

平成 27 年度入学試験問題(後期)

理 科(物 理)

新教育課程 物理基礎, 物理

旧教育課程 物理 I, 物理 II

【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. 問題冊子は全部で 10 ページある。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. 解答用紙を別に配布している。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1のように水平面上において半径  $r$  の円周上に作られた線路を1両のみで走行する質量  $M$  の鉄道の車両を考える。線路には円周の外側のレールが内側より高くなるよう、図2のように水平面から  $\theta_1$  の角度がつけられている。車両の重心を  $G$ 、内側と外側の車輪とレールの接触点をそれぞれ  $A$ 、 $B$  とする。ここで  $G$  は  $A$  から距離  $l$ 、線分  $AB$  と  $AG$  のなす角および線分  $BA$  と  $BG$  のなす角が  $\theta_2$  となる位置にあり、車両本体と車輪との間にばね等の伸び縮みするものはないものとする。また、車両には質量  $m$  の乗客が1名乗車している。重力加速度の大きさを  $g$  として以下の問いに答えなさい。なお、 $r$  に対して車両の長さや幅は十分小さく無視できるものとする。

問1 車両が速さ  $v$  で走行している。乗客が車両内で受ける遠心力と重力について、それぞれ車両の床面に平行な成分を求め、次にこれらの成分の和  $F_p$  を求めなさい。なお、それぞれの力の符号は  $A$  から  $B$  に向かう方向を正、反対向きを負としなさい。

問2 走行する速さが大きすぎると車両が転倒する危険性がある。車両が速さ  $v$  で走行しているとき、遠心力、並びに重力によってこの車両に生じる  $B$  のまわりの力のモーメントの大きさをそれぞれ求めなさい。なお、 $\theta_2 > \theta_1$  であり、 $m$  は  $M$  に対して十分小さく無視できるものとする。

問3 問2の状況において、内側の車輪が  $A$  から離れることのない  $v$  の上限を求めなさい。

問4 一般に、曲線区間を走行する車両の制限速度の大きさ  $v_{\max}$  は、安全性と乗客の乗りごちの観点から設定される。いま、 $r = 2500 \text{ m}$ 、 $\theta_1 = 8^\circ$  の線路において  $v_{\max}$  が  $70 \text{ m/s}$  に設定されているとする。車両がこの線路を  $v_{\max}$  で走行するときに  $m = 50 \text{ kg}$  の乗客に作用する、問1で定義された  $F_p [\text{N}]$  の値を求めなさい。なお、計算においては下記の近似値のうち必要なものを用いなさい。

$$\sin 8^\circ = 0.14, \quad \cos 8^\circ = 0.99, \quad \tan 8^\circ = 0.14, \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2.$$

問 5 問 4 の状況において線路に  $\theta_1 = 8^\circ$  の傾斜角を設けたことによる効果を考えるため、 $\theta_1 = 0^\circ$  の場合と比較する。 $\theta_1 = 0^\circ$  の場合においても  $F_p$  が問 4 で求めた値となるときの車両の速さを  $v_{\max}$  と設定すると、この 2 乗の値  $v_{\max}^2$  に対し、 $\theta_1 = 8^\circ$  の場合の  $v_{\max}^2$  の値は何倍となるか答えなさい。

