平成 27 年度
物理学科 AO 選抜 課題探求試験問題
物理学（100 点）
平成 27 年 1 月 31 日（土）9:00 ― 11:30

注意事項

1. 指示があるまでは、問題冊子ならびに解答冊子を開かないこと。
2. 問題冊子 1 部、解答冊子 1 部が配布されていることを確認すること。
3. 「はじめ」の指示があったら、解答を始める前にまず、問題冊子に表紙に続いて問題が 9 ページ分、解答冊子に解答用紙が 6 枚あることを確認し、全ての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答は問題ごとに所定の解答用紙に記入すること。解答に際しては、最終的な答えだけではなくその答えに至る筋道もていねいに記入すること。解答用紙の裏を用いてもよい。
5. 「おわり」の指示があったら、ただちに鉛筆を置くこと。
6. 試験終了後、解答冊子は回収するが、問題冊子は持ち帰ってよい。

問題 1（35 点）

1A

図 1-1 のように、高さ h の発射台から、速さ V で水平方向と角度 θ_0（$0 < \theta_0 < \pi/2$）をなす方向に小球を投げ上げた。小球は最高点に到達したのち、落下しながら、距離 x（$x > 0$）の位置に静止している台車の垂直でなめらかな壁に水平方向となす角度 θ_1 で衝突した。小球の質量を m、台車の質量を M、重力加速度の大きさを g とし、以下の問に答えよ。ただし、小球の大きさ、および空気抵抗は無視できるものとし、右向きを水平方向の速度の正方向とする。

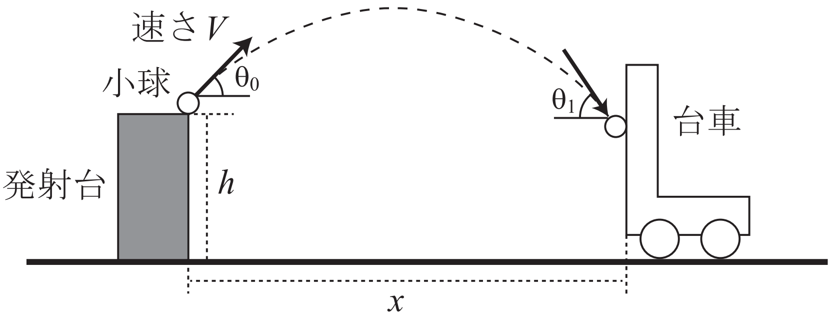

図 1-1

(1) 図 1-2 のように、台車に衝突した小球は左向きに跳ね返り、台車は右向きに動き出した。衝突後の小球の速度の水平方向の成分を $-v_1$ としたときに、台車の速度の水平方向の成分 v_2 を v_1、m、M、V、θ_0 を用いて求めよ。

(2) 観察したところ、小球の投げ上げ角度 θ_0 と、台車との衝突時の角度 θ_1 について、$\theta_1 > \theta_0$ という関係が成り立っていた。このときの、小球の投げ上げ時の速さの上限を g, x、θ_0 を用いて表せ。

(3) 小球は、台車の壁に衝突したのち、床に落下して跳ね上がった。その後、小球は発射台に当たることなく、最高点に到達した。床に衝突した後の小球の最高点の高さを e、

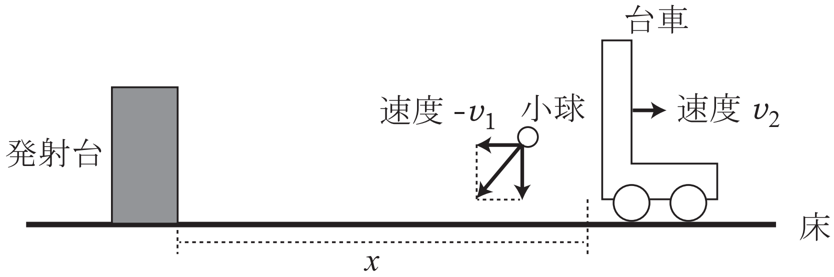

図 1-2

g、h、V、θ_0 を用いて表せ。ただし、e は小球と床の跳ね返り係数とする。

1B

図 1-3 のように、床 A 上の地点 0 から質量 m の小物体を速さ v_0（$v_0 > 0$）ですべらせる。床 A は、半径が r で中心角が θ（$\theta > 0$）の円弧の形をした床 B の上端となめらかにつながっている。地点 0 と床 B の上端の間の距離を x（$x > 0$）とする。さらに、床 B の下端は斜面 C となめらかにつながっている。床 A では小物体に動摩擦係数が μ の動摩擦力がはたらく。一方、床 B と斜面 C はなめらかで摩擦は生じないものとする。小物体の大きさと空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度を g とする。

