

2 図1に示すように、磁束密度が一定の鉛直下向きの磁界(磁場)の中に、十分に長い导体棒  $ab$  と导体棒  $cd$  を間隔  $L$  [m] で平行に並べてレールをつくり、水平面に対して傾斜角が  $\alpha$  [rad] ( $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ ) となるようにレールの端点  $b$  と  $d$  を持ち上げた。このとき、レールの下端  $ac$  とレールが垂直になるように配置してある。端点  $a$  と  $c$  は、 $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗  $A$  と起電力  $E$  [V] の直流電源で構成される電気回路に接続されている。以下の間に答えよ。ただし、レールの電気抵抗、直流電源の内部抵抗、レールと导体棒の間の摩擦、および、レールに流れる電流がつくる磁界の影響は無視する。また、重力加速度は鉛直下向きに  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

問1 レール上に、長さ  $L$  [m]、質量  $M$  [kg] で、 $R$  [ $\Omega$ ] 抵抗を持つ导体棒  $X$  をレールと垂直になるように静かに置いたところ、导体棒  $X$  はレール上に静止した。

- (1) 抵抗  $A$  を流れる電流の大きさを求めよ。
- (2) 抵抗  $A$  における消費電力を求めよ。
- (3) 磁束密度の大きさを求めよ。

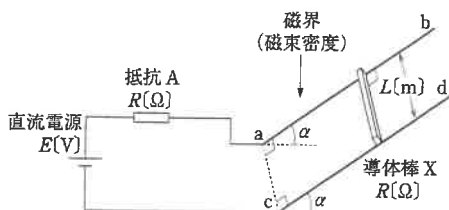


図1

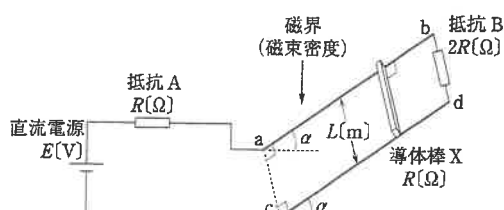


図2

問2 次に、図2に示すように、レールの端  $b$  と  $d$  を  $2R$  [ $\Omega$ ] の抵抗  $B$  でつないで、导体棒  $X$  をレールと垂直になるように静かに置いた。すると、导体棒  $X$  は、 $ac$  と平行を保ったままレール上を動きはじめた。ただし、导体棒  $X$  と回路を流れる電流間に働く力については無視できるものとする。

- (4) 导体棒  $X$  は、レール上を昇るか降りるか。
- (5) 导体棒  $X$  が動き出した瞬間に、导体棒  $X$  を流れる電流の大きさを求めよ。
- (6) 导体棒  $X$  が動き出さないようにするためには抵抗  $A$  の大きさを、もとの抵抗値  $R$  の何倍にしておけばよいか求めよ。

問3 次に、抵抗  $B$  を取り除き、図1の状態に戻してから、図3に示すように、長さ  $L$  [m]、質量  $M$  [kg] で  $R$  [ $\Omega$ ]

の抵抗を持つ导体棒  $X$  と、長さ  $L$  [m]、質量  $\frac{2}{5}M$  [kg]

で  $2R$  [ $\Omega$ ] の抵抗を持つ导体棒  $Y$  とを、絶縁体の軽いひもでつないで、导体棒  $Y$  が上になるようにレール上に静かに置いた。すると、ひもがたるむことなく、导体棒  $X$  と导体棒  $Y$  がレール上を  $ac$  と平行を保ったまま下向き

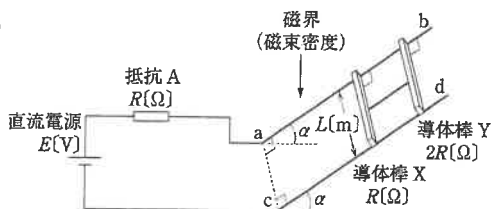


図3

に動き出し、十分時間が経過した後、导体棒  $X$  と导体棒  $Y$  の速度が一定になった。以下の間に答えよ。ただし、导体棒  $X$  と导体棒  $Y$  はレール上にあるものとし、それぞれの导体棒を流れる電流間に働く力については無視できるものとする。

