

平成 31 年度入学試験問題(後期)

理 科(物 理)

【注意事項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には、①から④までの4問題が印刷されていて、合計10ページである。
落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所等がある場合には、申し出ること。
4. 解答用紙はA-1～A-4を別に配付している。解答は、問題と同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. 解答用紙の指定された欄に、学部名及び受験番号を記入すること。
6. 提出した解答用紙以外は、すべて持ち帰ること。

1

図のように、大きさの無視できる質量 m [kg] の物体が、水平面と円筒面と傾きの角 θ の斜面がなめらかにつながった経路上を移動する運動を考える。水平面の左端の壁にはばね定数 k [N/m] の軽いばねが固定され、ばねの右端は物体と接触している。物体をばねに押しつけて、ばねが自然の長さから d [m] だけ縮んだ点 A で静止させてから静かに手を離すと、物体は水平面を右側に動きだしてばねの自然の長さとなる点 B に達したときに速度 v_0 [m/s] でばねから離れ、水平面と円筒面にそって移動した。さらに物体は、斜面上をすべり上がって水平面から高さ H [m] の点 C を速度 v_1 [m/s] で通過し、点 C から距離 L [m] の位置にある点 D で静止した。点 C より下側の水平面と円筒面と斜面はなめらかであり、点 C より上側は静止摩擦係数 μ 、動摩擦係数 μ' (ただし $\mu > \mu'$) のあらい斜面で、十分長いものとする。重力は図の下向きに作用し、重力加速度の大きさを g [m/s²]、円周率を π とする。また、物体は紙面に垂直な方向には運動せず、空気抵抗は無視できるものとする。水平面上にある物体の速度の符号は点 A から点 B の向きを正とし、斜面上にある物体の速度および加速度と、物体に作用する摩擦力の符号は、点 C から点 D の向きを正として、以下の問いに答えなさい。

