

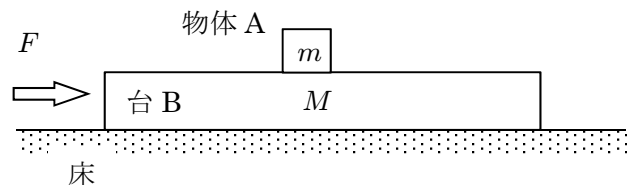
## 物 理 (その1)

## 第1問

質量  $m$  の物体 A を質量  $M$  の台 B の上へのせ、摩擦のある床の上に置く。床および台 B の上面下面は水平になっている。いま、床と台 B の表面が粗く摩擦がある状況で、台 B に水平方向の力 (大きさ  $F$ ) を図中で右向きに加える場合を考える。この力の大きさ  $F$  は変えることができる。物体 A と台 B の間の動摩擦係数を  $\mu_1$ 、静摩擦係数を  $\mu_{s1}$  とし、床と台 B の間の動摩擦係数を  $\mu_2$ 、静摩擦係数を  $\mu_{s2}$

とし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

台 B は十分に広く、物体 A が台 B から落ちることはないとする。



問1  $F = F_0$  のとき、物体 A と台 B が一体になったまま、床の上を等速度ですべらせることができた。 $F_0$  を  $m$ 、 $M$ 、 $g$ 、 $\mu_1$ 、 $\mu_{s1}$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_{s2}$  の中から必要な記号を使って答えよ。

問2 前問の状態 ( $F = F_0$  のとき、物体 A と台 B が一体になったまま、床の上を等速度ですべっている状態) から、 $F$  を変えてみたところ、 $F_0 - \Delta F_1 \leq F \leq F_0 + \Delta F_2$  の範囲内であれば物体 A は台 B と一体になったまま動いた。ここで、 $\Delta F_1 > 0$ 、 $\Delta F_2 > 0$  である。 $\Delta F_1$ 、 $\Delta F_2$  はいくらか。 $m$ 、 $M$ 、 $g$ 、 $\mu_1$ 、 $\mu_{s1}$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_{s2}$  の中から必要な記号を使って答えよ。

$F = F_0 + \Delta F_2$  で台 B を押して、物体 A と台 B が一体になって動いている状態から、 $F$  を少しずつ小さくし、 $F = 0$  まで変化させたところ、 $F = 0$  になった直後にも台 B は動いていた。このとき、台 B を押す力がゼロ ( $F = 0$ ) になるより前の時点で、物体 A が台 B に対して図中で右向きにすべり始めた。

問3 このようにすべり始める条件を  $\mu_1$ 、 $\mu_{s1}$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_{s2}$  のうち必要な記号を使って式で表せ。

以下の問において、図中の右向きを加速度の正の向きとする。前問で、 $F = 0$  にした直後に、物体 A が台 B に対して図中で右向きにすべり、かつ台 B が床に対してすべっている場合を考える。

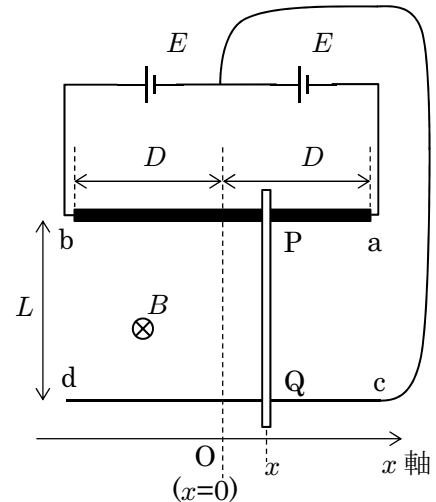
問4 この場合の床に対する物体 A の加速度  $\alpha_A$ 、および床に対する台 B の加速度  $\alpha_B$  を求め、 $m$ 、 $M$ 、 $g$ 、 $\mu_1$ 、 $\mu_{s1}$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_{s2}$  の中から必要な記号を使って答えよ。

