

## 物 理

〔問1〕 図1-1のように、水平な粗い床の上に、なめらかな斜面を持つ質量  $M$  の台  $B$  が置かれている。台  $B$  の斜面上には、大きさの無視できる質量  $m$  の小物体  $A$  が、床から高さ  $h$  の地点に置かれ、一端が天井に固定された糸で斜め上方に引っ張られている。糸と鉛直方向とのなす角度は  $\alpha$  であり、台の底面と斜面とのなす角度は  $\beta$  である。ただし、 $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ 、

$0 < \beta < \frac{\pi}{2}$ 、 $0 < \alpha + \beta < \frac{\pi}{2}$  とする。糸は伸び縮みせず、その質量は無視できる。重力加速度の大きさを  $g$  とし、小物体および台が運動中の空気抵抗の影響は無視できるものとして、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。必要に応じて、下記の三角関数の加法定理を利用し、解答を整理すること。

次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。必要に応じて、下記の三角関数の加法定理を利用し、解答を整理すること。

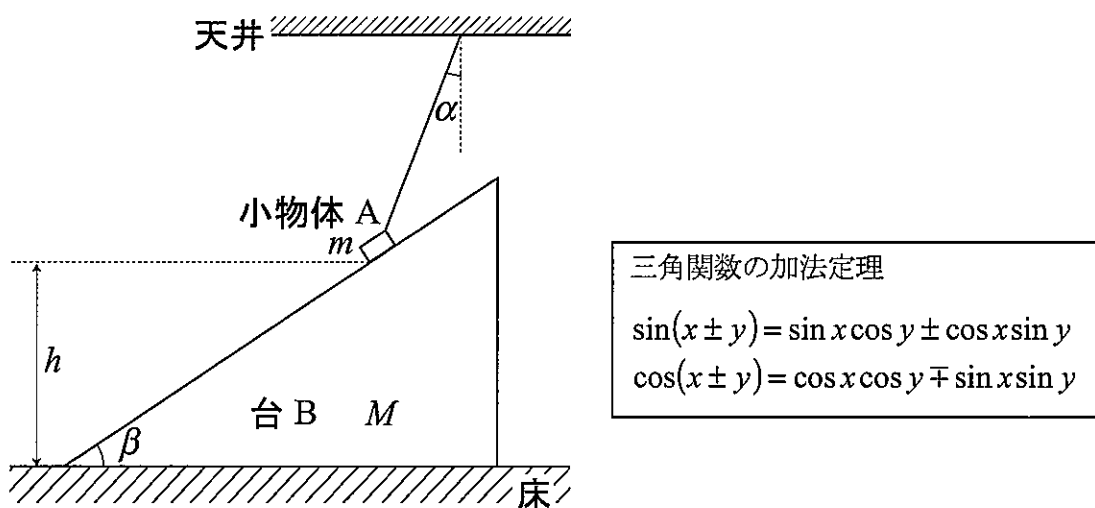


図 1-1

I. 最初、小物体  $A$  および台  $B$  は静止していた。また、糸はたるんでいなかった。

- (1) 糸の張力の大きさを求めよ。
- (2) 小物体  $A$  が斜面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (3) 台  $B$  が床から受ける静止摩擦力の大きさを求めよ。
- (4) 台  $B$  が床から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

[問1 続き]

II. 次に、糸を静かに切ると、図 1-2 のように、小物体 A は高さ  $h$  の点で静止した状態から滑り落ち、斜面に沿って等加速度運動を始めた。このときも、台 B は静止していた。

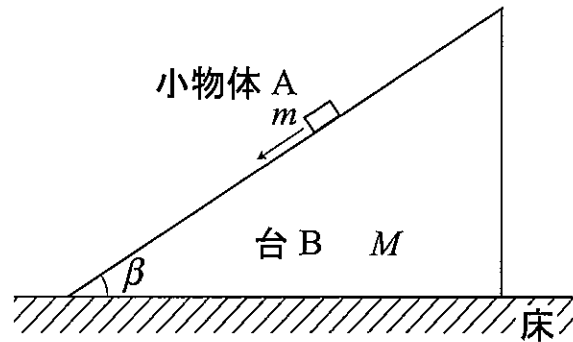


図 1-2

- (5) 小物体 A の、斜面方向の加速度の大きさを求めよ。
- (6) 小物体 A が斜面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (7) 台 B が床から受ける静止摩擦力の大きさを求めよ。
- (8) 小物体 A が台 B の下端に達する直前の速さを求めよ。
- (9) 小物体 A が高さ  $h$  の点から滑り落ちてから台 B の下端に達するまでに要する時間を求めよ。