観察したところ、小物体は円弧の床 B から離れることなく斜面 C を滑っていった。

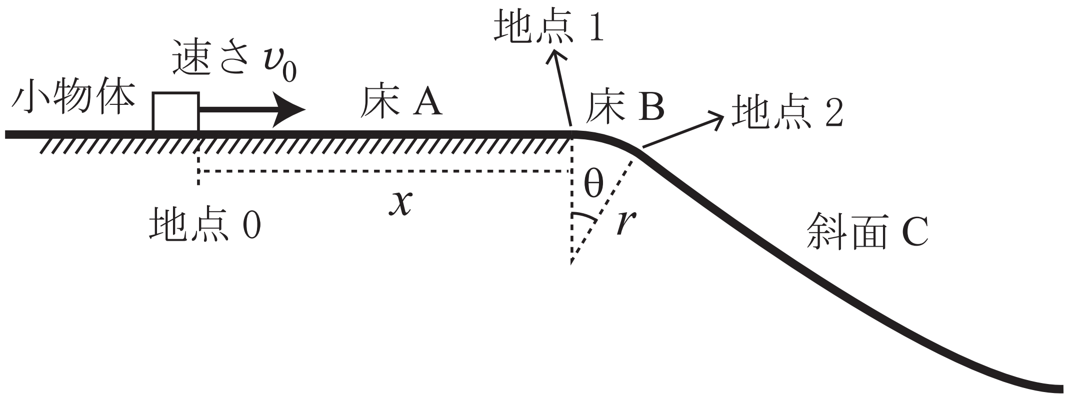

図 1-3

(1) 小物体が床 B の上端（地点 1）まで滑っていくための v_0 の最小値を求めよ。

(2) 床 B の上端（地点 1）での小物体の速さ v_1 を求めよ。

(3) 床 B の下端（地点 2）での小物体の速さを v_2 として、床 B の下端で小物体に床 B からはたらく垂直抗力 N を求めよ。質量 M の質点に半径 R、速さ V の円運動をさせるには、MV^2/R の向心力が必要であることに注意せよ。

(4) v_2 を求めよ。

(5) 小物体が床 B から離れることなく滑っていくための v_0 の最大値を求めよ。

問題 2（35 点）

2A

磁束密度 B（$B>0$）の一様磁場中に置かれた導体でできた回転体を考える。回転体は図 2-1 のように、磁場と平行な回転軸、回転軸上の点 O からのびる導体の棒 $\overline{\mathrm{OP}}$、および半径 a の導体環からなる。接触子 T_1 と T_2 をそれぞれ導体環および中心軸に接触させ、その間を抵抗素子 R とスイッチ S で接続した。回転体は、一定の角速度 ω（$\omega>0$）で図に示した向きに回転している。

まず、スイッチ S が開いている時を考える。導体棒 $\overline{\mathrm{OP}}$ に沿って x 軸を定義し、点 O の座標を $x=0$、点 P の座標を $x=a$ とする。

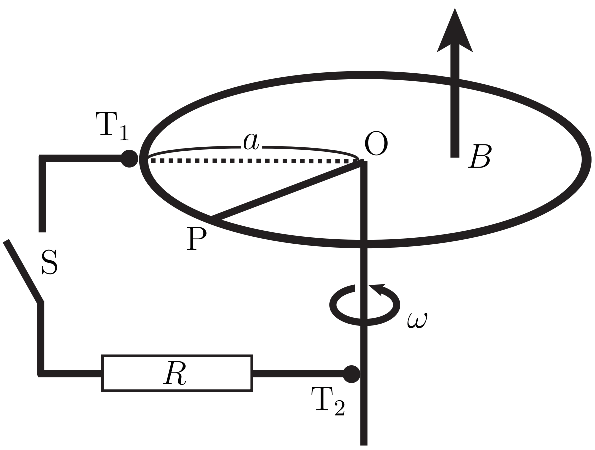

図 2-1

(1) 導体棒中の点 x における自由電子が磁場によって受ける力の大きさと向きを求めよ。自由電子の持つ電気量は $-e$（$e>0$）とする。電子は導体棒の方向へは動かないとする。