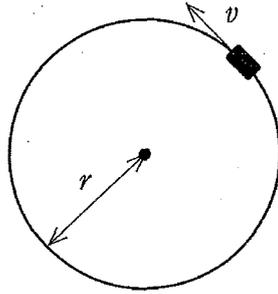


図 1

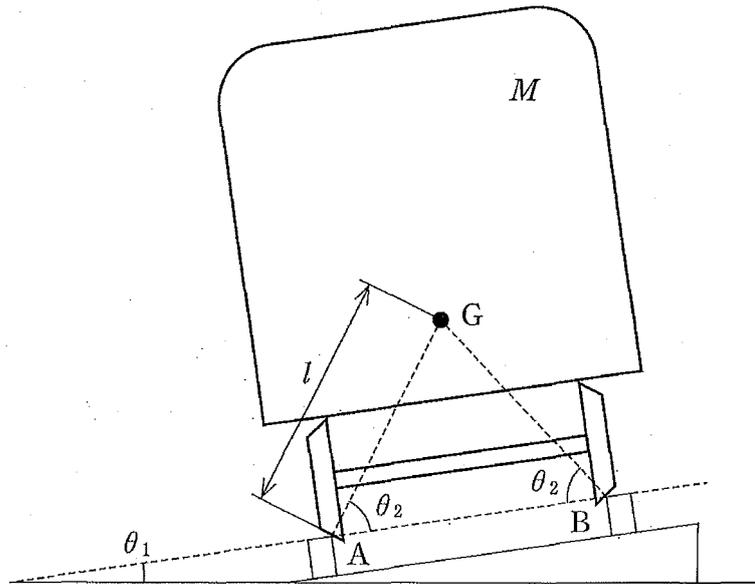


図 2

2 次の一連の文章(I), (II), (III), (IV)を読み, ①に入る適切な語句, ②から⑩に入る適切な式を答えなさい。

(I) 図1のように, 半球面状のスクリーンの中心Oに, スクリーンに対して大きさの無視できるスリット間隔 $d$ の回折格子を, 回折格子の法線が半球の切り口と垂直となるように置く。この回折格子に波長 $\lambda$ の光を垂直に入射させたところ, 球面上の円弧Lに沿って明点を観測することができた。図2は, LとOを含む平面において, 観測された $P_1$ から $P_5$ までの5個の明点と入射光および回折格子との位置関係を示したものである。図2では, 回折格子を実際よりも大きく描いている。

光は ①としての性質を持つので, 各スリットを通過した光は, スクリーンに向かってあらゆる方向に広がる。これらのうち,  $P_2$ に向かう光については, 隣り合うスリットからの距離が $\lambda$ ずつ異なっている。また,  $P_1$ に向かう光については, この距離が $2\lambda$ ずつ異なっている。Lの半径を $R$ , 明点 $P_1$ から回折格子の面に対する法線に下ろした垂線の足を $Q$ とするとき,  $P_1Q =$  ②となる。

(II) 以下では, 空気の屈折率は1とする。図3の斜線部で示したように, 回折格子とスクリーンとの間を屈折率 $n$ の物質で満たしても, 明点を5個観測することができたが,  $P_1$ は $P_1'$ に移動した。屈折率 $n$ の物質中における光の速さを, 空気中での光の速さ $c$ を用いてあらわすと, ③となる。また,  $P_1'$ から回折格子の面に対する法線に下ろした垂線の足を $Q'$ とするとき,  $P_1'Q' =$  ④となる。

