

# 理 科

(物 理)

120 分

## 注 意 事 項

1. 試験開始の合図までこの冊子を開かないこと。
2. 本問題冊子は 16 ページ，答案用紙は 3 ページである。
3. 各答案用紙の上の枠内には，受験番号を記入し，下の枠内には，受験番号の下 2 桁の数字を忘れずに記入すること。
4. 解答はすべて各答案用紙の所定欄に記入すること。
5. 各答案用紙の中で導出過程欄のある設問については，答に加えて導出過程を記入すること。必要があれば，図を用いてもよい。
6. 問題番号 

1
---

 等のあとの (50 点) は 150 点満点中の配点である。
7. 答案用紙の冊子は切りはなさないこと。
8. 答案用紙に記入する受験番号の数字の字体は，下記の例にならい，明瞭に記入すること。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1 (50 点)

コンパクトディスク (CD) の記録面が虹色に見える現象を題材にして、光の性質を観察する実験を考えよう。

CD の記録面は図 1 のような構造で、図 2 の断面図に示すように、透明基板の下層に反射膜が塗布された面があり、その面上にピットと呼ばれる情報が記録されている部分が半径方向に間隔  $d$  で周期的に並んでいる。ピットのない部分では光がそのまま反射されるが、ピットの部分で光が乱反射されると仮定する。このとき、CD の記録面は格子定数  $d$  の回折格子とみなすことができる。ピットは曲線上に並んでいるが、狭い範囲について考えたときは直線に並んでいると考えて差し支えないものとする。

〔A〕 図 3 のように白い紙で作ったついたてに小さな穴  $W$  を開け、その裏側からレーザー光を CD の記録面に対して垂直に照射して、その反射光をついたて上で観察する。レーザー光の空気中での波長を  $\lambda$ 、空気の屈折率を 1 とする。

(a) 以下の空欄①～④に入る適切な数式を答えよ。

図 2 に示すように、間隔  $d$  だけ離れて透明基板に入射する光 A と光 B を考える。屈折率  $n (> 1)$  の透明基板中で、光 A は点 K で反射膜に対して垂直に入射し、回折した光が点 M から透明基板を出ていく。光 B は点 L で反射膜に垂直にあたり、その回折光は点 N から出ていく。このとき、距離  $KP$  が光の波長の整数倍であれば、光 A と光 B は強めあうことになる。透明基板中での光の波長は ① で与えられるので、透明基板中で回折光が入射光となす角を  $\theta_n$  とすると、強め合う条件は

$$\text{②} = m \text{ ①} \quad (m \text{ は整数}) \text{ となる。}$$

光 A と光 B がそれぞれ点 M と点 N で透明基板を出た後、基板表面の法線に対して  $\theta$  の方向に進む。 $\theta$  は、 $n$  及び  $\theta_n$  と ③ の関係を持つ。この関係式を用いて  $\theta_n$  を消去すると、CD から十分離れたスクリーン上で強め合う条件は、 $d \sin \theta = \text{④}$  となる。

(b) 透明基板中で回折光の角  $\theta_n$  が大きいとき、透明基板から空气中へ出ていく光がなくなる場合がある。その理由を述べよ。またそのときの角  $\theta_n$  が満たす関係式を示せ。

