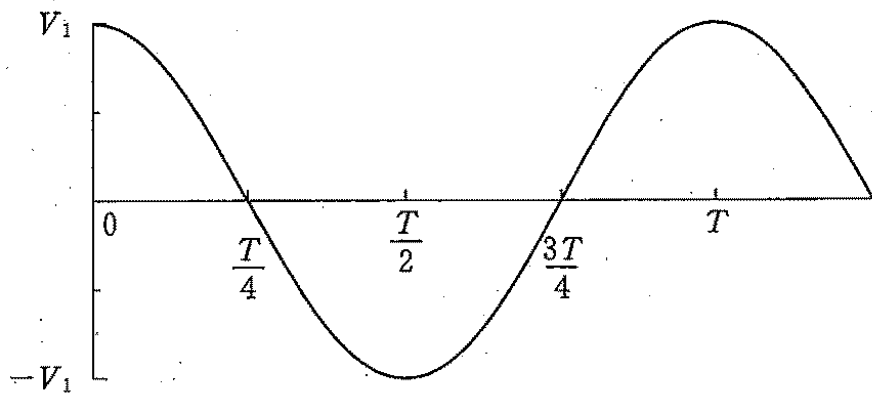


图 4(b)