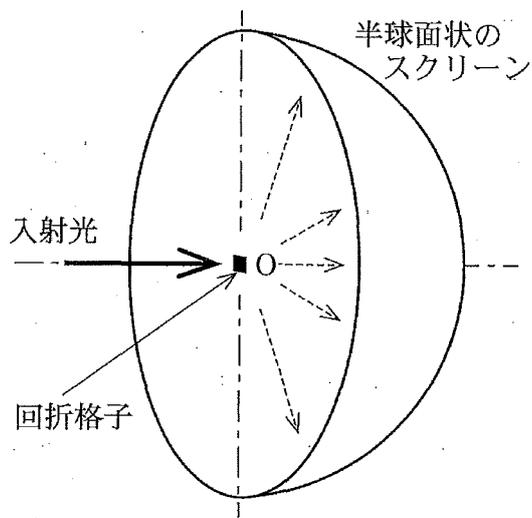


図 1

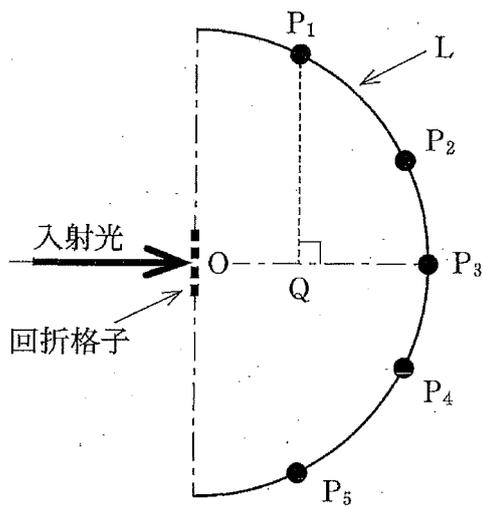


図 2

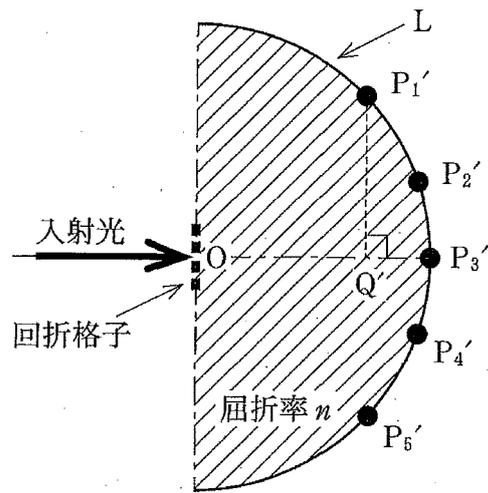


図 3

(Ⅲ) 屈折率  $n$  の物質で満たしたまま、図4のように波長  $\lambda$  の光を回折格子の面に対する法線に対して角度  $\phi$  だけ傾けて入射させたところ、やはり L 上に明点が見られたが、L 上での位置は変化した。回折格子の法線と回折光とのなす角を  $\theta$  としたときの様子を拡大して示したのが図5である。また、 $\theta$  の符号は図中、反時計回りの方向を正とする。A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> はスリットの位置を示しており、A<sub>2</sub> を通る入射光に対し A<sub>1</sub> より下ろした垂線の足を B<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> からの回折光に対し A<sub>1</sub> より下ろした垂線の足を B<sub>2</sub> とする。

B<sub>1</sub> から A<sub>2</sub> まで入射光が進むのに要する時間  $t_1$  は、 $t_1 = \boxed{\text{⑤}}$  となる。A<sub>2</sub> から B<sub>2</sub> まで回折光が進むのに要する時間  $t_2$  は、 $t_2 = \boxed{\text{⑥}}$  となる。

回折光が強め合うためには、A<sub>1</sub> および B<sub>2</sub> における波は同位相でなければならぬので、この条件を入射光の振動数  $f$ 、整数  $m$  を用いて、 $t_1 + t_2 = \boxed{\text{⑦}}$  とあらわすことができる。⑤、⑥で得られた  $t_1$ 、 $t_2$  と、⑦で導いた結果を利用すると、 $\boxed{\text{⑧}} = m\lambda$  という関係式を得ることができる。なお、同様の考察を回折光が時計回りの方向、つまり  $\theta < 0$  の場合に行っても、明点は⑧式と同じ関係式を満たすことがわかる。

(Ⅳ) 回折格子とスクリーンとの間を屈折率  $n = 1.5$  の物質で満たし、 $\phi = 14.5^\circ$  の角度で波長  $\lambda$  の光を入射させたところ、L 上には4個の明点が見られた。次に、よりスリット間隔の大きい回折格子に変えて同様の実験を行ったところ、図6に示したように新たな明点 P<sub>5</sub>' が見られ、合計5個の明点を観測することができた。ここで P<sub>3</sub>' は⑧で得られた関係式において、 $m = 0$  とおいたときに相当する点である。 $\sin 14.5^\circ = 0.25$  とすると、入射光の波長  $\lambda$  と回折格子のスリット間隔  $d$  とが、 $\boxed{\text{⑨}} < d \leq \boxed{\text{⑩}}$  という関係式を満たすとき、L 上には5個の明点が観測できる。