問 1 d, k, m, π から必要な記号を用いて、物体が点 A で放たれてから点 B に到達するまでの時間 t_0 [s] を表しなさい。

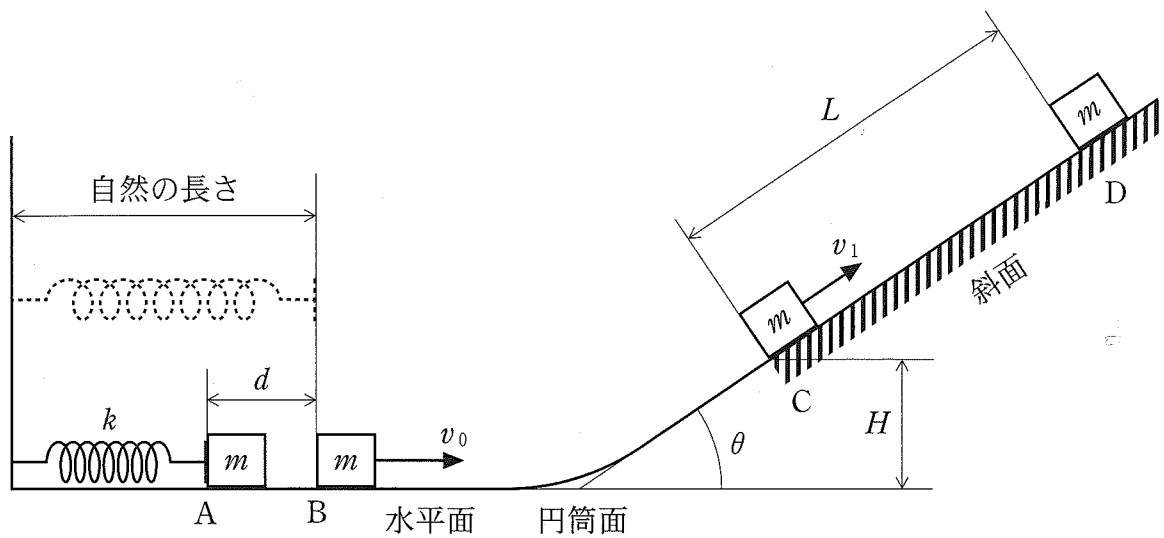
問 2 d, k, m, π から必要な記号を用いて、 v_0 を表しなさい。

問 3 g, H, v_0, θ から必要な記号を用いて、 v_1 を表しなさい。

問 4 g, m, v_1, μ', θ から必要な記号を用いて、点 C を通過した直後の物体の加速度 a [m/s²] を表しなさい。

問 5 問 4 の a, g, m, v_1 から必要な記号を用いて、 L を表しなさい。

問 6 g , m , θ から必要な記号を用いて、物体が点 D で静止したあとに斜面をすべり下りないための μ の最小値を表しなさい。



2 波の干渉について考える。図に示すように y 軸上を移動可能な、波の振幅を測定する機器(測定器 M)が設置されている。 $x = L$ [m]には y 軸に平行で無限遠方まで伸びた壁があるが、 x 軸をはさんで互いに線対称な位置にある 2 点 A と B (間隔 $AB = d$ [m]とする)にはスリットがあり、そこだけ波が通過できるようになっている。測定器 M から見て壁の反対側には、 x 軸上を移動可能な平面波発生器(発生器 S)が用意されている。原点 O、測定器 M、点 A、点 B、発生器 S はすべて同一平面上 (xy 平面上)に存在している。発生器 S が発生する平面波は、振動数が f [Hz]で、 x 軸の負の向きに速さ V_0 [m/s]で進み、2 点 A、B に到達する際には常に同位相となる。また、2 点 A、B を通過する際に位相は変化しないものとする。平面波の振幅の減衰は無視し、波形は正弦波とする。発生器 S は強力で、2 点 A、B を通過した後も十分遠方まで波が伝わるものとする。そして、波の媒質の速度はゼロとする。また、壁の厚さや、穴の大きさ、測定器 M の大きさは無視できる。

波の干渉を観測するために、以下のような手順で測定を行う：

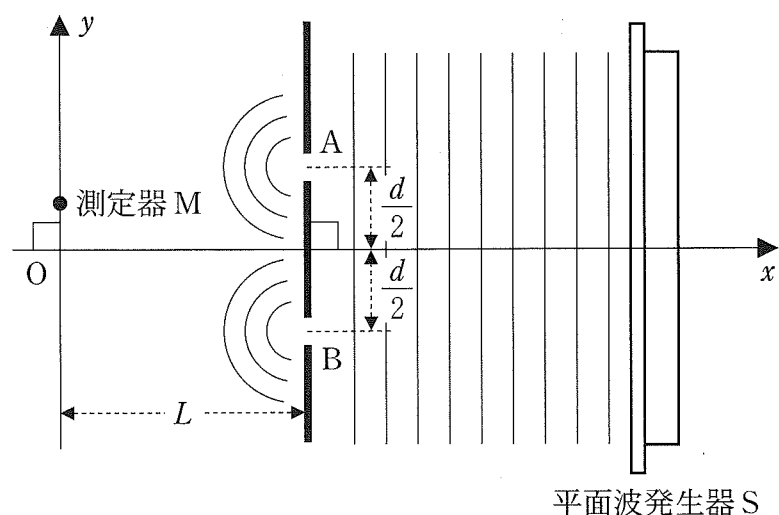
手順 1. 測定器 M を原点 O から、 y 軸上を正の向きに少しだけ移動し、静止させる。

手順 2. 測定器 M に到達する波の振幅を測定する。

手順 3. さらに測定器 M を、 y 軸上を正の向きに少しだけ移動し、静止させる。

以下、手順 2, 3 を繰り返す。

測定された波の振幅は、測定器 M の原点 O からの移動距離 OM [m]の増加に伴い、しだいに弱くなってから強くなり、 $OM = y_1$ [m]となったときに初めて極大となった。