問5 物体 A の台 B に対する相対速度が増加するために必要な条件を  $\mu_1$ 、 $\mu_{s1}$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_{s2}$  の中から必要な記号を使ってかけ。

## 物 理 (その2)

## 第2問

2本のレール(レールabとレールcd)を互いに平行かつ間隔が $L$ になるようにして水平面に固定する。レールabは抵抗値 $R$ の様な抵抗線であり、その長さは $2D$ である。一方、レールcdは抵抗の無い導線とする。右図のように、この2本のレールと電源電圧 $E$ の電源2個を導線でつなぎ、导体棒をレールに対して垂直になるようにレールにのせる。2本のレールの間には磁束密度 $B$ の様な磁場が鉛直方向(図中、紙面に垂直で表→裏の向き)にかけられているとする。また、レールと平行で $b \rightarrow a$ の向きに $x$ 軸を設定し、 $x$ 軸の原点 $O(x=0)$ を抵抗線(レールab)の midpointの位置にとる。



导体棒とレールabの接点を点P、レールcdとの接点を点Qとする。导体棒の質量を $M$ とし、导体棒とレールとの間はなめらかで摩擦はなく、导体棒は常にレールに対して垂直を保ったまま動くものとする。回路のインダクタンス、導線や导体棒の抵抗および電源の内部抵抗は無視できるものとして以下の問に答えよ。

問1 导体棒を $x=0$ に置くとき、PQ間を流れる電流の大きさはいくらか。

导体棒を支えて位置 $x$  ( $0 < x < D$ )で静止させておくとき、

問2 抵抗線(レールab)のaP間の抵抗値はいくらか。

問3 PQ間を流れる電流の大きさはいくらか。また、その電流の向きは $P \rightarrow Q$ 、 $Q \rightarrow P$ のどちら向きか。

問4 导体棒が磁場から受ける力の大きさと向きを答えよ。なお、向きを答える際に、例えば、 $c \rightarrow b$  というように、どこからどこへ向く向きかを解答欄に書くこと。

次に、导体棒を位置 $x=A$  (ただし、 $0 < A \ll D$ )に置いてから静かに放す場合を考える。以下の問で、 $|z| \ll 1$ のとき、近似式 $z(1 \pm z^2)^n \approx z$  ( $n$ は整数)が成り立つことを用いてよい。

問5  $|x| \ll D$ の場合に、导体棒の加速度を表す近似式を求め、 $L$ 、 $D$ 、 $R$ 、 $E$ 、 $B$ 、 $M$ 、 $x$ のうち必要な記号を用いて表せ。

問6 导体棒を静かに放した時刻を $t=0$ として、导体棒の位置 $x$ を縦軸に、時間 $t$ を横軸にとったグラフの概形をかけ。

## 物 理 (その3)

## 第3問

電子の質量を  $m$ 、電子の電荷を  $-e$ 、プランク定数を  $h$ 、真空での光の速さを  $c$  とする。

[A]

問1 以下の文章中の空欄に入る適切な式や言葉を答えよ。[ア]、[エ]、[オ] には式が、これ以外の空欄には言葉が入る。また、[キ] では、あてはまる正しい言葉を選択肢から選び、選択肢の記号を解答欄に答えよ。

X線管は、陰極側で発生させた熱電子を陽極陰極間の電位差で加速し、陽極に衝突させてX線を発生させるものである。加速電圧  $V$  で作られる電場によって電子が陰極から陽極に達するまでにされる仕事は [ア] と表せ、陽極に達した電子の [イ] エネルギーはこの仕事に等しい。電子が陽極に衝突して減速する際、この [イ] エネルギーの一部または全部を光子のエネルギーとして持つX線が発生する。このX線を [ウ] X線という。振動数  $\nu$  のX線の光子1個のエネルギーは  $\nu$  を使って [エ] と表せ、加速電圧  $V$  のX線