III. 最後に、図 1-3 のように、台 B が水平左向きに一定の力で押されて、小物体 A が台 B の斜面に対して同じ位置を保ったまま、小物体 A および台 B がともに水平左向きに等加速度運動している場合を考える。ただし、台と床との間の動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

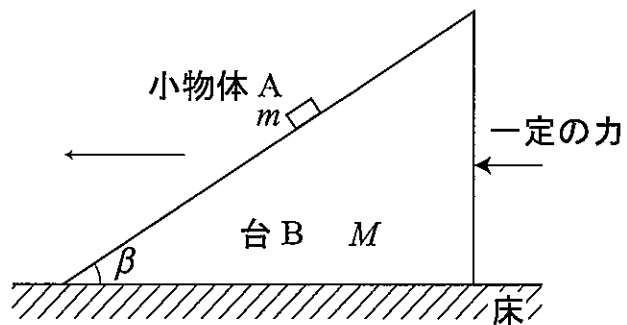


図 1-3

- (10) 小物体 A と台 B との加速度の大きさを求めよ。
- (11) 台 B と床との間の動摩擦力の大きさを求めよ。
- (12) 台 B を水平左向きに押す一定の力の大きさを求めよ。

〔問2〕図2のように、起電力 $V$ の電池に、抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、コンデンサー $C_1$ 、 $C_2$ がスイッチ $S$ を介して接続されている。抵抗 $R_1$ および $R_3$ の抵抗値は $R$ 、抵抗 $R_2$ の抵抗値は $r$ 、コンデンサー $C_1$ および $C_2$ の電気容量は $C$ である。最初、スイッチ $S$ は開いており、コンデンサー $C_1$ および $C_2$ に電荷は蓄えられていなかった。導線の電気抵抗および電池の内部抵抗は無視できるものとして、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

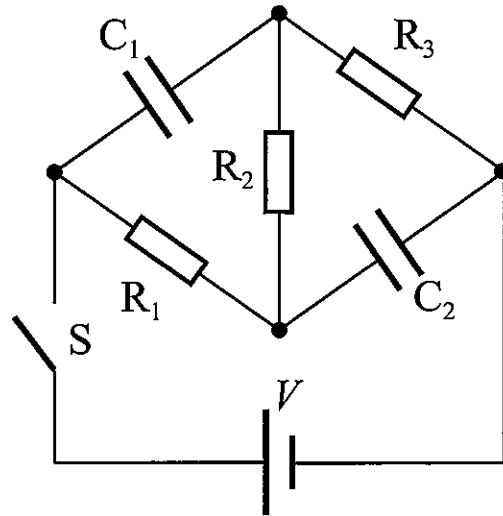


図2

I. スイッチ $S$ を閉じた直後を考える。

- (1) 抵抗 $R_2$ の両端の電位差の大きさを求めよ。
- (2) 抵抗 $R_1$ に流れる電流の大きさを求めよ。
- (3) スイッチ $S$ に流れる電流の大きさを求めよ。

II. 次に、スイッチ $S$ を閉じてから、十分時間が経過した。

- (4) スイッチ $S$ に流れる電流の大きさを求めよ。
- (5) コンデンサー $C_1$ の両端の電位差の大きさを求めよ。
- (6) コンデンサー $C_2$ に蓄えられている静電エネルギーを求めよ。

III. 最後に、抵抗値 $r$ を、 $0 \leq r \leq 3R$ の範囲でさまざまに変えて、上記IおよびIIの実験を繰り返し行った。

(7) スイッチ $S$ を閉じてから十分時間が経過したときの、コンデンサー $C_2$ に蓄えられている静電エネルギーを $U_2$ とする。 $U_0 = \frac{1}{2}CV^2$ とし、横軸に $r' = \frac{r}{R}$ 、縦軸に $U_2' = \frac{U_2}{U_0}$ をと