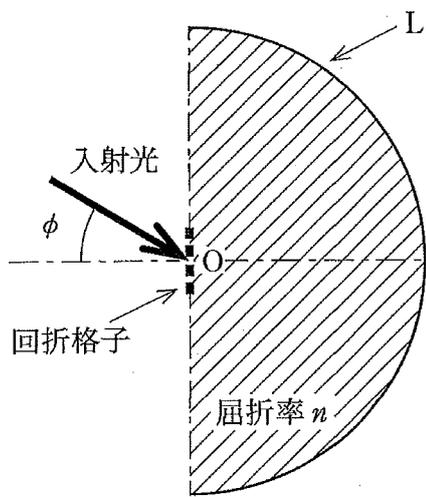


图 4

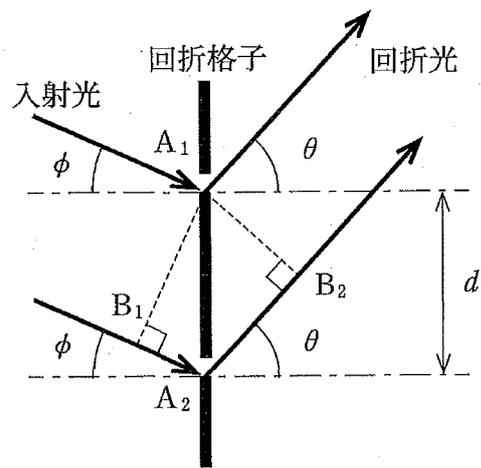


图 5

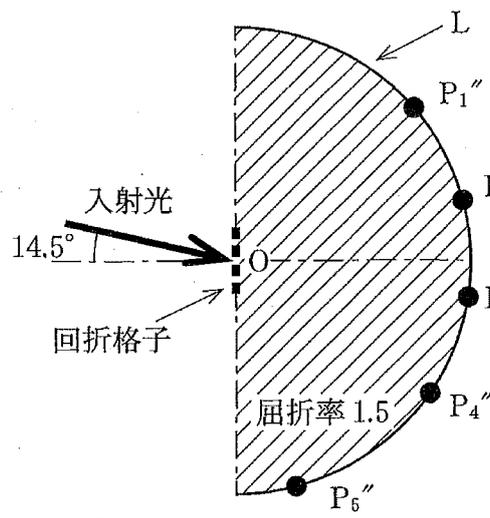


图 6

3 図1のように1 molの単原子分子理想気体が、気密性を保ちながら、なめらかに動くピストンによってシリンダー内に閉じ込められている。ピストンの質量を $M$ 、シリンダーの断面積を $S$ 、大気圧を $P_A$ とし、初期状態におけるピストンの高さを $L_0$ とする。なおシリンダー内には温度調節器があり、内部の気体に対して熱平衡状態を保ちながら加熱および冷却できるようになっている。ここでピストンおよびシリンダーは、断熱材で作られており、温度調節器によらないシリンダー内外の熱の出入り、および温度調節器の体積と熱容量は無視する。また重力加速度の大きさを $g$ 、気体定数を $R$ とする。以下の問いに答えなさい。

問1 初期状態のシリンダー内の圧力を求めなさい。ただし、初期状態においてピストンは静止しているとする。

問2 ピストンの上に質量 $m$ のおもりを置き、同時に温度調節器で気体の温度を一定に保ったところ、ピストンが初期状態における位置から下がって静止した。この状態を状態1とする(図2)。このときのシリンダー内の圧力とピストンが下がった距離を求めなさい。ただし、ピストンは温度調節器には接しないものとする。

問3 次にシリンダー内の気体を加熱したところ、ピストンが初期状態の位置までゆっくり上昇して静止した。この状態を状態2とする。状態1から状態2への変化における、気体の温度変化を求めなさい。

問4 状態1から状態2への変化において、内部の気体が外部にした仕事を求めなさい。

問5 状態1から状態2への変化において、温度調節器が気体に加えた熱量を求めなさい。

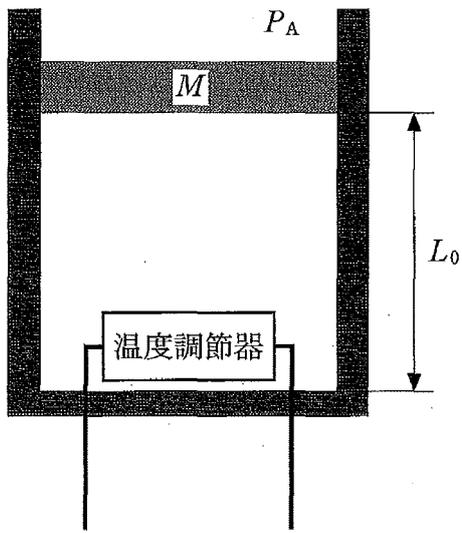


図1 初期状態

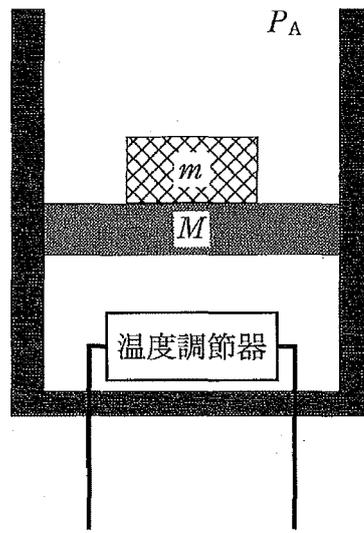


図2 状態1

4 図のように、抵抗値が  $R$  で常に一定の抵抗  $R_1$ ,  $R_3$  と、抵抗値が変更できる可変抵抗  $R_2$ 、長さ  $L$  で断面が面積  $S$  の円形の 2 本の導体棒(導体棒 1, 導体棒 2)がある。2 本の導体棒は同じ導体でできており、容器のふたに  $d$  の間隔で平行に固定してある。これらに直流電圧  $E$  の電源装置と検流計  $G$ 、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  をつないで回路を作った。各抵抗、電源装置、検流計、各スイッチおよび各導体棒の間は抵抗の無視できる導線で接続されており、容器は水でいっぱい満たされている。水は容器によって断熱されており、各導体棒と水の温度は等しいと考えることができる。また、容器および水は電気を通さないものとする。このとき次の問いに答えなさい。