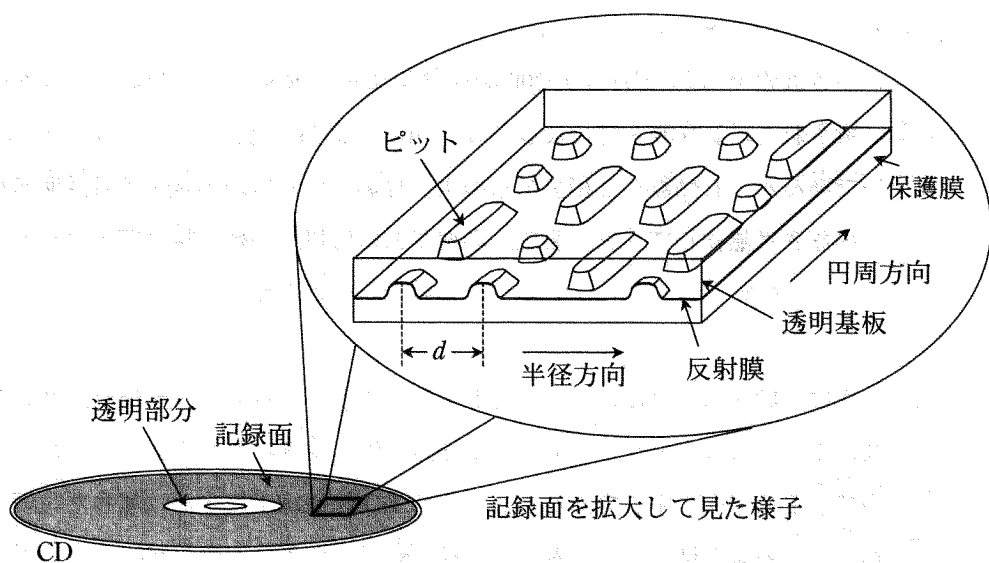


図 1

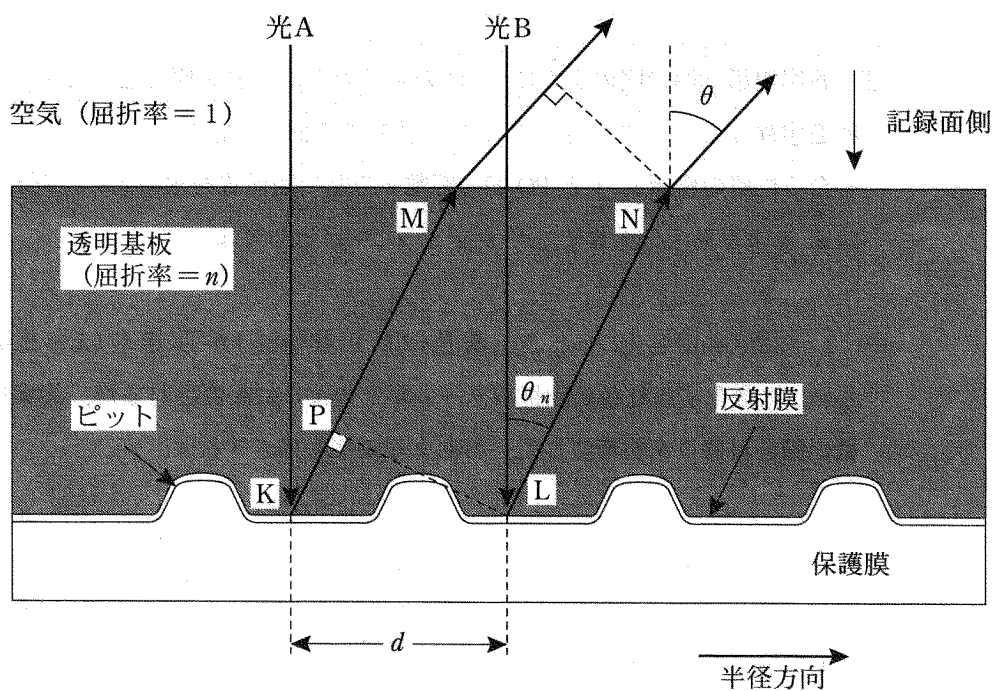


図 2

- (c) 図3の実験において、CDとついたての間の距離 $\ell$ が300 mmのとき、小さな穴Wの上下に $p = 100$  [mm]だけ離れた位置に一つ目の回折光が観察された。レーザー光の波長が $0.50 \mu\text{m}$ であるとき、格子定数 $d$ は何 $\mu\text{m}$ であるか。有効数字2桁まで求めよ。なお、これ以降の議論では透明基板の厚さは無視してよい。また、必要であれば以下の値を用いてよい。

$$\sqrt{2} \doteq 1.41, \sqrt{3} \doteq 1.73, \sqrt{5} \doteq 2.24, \sqrt{10} \doteq 3.16$$