り、 $U_2'$ の $r'$ に対するグラフを $0 \leq r' \leq 3$ の範囲で描け。 $r' = 0, 1, 2, 3$ での $U_2'$ の値もグラフに書き込むこと。記入する $U_2'$ の値は、分数のままでも良い。

〔問3〕図3のように、 $\angle B$ の大きさと $\angle C$ の大きさが等しく、頂角 $\angle A$ の大きさが $\theta$ である二等辺三角形ABCを断面に持つプリズムが空気中に置かれている。斜辺AB上の点Dに、波長 $\lambda_0$ の単色光を底辺BCに平行に入射させた。空気の絶対屈折率を1、波長 $\lambda_0$ の単色光に対するプリズムの絶対屈折率を $n(n > 1)$ とする。次の各問いに答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

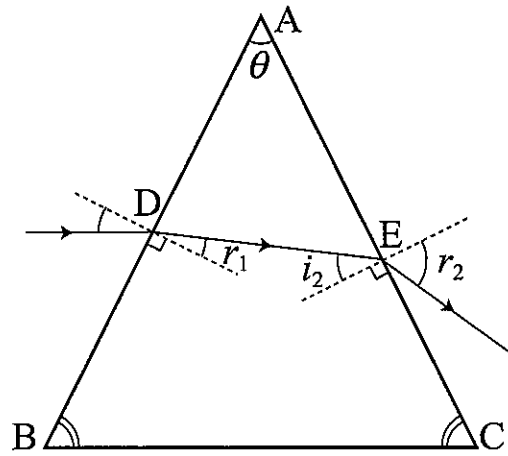


図3

I. 単色光は、点Dに入射して屈折し、プリズムの中に入った。

- (1) 点Dでの屈折角を $r_1$ としたとき、 $\sin r_1$ を $n$ と $\theta$ を用いて表わせ。
- (2) プリズム内部での単色光の波長を、 $n$ と $\lambda_0$ を用いて表わせ。

II. 単色光はプリズムの中を進み、斜辺AC上の点Eに入射して屈折し、プリズムから空気中に出た。

- (3) 点Eでの入射角 $i_2$ を、 $\theta$ と $r_1$ を用いて表わせ。
- (4) 点Eでの屈折角を $r_2$ とするとき、 $\sin r_2$ を、 $n$ 、 $\theta$ 、 $r_1$ を用いて表わせ。
- (5) 点Dに入射させる光を赤色から紫色に変更したとき、入射して屈折が生じる点Eは斜辺AC上でどのようなようになるか。次の①～③の中から番号で答え、その理由も答えよ。
  - ① 点Aに向かって移動する。
  - ② 点Cに向かって移動する。
  - ③ 移動しない。

III. 最後に、 $\theta = 90^\circ$ の場合を考える。

- (6) 単色光が斜辺AC上で全反射するときの、最も小さい絶対屈折率 $n$ の値を、有効数字2桁で求めよ。必要であれば、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$ 、 $\sqrt{5} = 2.24$ を用いよ。

〔問4〕1 molの単原子分子理想気体が、図4のように、なめらかに動くピストンを持つ容器内に閉じ込められている。最初、気体の圧力は $p_1$ 、体積は $V_1$ であった。この状態を〔状態A〕とする。ピストンの質量は無視できるものとし、気体定数を $R$ として、次の各問いに答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

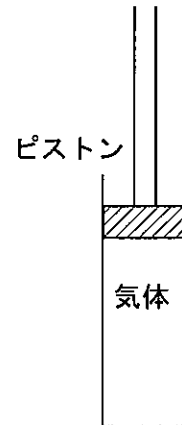


図4

I. 気体を等温に保ったまま、ピストンに力を加えてゆっくり圧縮すると、気体の体積は $\frac{V_1}{8}$ になった。この状態を〔状態B〕とする。

- (1) 〔状態B〕での気体の温度と圧力を求めよ。
- (2) 〔状態A〕から〔状態B〕への変化における、内部エネルギーの変化量を求めよ。

II. 次に、〔状態B〕からピストンを引き上げ、気体の体積が $V_1$ になるまで気体を膨張させた。この状態を〔状態C〕とする。〔状態B〕から〔状態C〕への変化では気体への熱の出入りはなかった。

- (3) 〔状態C〕での気体の温度と圧力を求めよ。
- (4) 〔状態B〕から〔状態C〕への変化における、内部エネルギーの変化量を求めよ。
- (5) 〔状態B〕から〔状態C〕への変化において、気体が外にした仕事を求めよ。