(2) (1) で求めた力により導体棒中の正電荷と負電荷の分布には偏りが生じ、OP 間に電場が発生する。電子に作用する遠心力は無視する。この電場から電子が受ける力が (1) の力と釣り合うことで定常状態に達する。この定常状態での電場の大きさを x を横軸に取ったグラフで表せ。

(3) (2) で得られたグラフの線と x 軸に挟まれた面積は、電位差を与える。OP 間に生じ

る電位差を求めよ。

スイッチ S を閉じると、$\overline{\mathrm{OP}}$ とスイッチ S を含む閉回路に電流が流れる。

(4) (1) で求めた電子が受ける力の向きから、この電流は O から P へ流れるか、または P からに O へ流れるか、理由を付けて答えよ。また、この電流が作る磁場の磁力線の概略を解答用紙の図に描け。

以下では、電流が作る磁場は小さく無視できるとする。

(5) 図 2-1 の $\mathrm{T_1}$–O–P の扇形の領域を貫く磁束を求めよ。ただし、角 $\mathrm{T_1}$–O–P を $\theta\,[\mathrm{rad}]$ とする。

(6) (5) の磁束の単位時間あたりの時間変化から OP 間に生じる電位差を導出し、(3) の結果と比較せよ。

2B

通常の抵抗素子は電気抵抗が一定であり、電圧と電流の間に比例関係が成り立つ（オームの法則)。一方で、電気抵抗が温度に依存する場合や、半導体などはこの法則が成り立たない。回路素子の電圧と電流の関係を特性曲線と呼ぶ。

(1) 通常の抵抗素子の特性曲線（横軸：電圧、縦軸：電流）を描け。
(2) 電流増加に伴って電気抵抗が増える性質を持つ抵抗素子の特性曲線を (1) の図に重ねて描け。

図 2-2 のような特性曲線を持つ仮想的なダイオードを考える。電圧がしきい値 V_0 より高い領域では電圧と電流が直線関係にある。この直線の傾きを $1/r$ とする。このダイオードと、電気抵抗 R の抵抗素子を用いて図 2-3 の回路を構成し、端子 1 と 2 の間に電圧 V_{12} をかけて端子 3 と 4 の間の電圧 V_{34} を測定する。

(3) V_{12} が V_0 より低い場合と高い場合に分け、V_{34} を V_{12}、V_0、r、R を用いて表せ。
(4) ダイオードで消費される電力 W を V_{12}、V_0、r、R を用いて表せ。

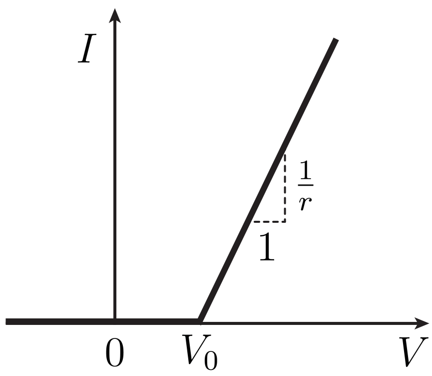

図 2-2

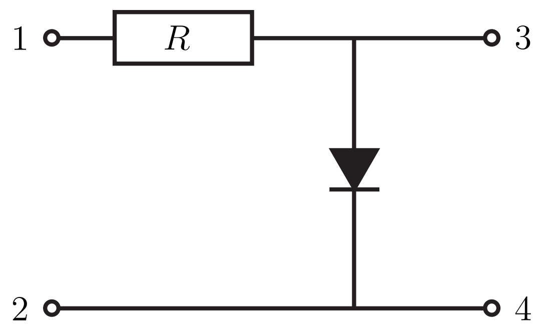

図 2-3

問題 3（30 点）

3A

図 3-1(a) のように、単色光源（波長 λ)、単スリット S_0、二つのスリット S_1 と S_2 からなる複スリット、そしてスクリーン、が真空中（屈折率 1）に平行に置かれている。S_1 と S_2 の間の間隔を d とする。単スリットと複スリットの面の間隔を L、複スリットとスクリーンの面の間隔は l とする。ただし、d は λ の数倍程度、L、l は d より十分大きいものとする（図ではわかりやすくするため横方向を縮小している)。すると、スクリーン上には明暗の干渉縞が現れる。S_1 と S_2 の中央を通り、複スリットに垂直な面（図の点線）を実験装置の基準の面とする。