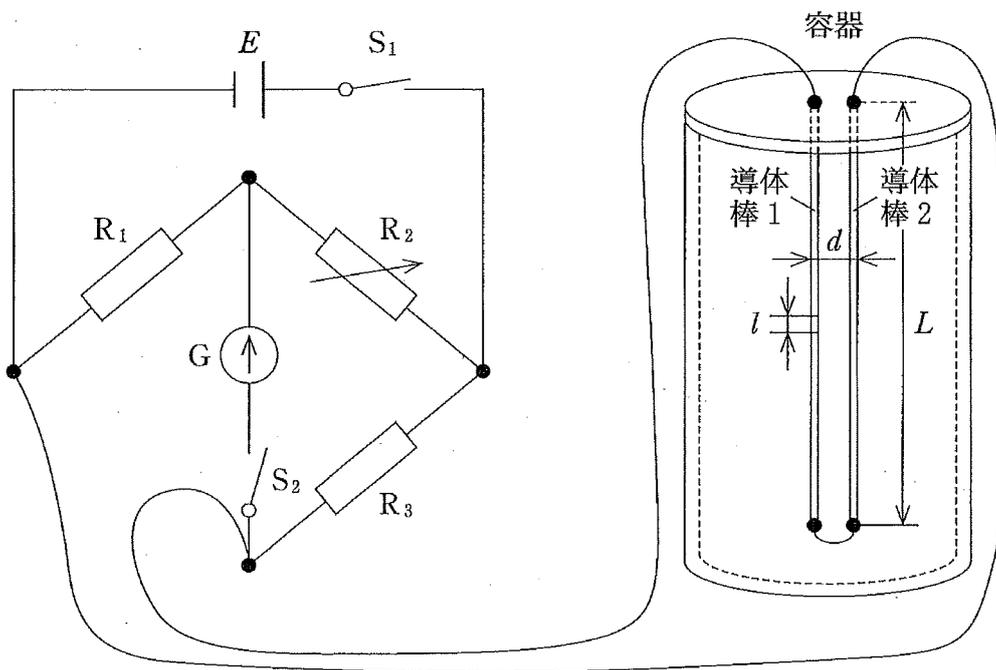
問 1 可変抵抗  $R_2$  の抵抗値を  $4R$  に設定し、スイッチ  $S_2$  を開放したままスイッチ  $S_1$  を閉じたとき、抵抗  $R_1$  に流れる電流の大きさを求めなさい。

問 2 容器に氷を加え、水の温度が  $0^\circ\text{C}$  になった後、可変抵抗  $R_2$  の抵抗値を  $\frac{R}{5}$  に設定し、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  を同時に閉じたところ、検流計  $G$  に電流は流れなかった。このときの導体棒 1 の抵抗の大きさ、抵抗率、導体棒 1 における消費電力を求めなさい。

問 3 問 2 の状態のとき、導体棒 1 と導体棒 2 の間に働く力は、引力か反発力か答えなさい。また導体棒 1 中央の長さ  $l$  の部分が受ける力の大きさを求めなさい。ただし水と容器の透磁率は真空の透磁率  $\mu_0$  と等しいものとし、 $L$  は  $d$  と  $l$  にくらべて十分に大きく、各導体棒の直径は  $L$ ,  $d$  にくらべて無視できると考えてよい。

問 4 その後、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  を閉じたままにし、検流計  $G$  に電流が流れないように可変抵抗  $R_2$  の大きさを調整し続けた。この間、氷はすべて融解し水の温度が徐々に上昇した。水の温度を上昇させた熱を何と回答えなさい。また、各導体棒が  $0^\circ\text{C}$  のときの抵抗率  $\rho_0$  と温度係数  $\alpha$  を用いると、 $T[^\circ\text{C}]$  のときの抵抗率は  $\rho_0(1 + \alpha T)$  と書くことができるものとし、水の温度が  $T[^\circ\text{C}]$  に達したときの可変抵抗  $R_2$  の抵抗値を  $R$ ,  $\alpha$ ,  $T$  を用いて表しなさい。ただし、各導体棒の長さおよび断面積は温度によって変化しないものとする。

問 5 水の温度が  $T[^\circ\text{C}]$  に達したときの導体棒 1 の消費電力は問 2 で求めた値にくらべて何倍になるか回答えなさい。また、このとき消費電力は増加したか減少したかを回答えなさい。



平成27年度弘前大学一般入試（後期日程）

問題訂正・補足説明

問題訂正・補足説明の教科・科目名

理科【物理】

【物理】

10ページ 問5 2行目

誤) 何倍になるか答えなさい。

正) 何倍になるか、Tと問4の $\alpha$ を用いて表しなさい。