- [B] 次に、図4のように白熱灯光源から出た光が小さな穴W'を通り、凸レンズにより平行な光となってCDの記録面全体へ垂直にあたるようにした。図中で点PはCDの中心であり、点PからCDの法線上に $z$ だけ離れた位置QからCD表面を見たとき、赤、黄、緑、紫などの色のついた回折パターンが観察された。ただし観察するときCDに照射される光をさえぎることはないものとする。

- (d) 答案用紙(e)欄の図のように、CDの記録面上に点Pを原点として $x$ - $y$ 座標を定義する。このとき、点Qから見てこの面上で波長 $\lambda$ の回折光が強め合う位置の座標 $x$ ,  $y$ とPQ間の距離 $z$ の関係式を求めよ。ただし $z$ は $x$ ,  $y$ よりも十分大きく、 $x^2 + y^2 + z^2 \doteq z^2$ としてよい。

- (e)  $z = 120$  [mm]としたとき、紫色( $\lambda \doteq 0.40 [\mu\text{m}]$ )から赤色( $\lambda \doteq 0.64 [\mu\text{m}]$ )に変化する虹色の回折パターンがどのように配置されるか、答案用紙の図の目盛りを参考にして、おおよその形を描き入れよ。

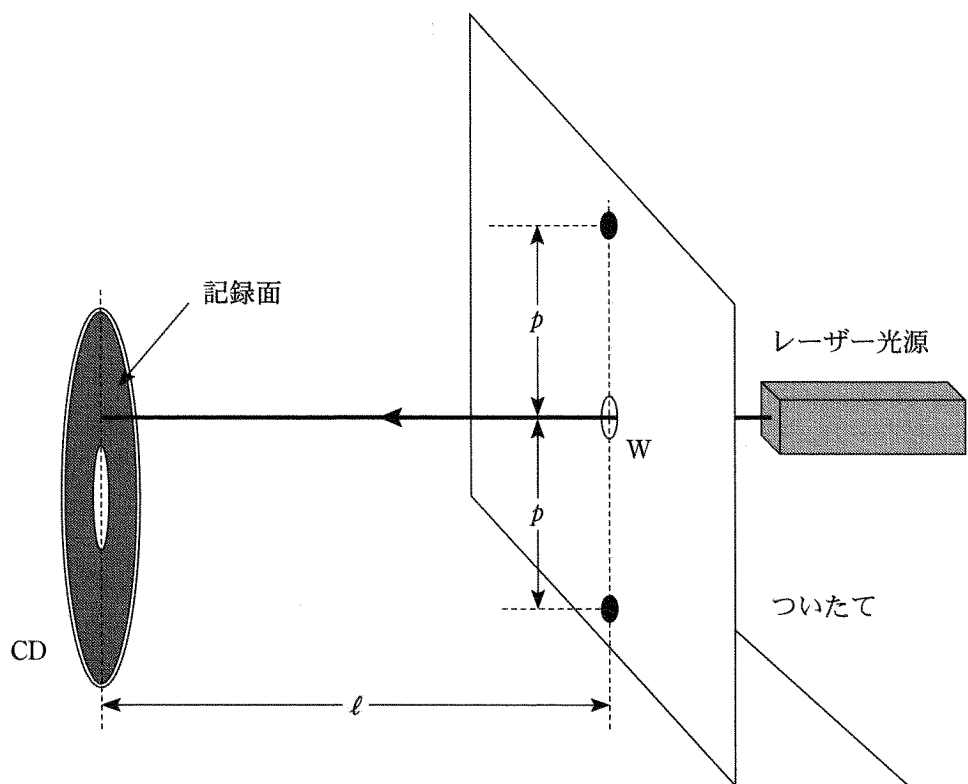


図 3

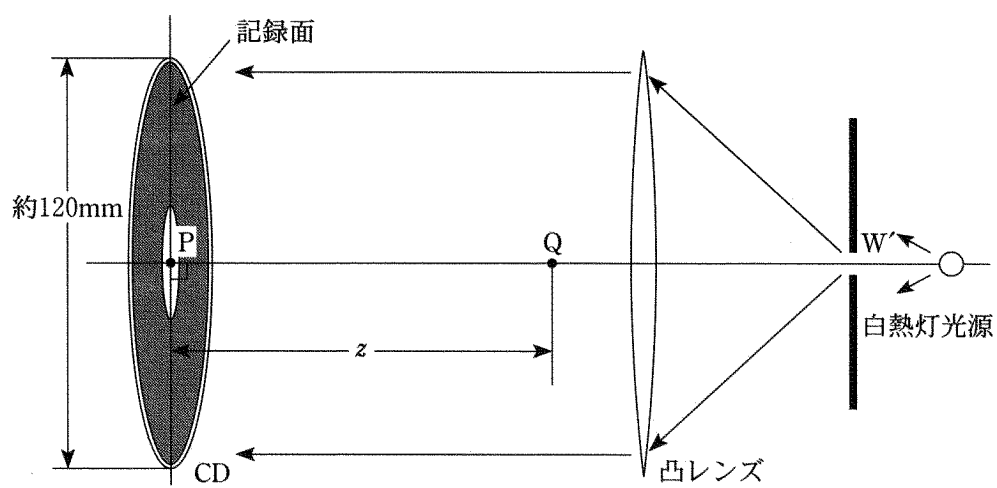
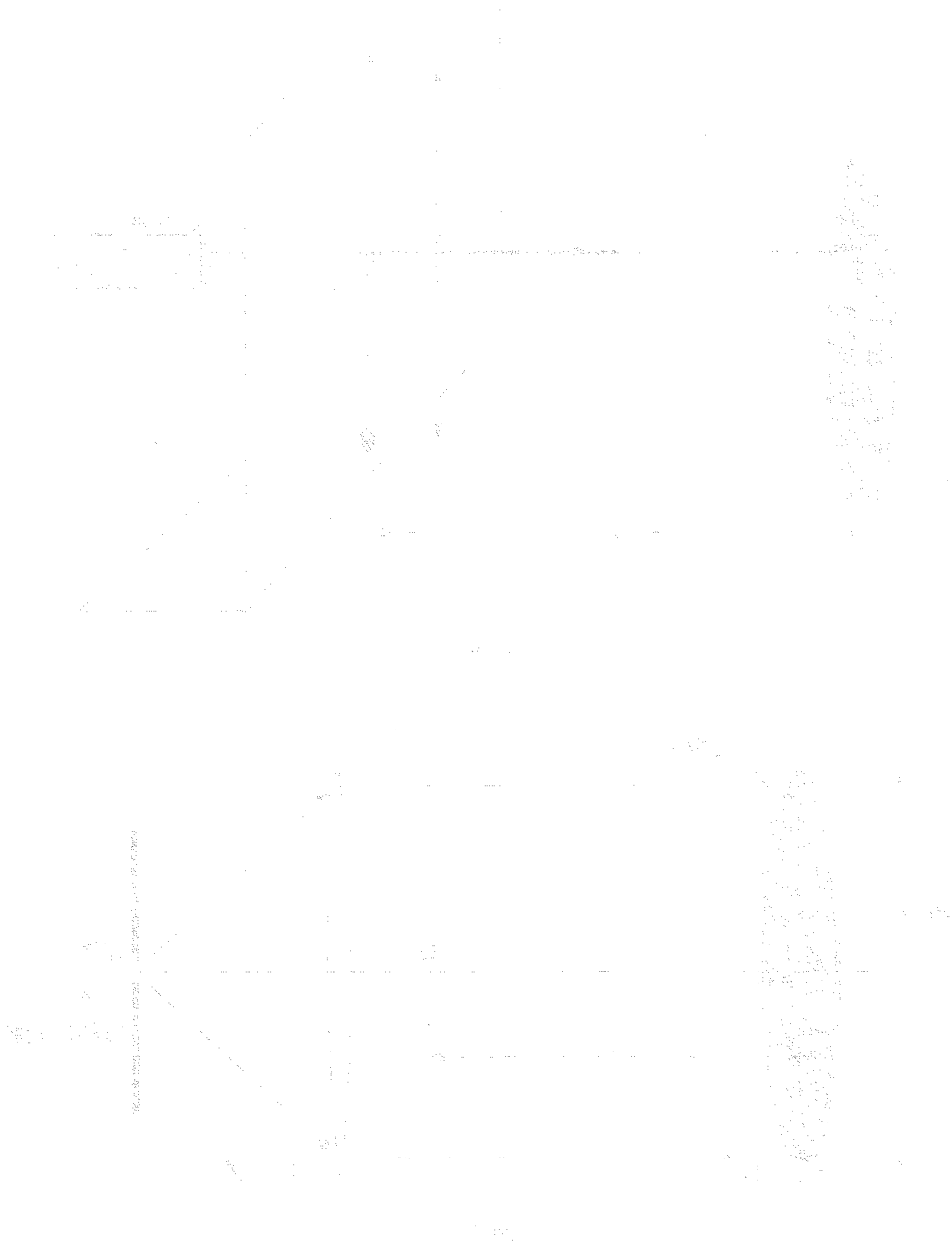