最初にスリット S_0 が基準の面上にある場合を考える。スクリーン上の最も明るい線は基準の面上 P_1 に現れ、次に明るい線は Q_1 に現れた。

(1) 光の経路差 $\mathrm{S}_1\mathrm{Q}_1 - \mathrm{S}_2\mathrm{Q}_1$ を求めよ。真空中ではこれは光路差に等しい。ただし図 3-1(a) のように $\mathrm{S}_1\mathrm{Q}_1 > \mathrm{S}_2\mathrm{Q}_1$ であるとせよ。
(2) 干渉縞の間隔 $\mathrm{P}_1\mathrm{Q}_1$ を求めよ。

次に、図 3-1(b) のように単スリットの位置を S_0' の場所にずらすと、明るい線の位置 P_1、Q_1 は、それぞれ P_2、Q_2 に移動した。P_2 は基準の面からずれ、かわりに Q_2 が基準の面上に来た。

(3) 単スリットと複スリットの間の経路差に注意して、単スリットの移動距離 $\mathrm{S}_0\mathrm{S}_0'$ を求めよ。

次に、図 3-1(c) のように複スリットとスクリーンの間の空間を屈折率 n の媒質で満たしたところ、もとの明るい線の位置 P_2、Q_2 は、それぞれ P_3、Q_3 となった。このとき、Q_3 は基準の面上にとどまっていたが、P_3 は P_2 から移動し干渉縞の間隔が変化した。

(4) 光路差は経路差の n 倍になることに注意して、干渉縞の間隔 $\mathrm{P}_3\mathrm{Q}_3$ を求めよ。

いったん図 3-1(b) の状態に戻り、今度は図 3-1(d) のように単スリットと複スリットの間の空間を屈折率 n $(n > 1)$ の媒質で満たしたところ、もとの明るい線の位置 P_2、Q_2 は、それぞれ P_4、Q_4 に移動した。

(5) 図 3-1(b) の状態と光路差が同じになる条件から、Q_4 の基準の面からの距離を求めよ。

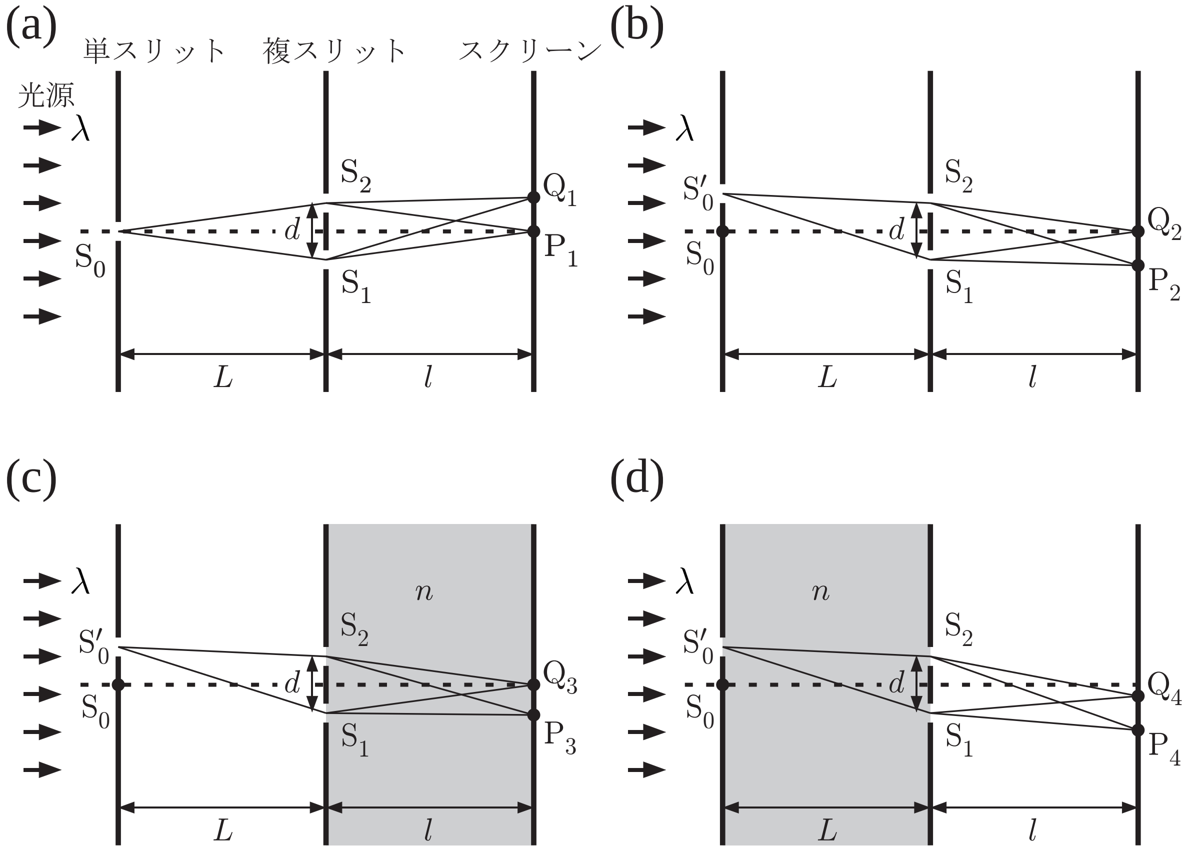
(a)
単スリット
複スリット
スクリーン
光源
λ
S2
S1
S0
d
Q1
P1
L
l
(b)
S′0
Q2
P2
(c)
n
Q3
P3
(d)
Q4
P4