以下の問 1 から問 7 まで答えなさい。

問 1 平面波の波長 λ_1 を求めなさい。

問 2 L は d や y_1 よりも十分大きいものとして、点 A と測定器 M の間の距離 AM [m] を与える近似式を求めなさい。ここで、近似式 $\sqrt{1 + \delta} \doteq 1 + \frac{\delta}{2}$ (δ の絶対値が 1 より十分小さいときに成り立つ) を用いなさい。

問 3 同様に、点 B と測定器 M の間の距離 BM [m] を与える近似式を求めなさい。

問 4 問 2, 問 3 で求めた答えより、距離の差 $BM - AM$ [m] を求めなさい。

問 5 干渉波の強め合いの条件より、 y_1 を L, λ_1, d を用いて表しなさい。

問 6 次に、発生器 S を x 軸上を正の向きに速さ v で等速度運動させながら同様の測定を行なった。測定器 M が観測する波の波長 λ' を λ_1, v, f を用いて表しなさい。また、測定器 M が観測する波の振動数 f' を V_0, v, f を用いて表しなさい。

問 7 問 6 の測定の結果, $OM = y_1'$ [m] のときに初めて到達する波の振幅が極大となった。 y_1' も d や y_1 と同様に L より十分に小さいものとする。 y_1' を y_1 , L , d , v を用いて表しなさい。

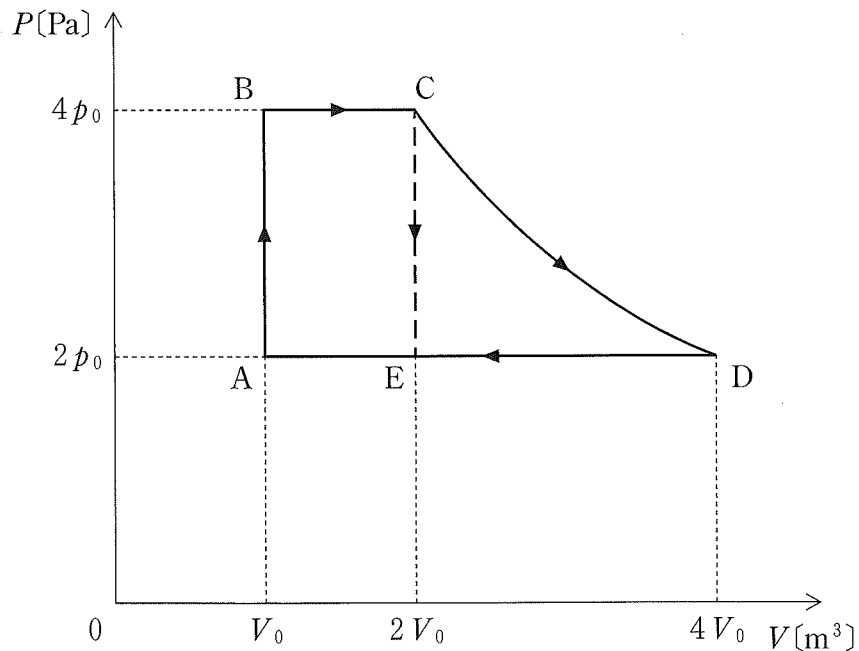
3 物体の内部エネルギーの変化は、その変化量を ΔU [J]、物体に加えられた熱量を Q [J]、物体が外部からされた正の仕事を W [J] とすると (ア) という関係式で表され、この関係は熱力学第1法則と呼ばれる。

物体が気体の場合、圧縮され体積が減少するとき、気体が外部からされる仕事の符号は (イ) になる。また、気体が理想気体のとき、分子間にはたらく力は無視できるので、(ウ) エネルギーは0となる。そのため、内部エネルギーは分子の熱運動による (エ) エネルギーの和となり、温度の上昇に伴い増加する。また、物質1 [mol] の温度を1 [K] 高めるのに必要な熱量を (オ) という。気体の (オ) の値は、膨張・収縮するとき、体積を一定に保つか、圧力を一定に保つか、など条件によって異なる。