III. 最後に、〔状態A〕と〔状態C〕との違いについて検討したい。

- (6) 〔状態A〕→〔状態B〕→〔状態C〕の変化の様子を、横軸に体積 $V$ 、縦軸に圧力 $p$ をとった $p$ - $V$ 図で表わせ。図中には各状態に対応する点を、A、B、Cとして記入すること。
- (7) 体積を一定に保ったまま〔状態C〕を〔状態A〕にゆっくりと戻すためには、どのような操作を行えばよいか。定量的に説明せよ。

〔問5〕 X線について次の各実験を行った。プランク定数を  $6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、真空中での光速を  $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電子の電気量の大きさを  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子の質量を  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  とし、次の各問いに答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記すこと。単位が必要なものは単位も記入し、解答は解答欄に記すこと。

I. X線管の中で、ある大きさの電圧で加速された電子が金属板に衝突して発生する X線の強度と波長の関係（スペクトル）を調べる実験を行うと、最短の波長よりも長い波長範囲で広範囲に強度が分布する X線①と、ある波長でのみ非常に強い強度のピークが現れる X線②から構成されることがわかった。このとき、広範囲に強度が分布する X線の最短の波長は  $4.0 \times 10^{-11} \text{ m}$ 、非常に強い強度のピークが現れる X線の波長は  $6.0 \times 10^{-11} \text{ m}$  であった。

- (1) 下線①および下線②の特徴を持つ X線の名称を答えよ。
- (2) 実験で使用した電圧の大きさを求めよ。
- (3) 下線①が発生する原因を、最短波長が存在する理由も含めて説明せよ。

II. 次に、上記 X線から②の X線のみを取り出し、図 5-1 のように、原子列面の間隔が一定である結晶に対して、原子列面に対して  $\theta$  の角度で X線を入射させ、 $\theta$  を増加させながら結晶からの反射 X線の強度を測定した。 $\theta$  を  $0^\circ$  から増加させ、4 回目の強度の極大を観測したとき、 $\theta$  の値は  $30^\circ$  であった。

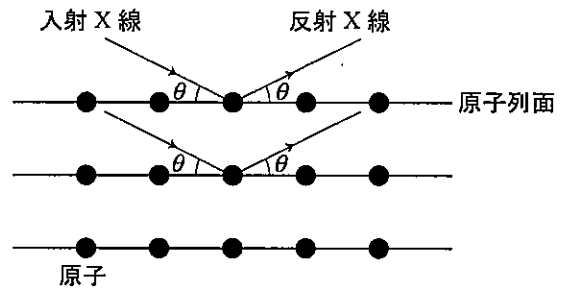


図 5-1

- (4) 結晶の原子列面の間隔を求めよ。

III. 最後に、II. で使用したのと同じの結晶に対して、初速度 0 から電圧  $V$  で加速された電子線を図 5-2 のように入射させて、電圧  $V$  を変化させながら入射電子線の強度に対する反射電子線の強度の割合  $R$  を測定した。この場合、電子線の入射による X線の発生は考えないものとする。

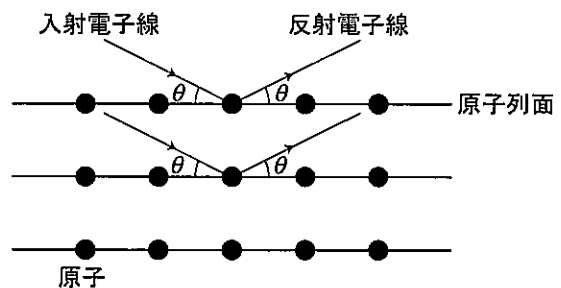


図 5-2

- (5) 電子線の波長を、プランク定数  $h$ 、電子の電気量の大きさ  $e$ 、電子の質量  $m$  および  $V$  を用いて表わせ。
- (6)  $\theta$  を  $30^\circ$  に固定し、加速電圧  $V$  を  $1 \text{ kV}$  から  $4 \text{ kV}$  の範囲で変化させたとき、 $R$  が極大を示す回数を求めよ。必要であれば、 $\sqrt{2.91} = 1.71$ 、 $\sqrt{29.1} = 5.39$  を用いよ。