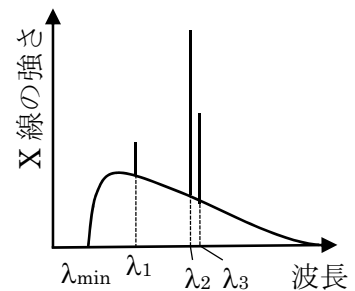


図1

管で発生するX線の最短波長  $\lambda_{\min}$  は [オ] である (ただし、 $m$ 、 $e$ 、 $h$ 、 $c$ 、 $V$  から必要な記号を用いて表すこと)。ある適当な加速電圧をかけたX線管から発生したX線の強さと波長の関係を図1に示す。図1の中の波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  のように特定の波長に強く現れるX線を [カ] X線という。[カ] X線の波長は陽極の物質によって決まっており、加速電圧を [キ]。

- [キ]の選択肢： (a) 大きくすると長くなる  
 (b) 大きくすると短くなる  
 (c) 大きくしても変わらない

問2 加速電圧  $2.00 \times 10^4 \text{ V}$  のX線管から発生するX線の最短波長を、 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  として、有効数字3桁で求めよ。なお、単位をつけて答えること。

## 物 理 (その4)

## [B]

X線管で発生したX線をスリットを通して結晶に入射させ、結晶で反射したX線をX線検出器で検出する。スリットの向きはスリットの中心を通るX線の経路(図2の実線で表した経路)に対して垂直になっており、スリットの中心位置を変えずに幅が変えられるようになっている。スリットの中心を通るX線と結晶面との角度を $\theta_0$ にして結晶を固定する。X線検出器はスリットを通過し、結晶面で反射されたX線を検出できるように設置されている。結晶面の間隔を $d$ として以下の問に答えよ。

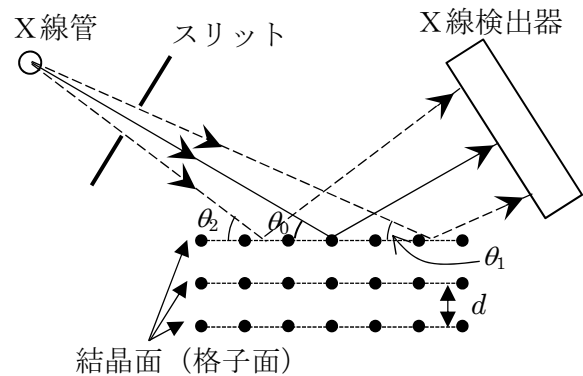


図2

問3 スリットの幅が十分に狭ければ、結晶面に対して角度 $\theta_0$ で入射するX線だけ考えればよい。このとき、検出器で検出されるX線の中で最も長い波長を $\lambda_0$ としてX線が結晶面で強く反射される条件をかけ。

実際には、スリット幅を無視できないため、結晶に入射するX線の結晶面に対する角度には $\theta_1 \leq \theta_0 \leq \theta_2$ の幅が生じる(図2)。この結果、問3の $\lambda_0$ を含むある範囲の波長のX線が検出器で検出される。

いま、図3のように、スリットの幅を $t$ 、X線管の陽極からスリットまでの距離を $L$ とする。X線管の陽極の大きさは無視でき、さらに、 $t \ll L$ とするとき、

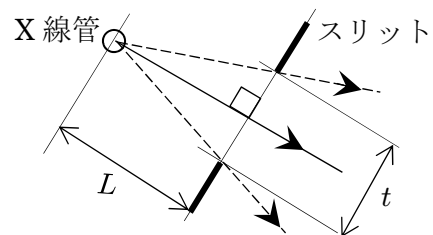


図3 X線管とスリット部分の拡大図

問4 スリットを通るX線と結晶面とのなす角 $\theta_1$ と $\theta_2$ を $\theta_0$ 、 $t$ 、 $L$ で表せ。

問5 いま、スリット間隔 $t$ を調節して検出器で検出される波長 $\lambda$ が $|\lambda - \lambda_0| \leq \epsilon \lambda_0$ の範囲に収まるようにしたい。 $\epsilon = 10^{-4}$ のとき、スリットの間隔 $t$ をいくら以下にすればよいか。 $\theta_0$ と $L$ を用いて表せ。