図 4

(下 書 き 用 紙)





2 (50 点)

十分な長さを持つ水平な円筒状シリンダー内に、なめらかに動く断面積  $A$  [ $\text{m}^2$ ] のピストンがあり、内部に単原子分子の理想気体が閉じ込められている。シリンダーは温度が調節できる熱源に接触している。また、ピストンには、シリンダーの中心軸上を通る重さの無視できる糸で、滑車を用いておもりをつり下げることができる。周囲の圧力を  $P_0$  [Pa]、重力加速度を  $g$  [ $\text{m/s}^2$ ] とする。

〔A〕 図 1 のように、熱源の温度が  $T$  [K]、おもりをつるしていない状態では、気体の温度は  $T$  [K]、体積は  $V_0$  [ $\text{m}^3$ ]、圧力は周囲の圧力と等しく  $P_0$  [Pa] であり、これを状態 0 とする。内部の気体の温度が変化しないようにゆっくりとおもり  $m$  [kg] をつるすと、ピストンはある位置で静止し状態 1 となった。次に、おもりをつるしたまま、熱源の温度を十分時間をかけて  $T'$  [K] へ上昇させて状態 2 とした。

- (a) 状態 1 における気体の圧力  $P_1$  [Pa] と状態 2 における気体の体積  $V_2$  [ $\text{m}^3$ ] を求めよ。また、状態 1、状態 2 を解答欄の圧力  $P$ –体積  $V$  グラフにそれぞれ点  $S_1$ 、 $S_2$  として示し、状態 0 と状態 1 の圧力差を記入せよ。ただし、解答欄の点  $S_0$  は状態 0 を、破線は  $T$  および  $T'$  の等温線を示している。
- (b) 状態 1 から状態 2 への過程で気体が外部にした仕事  $W_{12}$  [J]、および熱源からシリンダー内の気体へ入った熱量  $Q_{12}$  [J] を求めよ。

〔B〕 熱源の温度を  $T$  にし、おもりをはずして気体を状態 0 に戻した。

- (c) ここから、気体の温度が変化しないように、ゆっくりとつるすおもりの質量を  $0.5 \text{ kg}$  ずつ増やし、ピストンの運動を観察した。すると、おもりの質量が  $25.5 \text{ kg}$  になった時に、おもりは止まることなく落下した。 $A = 0.00245 \text{ m}^2$ 、 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$  とし、 $P_0$  がとり得る値の範囲を求めよ。