図 3-1

3B

図 3-2 のようにシリンダー内に単原子分子の理想気体を 1 モル閉じ込める。ピストンにはばね定数 k のばねの一端が固定されており、ばねのもう一端は動かない壁に固定されている。シリンダーの外側は一定の大気圧 p_0 に保たれている。シリンダー内にはヒーターがあり、気体を熱することができる。シリンダーの断面積を S とし、ピストンの位置はシリンダー内の向かい合った壁との間の距離で定義することにする。気体定数を R とする。また、シリンダーおよびピストンは熱を伝えないものとする。以下では、変化は十分ゆっくりとおこるものとする。

最初、図 3-2(a) のように、ピストンの位置は l であり、このときばねは自然長であった (状態 A)。

(1) 状態 A の気体の温度を求めよ。

次に、図 3-2(b) のように、ヒーターにより気体を熱したところ、ピストンがゆっくりと移動し $2l$ の位置で停止した（状態 B)。

(2) 状態 B の気体の圧力を求めよ。
(3) 横軸を体積、縦軸を圧力とした p-V グラフ上で、状態 A から B への変化をあらわす経路を描け。
(4) 状態 A から B への過程において気体が外部にした仕事を求めよ。
(5) 状態 A から B への過程において、体積と圧力が変化したことに注意して、内部エネルギーの変化量を求めよ。
(6) ヒーターが気体に与えた熱量を求めよ。

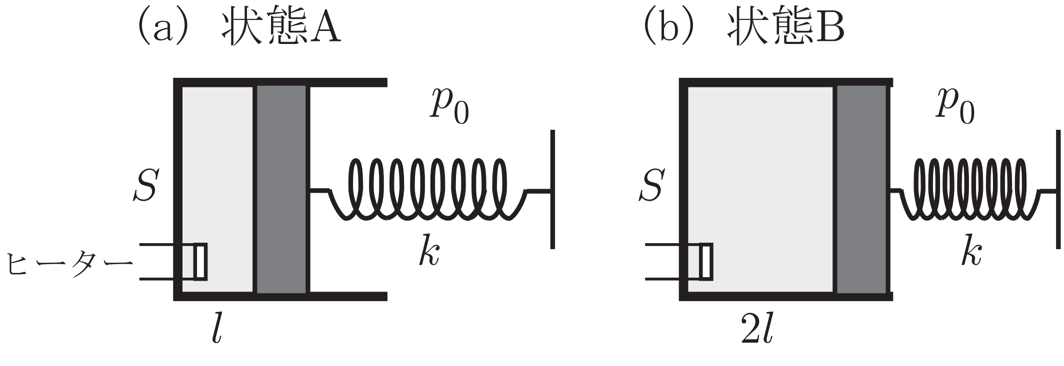

図 3-2