必要に応じて、 $|x| \ll 1$  [rad] のときの近似式  $\sin x \doteq x$ 、 $\cos x \doteq 1$ 、 $\tan x \doteq x$  を用いよ。

# 物 理 (その5)

## 第4問

図1のように、長さ  $L$  の軽くて丈夫な棒の一端に質量  $M$  のおもりをつけ、他端を支点  $O$  に取りつける。棒と支点  $O$  の間には摩擦は無く、棒は支点  $O$  を中心になめらかに回転することができる。おもりの大きさは無視できるとし、重力加速度の大きさを  $g$  として以下の間に答えよ。

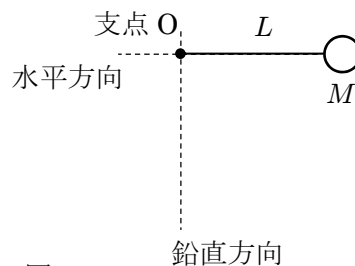


図1

いま、棒が水平になる位置までおもりを持ち上げてから静かに放す。

問1 おもりが支点  $O$  の鉛直真下にきた瞬間の、支点  $O$  を中心にしたおもりの角速度  $\omega$  を求めよ。

次に、棒の一端を支点  $O$  につけたまま質量  $M$  のおもりだけ取り外す。その後、この棒に質量  $m$  の小球  $N$  個を等間隔  $d$  になるように取りつける (図2)。ここで、質量  $m$  および間隔  $d$  は  $M=Nm$ 、 $L=Nd$  を満たすとする。以下の間において、支点  $O$  の高さを位置エネルギーの基準にとり、小球の大きさは無視できるものとする。

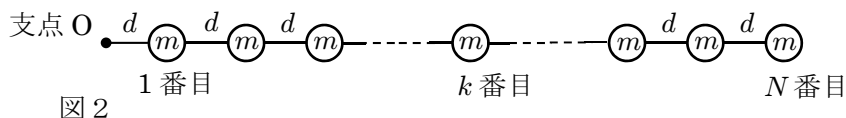


図2

問2 棒が支点  $O$  の真下で鉛直方向に向いた位置にあるとき、 $k$  番目の小球の位置エネルギーはいくらか。  $m$ 、 $d$ 、 $k$ 、 $g$  を用いて表せ。

問3 棒が支点  $O$  の真下で鉛直方向に向いた位置にあるとき、 $N$  個の小球の位置エネルギーの総和を  $M$ 、 $L$ 、 $N$ 、 $g$  を用いて表せ。

さらに、この  $N$  個の小球を取りつけた棒を水平になる位置まで持ち上げてから静かに放すと、棒が支点  $O$  を中心にして振り子のように落下し始める。

問4 棒を静かに放してから、棒が支点  $O$  の真下で鉛直方向に向くまでの間に、棒の張力が全小球にする仕事はいくらか。

棒が支点  $O$  の真下で鉛直方向の位置にきた瞬間の角速度を  $\omega$  とする。棒は丈夫なので棒の上のどの点でも角速度は同じである。このことに注意して以下の間に答えよ。

問5  $k$  番目の小球の速さを  $\omega$ 、 $d$ 、 $k$  を用いて表せ。

問6  $N$  個の小球の運動エネルギーの総和を  $\omega$ 、 $M$ 、 $L$ 、 $N$  を用いて表せ。

問7 角速度  $\omega$  を  $L$ 、 $N$ 、 $g$  を用いて表せ。