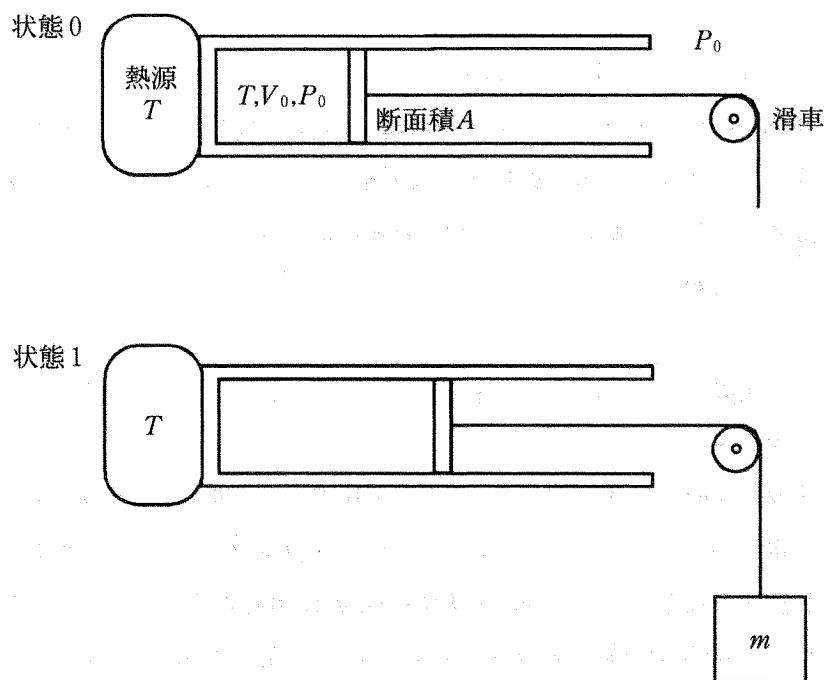


図 1

[C] 図2のように、シリンダーとピストンを体積の無視できるばね定数  $k$  [N/m] のばねで連結し、熱源の温度を  $T$  にした。おもりをつるしていない状態では、気体の温度、圧力、体積は状態0と同じであり、これを状態3とする。ここから、内部の気体の温度が変化しないようにゆっくりとおもり  $m$  をつるして状態4とし、次に、熱源の温度を十分時間をかけて  $T'$  へ上昇させて状態5とした。

- (d) 状態3から状態4への体積変化を  $\Delta V_{34}$  [ $\text{m}^3$ ] として、状態4における気体の圧力  $P_4$  [Pa] を求めよ。
- (e) 解答欄の  $P$ - $V$  グラフに  $S_1$ ,  $S_2$  を再び示し、状態4, 状態5をそれぞれ点  $S_4$ ,  $S_5$  として示せ。また、 $S_4$ ,  $S_5$  を通る直線の傾き、および  $S_4$ ,  $S_5$  を通る直線と  $S_1$ ,  $S_2$  を通る直線の交点の体積を求めよ。ただし、解答欄の点  $S_3$  は状態3を、破線は  $T$  および  $T'$  の等温線を示している。