以下の問いに答えなさい。

問1 (ア) に当てはまる関係式を示しなさい。

問2 (イ), (ウ), (エ), (オ) に該当する語句を記入しなさい。



問 3 単原子分子からなる n [mol] の理想気体について、図のように、圧力 $2p_0$ 、体積 V_0 の状態 A から、状態 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ というサイクルで気体の状態を変化させた。状態 $C \rightarrow D$ では温度を一定の状態に変化させた。ただし、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

- (1) 状態 A での温度を T_A [K] とするとき、状態 B, C, D の温度 T_B [K], T_C [K], T_D [K] について T_A を用いて表しなさい。
- (2) 状態 $A \rightarrow B$, 状態 $B \rightarrow C$, 状態 $C \rightarrow D$, 状態 $D \rightarrow A$ の変化において、気体が外部に正の仕事をする区間をすべて表しなさい。また、そのように判断できる理由を示しなさい。
- (3) 状態 $C \rightarrow D$, 状態 $D \rightarrow A$ の変化における内部エネルギーの変化量 ΔU_{CD} [J], ΔU_{DA} [J] について、 p_0 , V_0 を用いて表しなさい。

次に、状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ において、条件を変更し、状態 C から体積を一定に保ったまま、圧力を $4p_0$ から $2p_0$ に変化させた。変化後の状態を状態 E とすると、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow A$ という新たなサイクルになった。

- (4) 状態 $A \rightarrow B$, 状態 $B \rightarrow C$, 状態 $C \rightarrow E$, 状態 $E \rightarrow A$ の各変化において気体が外部から受けた熱量 Q_{AB} [J], Q_{BC} [J], Q_{CE} [J], Q_{EA} [J] について、 p_0 , V_0 を用いて表しなさい。
- (5) 状態 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow A$ の変化が熱機関とみなせるとして、熱効率 e を求めなさい。なお、解答に小数を用いる場合には、値は小数第 2 位までとし、小数第 3 位を四捨五入し求めなさい。

4

指針で値を示す電流計に抵抗値が既知の抵抗を接続して、測定範囲を広げた電流計を構成する。つぎに、測定範囲を広げた電流計と電圧計を用いて、抵抗値の測定を行う。このとき、以下の問いに答えなさい。ここで、解答に小数を用いる場合には、値は小数第1位までとし、小数第2位を四捨五入し求めなさい。

問 1 電流計の測定範囲を広げるために抵抗を接続する。このときに使用する抵抗 R_A について答えなさい。

- (1) 抵抗 R_A は、もとの電流計に対してどのような接続をすればよいか。
- (2) 内部抵抗 $10\ \Omega$ の電流計に対して、測定範囲の最大値を $20\ \text{mA}$ から $100\ \text{mA}$ に拡大した電流計 A_1 を構成する。その際に、もとの電流計に接続する抵抗 R_A の抵抗値 $R_A\ [\Omega]$ を求めなさい。

問 2 電流計と電圧計を用いた抵抗値の測定では、電圧値を電流値で割ることにより、抵抗値を求める。このときに用いる電圧、電流、抵抗の関係は、何の法則と呼ばれるか。

問 3 内部抵抗が $500\ \Omega$ の電圧計 V_1 を用意し、問 1 で構成した電流計 A_1 とともに、図 1 のように接続して回路中の電圧と電流を測定した。このときの電圧計 V_1 と電流計 A_1 の読み値を、抵抗 R_0 に加えられた電圧および流れた電流と考えて、電圧値を電流値で割ることによって抵抗 R_0 の測定値 $R_1(\Omega)$ を導出する場合について考える。抵抗 R_0 の真の抵抗値 $R_0(\Omega)$ を用いて、この接続における測定により得られる測定値 R_1 を表しなさい。