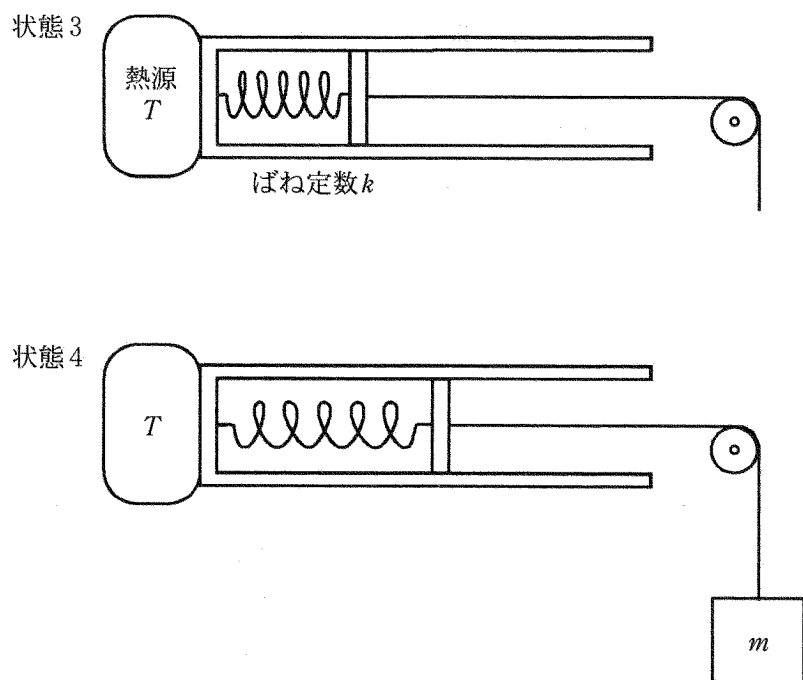
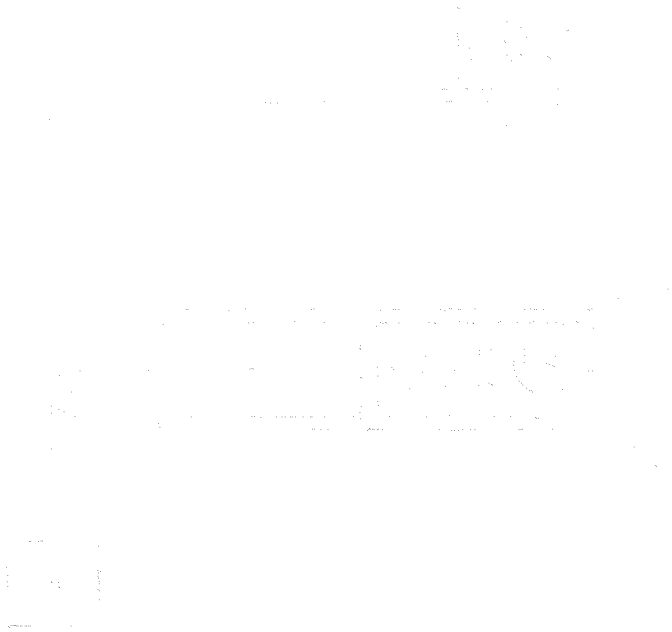


図 2

(下 書 き 用 紙)





3 (50 点)

水平面上を直線運動する、水平な床をもつ台車がある。台車は外力によって自由に加速度を変えられることができるものとする。図のように、台車の床の上には前後方向に勾配をもつ傾斜角  $\theta$  の斜面が固定されている。この斜面の上には、質量  $m$  の小物体が置かれている。ここで、斜面と小物体との間の静止摩擦係数を  $\mu$ 、動摩擦係数を  $\mu'$  とする。この斜面の右側には曲面がなめらかにつながっている。重力加速度を  $g$  として、以下の問いに答えよ。ただし、小物体の運動は台車の上から観測するものとする。