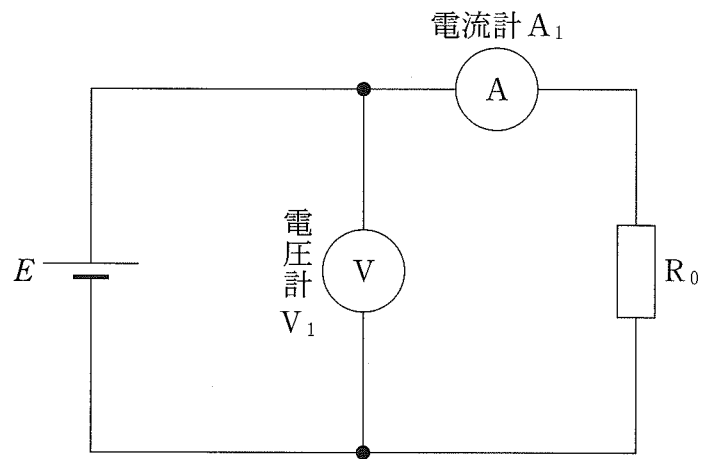


図 1

問 4 前問で用意した電圧計 V_1 と問 1 で構成した電流計 A_1 を、図 2 のように接続して回路中の電圧と電流を測定した。このときの電圧計 V_1 と電流計 A_1 の読み値を、抵抗 R_0 に加えられた電圧および流れた電流と考えて、電圧値を電流値で割ることによって抵抗 R_0 の測定値 $R_2(\Omega)$ を導出する場合について考える。抵抗 R_0 の真の抵抗値 R_0 を用いて、この接続における測定により得られる測定値 R_2 を表しなさい。

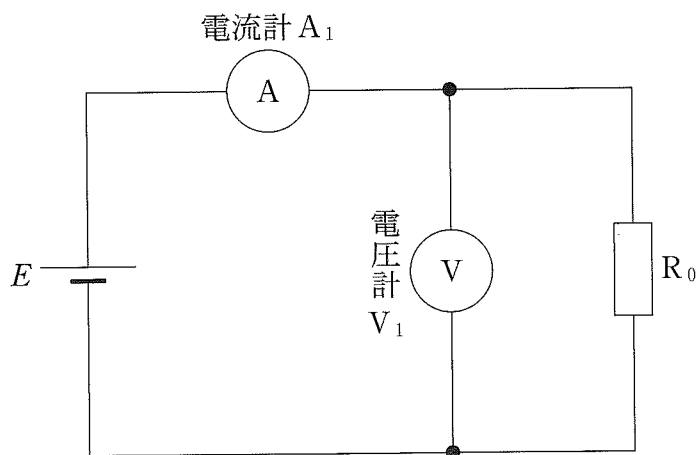


図 2

問 5 誤差の少ない測定を行うには、真の抵抗値 R_0 の大きさに応じて図 1 と図 2 の接続を使い分けるとよいことが知られているが、 R_0 の値によっては誤差が等しくなる場合もある。問 3 と問 4 の結果にもとづき、図 1 の接続における誤差と図 2 の接続における誤差が等しくなるときの R_0 の値を求めなさい。なお、ここでは誤差に“測定値”と“真の抵抗値”の差の絶対値を考えるものとする。ただし、 $\sqrt{101} \doteq 10.04$, $\sqrt{201} \doteq 14.17$, $\sqrt{1001} \doteq 31.63$, $\sqrt{2001} \doteq 44.73$ とする。

教科・科目名

理科（物理）

理科（物理）

5 ページ 2 問 7

※出題の誤りがあったため、受験者全員を正解とした。

2 行目

誤) y_1' を y_1, L, d, v を用いて表しなさい。

正) y_1' を $y_1, L, \underline{f}, d, v$ を用いて表しなさい。