〔A〕 台車は一定の加速度  $a(>0)$  で、図の左向き(正の向きとする)に運動をはじめた。

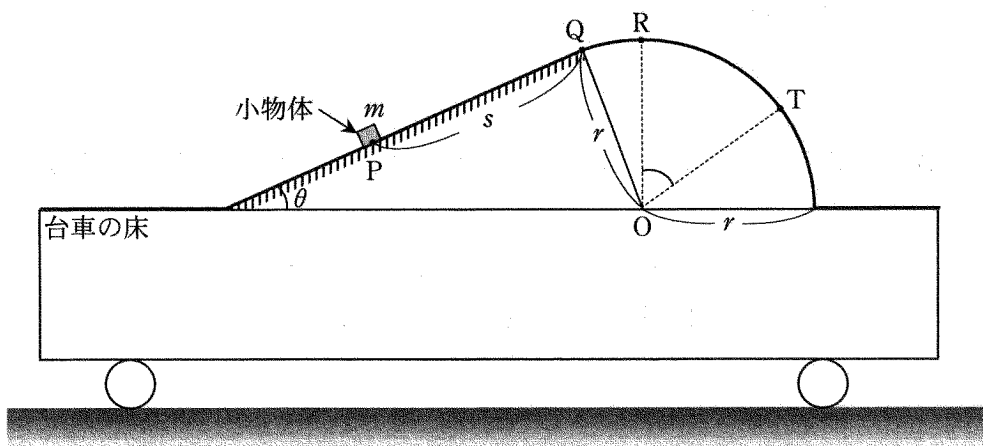
- (a) 図のように、小物体を斜面上の P 点に置き静かに手をはなしたところ、小物体は斜面を一定の加速度でのぼり始めた。このとき台車の上の観測者から見た、小物体に働くすべての力の向きを図示し、その名称を記入せよ。
- (b) P 点から斜面に沿って距離  $s$  だけのぼった地点を Q 点とする。小物体が Q 点を通過したとすると、Q 点通過時の小物体の速さ  $v_Q$  はいくらか。
- (c) もし傾斜角  $\theta$  が、ある角  $\theta_c$  以上( $\theta \geq \theta_c$ )であるならば、この物体はいかなる  $a$  でも斜面をのぼることはできない。この  $\theta_c$  はいくらか。  $\tan \theta_c$  で答えよ。

〔B〕 斜面は Q 点の高さのところで、前後方向の断面が円弧となる曲面になめらかにつながる。この円弧の半径は  $r$  で、中心 O は台車の床と同じ面内にある。また、小物体と曲面との間には摩擦力は働かないとする。小物体が Q 点を通過した直後に台車は加速をやめ、台車の運動は等速直線運動に変わった。

- (d) Q 点を速さ  $v_Q$  で通過した直後の小物体が、曲面から受ける垂直抗力の大きさはいくらか。  $v_Q$  を用いて表せ。
- (e) 小物体は曲面から離れることなく、最高点の R 点を速さ  $v_R$  で通過した。  $v_R$  のとり得る最大の値はいくらか。

〔C〕 小物体が R 点を速さ  $v_R$  で通過した直後に、台車は加速度  $-\frac{\sqrt{3}}{3}g$  の等加速度運動に移行した。その後、小物体は曲面から離れることなく曲面上の T 点を通じた。

(f) T 点における小物体の速さがちょうど  $v_R$  に等しかったとすると、 $\angle ROT$  は何度か。



(下書き用紙)

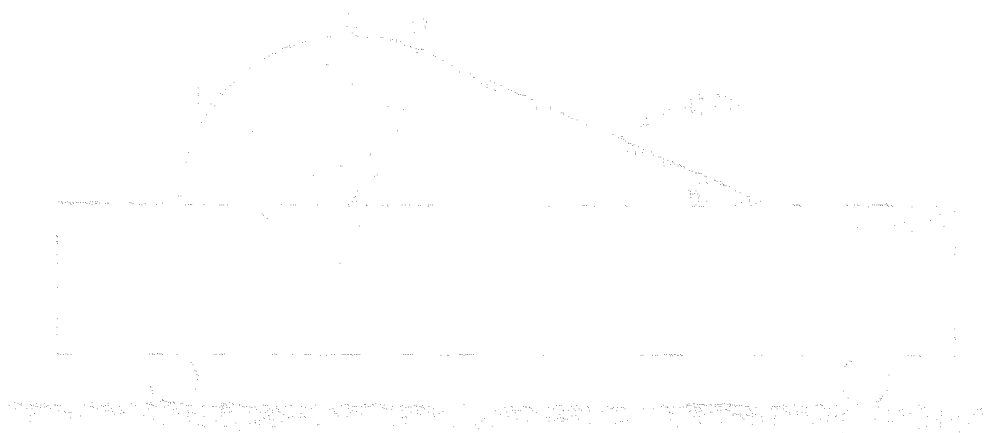
1. 調査の目的と調査の範囲

2. 調査の方法と調査の時期

3. 調査の結果

4. 調査の結果から得られた結論と今後の調査の方向性

5. 調査のまとめ





(下 書 き 用 紙)