- (7) 导体棒  $X$  と导体棒  $Y$  の速度が一定となったとき、导体棒  $X$  を流れる電流の大きさは、抵抗  $A$  を流れる電流の大きさの何倍になるか求めよ。
- (8) ひもがたるむことなく导体棒  $X$  と导体棒  $Y$  が運動しているので、それぞれの导体棒の速度は等しい。その速度を  $v$ 、 $M$ 、 $R$ 、 $g$ 、 $\alpha$  を用いて表せ。また、このときの抵抗  $A$  を流れる電流の大きさを  $I$ 、 $R$  を用いて表せ。なお、答えを導く過程も記せ。その際に、問題文に示される以外の量が必要であるならば、必要な量を新たに定義して用いてもよい。
- (9) ひもの張力を  $T$ 、 $g$ 、 $\alpha$  を用いて表せ。

3 コンパクトディスク (CD) に光が入射すると虹色に輝く。この現象を元に光の性質と CD の構造を考察しよう。図 1 のように、CD はディスク基板上にピットと呼ばれる突起物を作り、デジタルデータを記録している。ピット以外の部分はランドと呼ばれる。この記録層を保護する目的で、ディスク基板は透明膜で覆われている。CD の面に垂直に光が入射し、等間隔に並んだピットの上で角度  $\phi$  の方向に回折光が生じ、その回折光は角度  $\theta$  で空气中に再放射されるとする。ただし、入射した光の波長を  $\lambda$ 、空気と透明膜の屈折率をそれぞれ 1 と  $n$  (ここで  $n$  は 1 より大きい)、ピット同士の間隔を  $d$  とする。以下の間に答えよ。

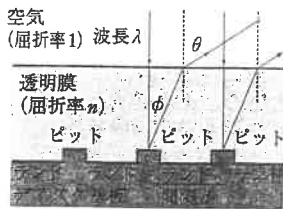


図 1

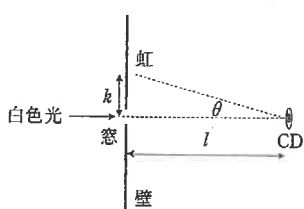


図 2

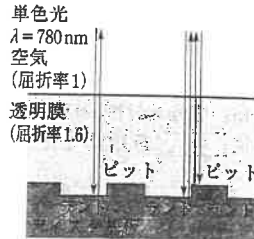


図 3

- 問 1 透明膜中の光の波長はいくらか。また、 $\theta$  と  $\phi$  の間に成り立つ関係を示せ。
- 問 2 角度  $\phi$  があまりに大きいと回折光が見えなくなる。その理由を簡単に述べ、そのとき  $\phi$  が満たす式を示せ。
- 問 3 回折光が強め合う条件は、 $m$  を整数として、どのように与えられるか示せ。
- 問 4 図 2 のように CD より十分に離れた窓から CD に垂直に白色光が入射すると、赤、青、緑などの虹が壁面にできた。その色の順序は内側から順に何色となるか、「赤」「青」「緑」で答えよ。また、その理由も述べよ。
- 問 5 窓と CD の距離  $l$  を 1.5 m とすると、窓から最も近い回折光のうち赤色のものは窓からの距離  $k$  が 5 cm のところにあらわれた。赤色の光の波長を  $680 \text{ nm} (=680 \times 10^{-9} \text{ m})$  とすると  $d$  はいくらか、有効数字 2 けたで計算せよ。なお、 $\theta$  は十分に小さいとして、 $\sin \theta \approx \frac{k}{l}$  を用いてよい。
- 問 6 CD のデータ読み出しには  $\theta=0$  の反射光を用いる。図 3 のように、ランドで反射した光はそのまま光源に戻るが、ピット部に当たる光はランドからの光と干渉して暗くなるよう設計されている。読み出しに用いる光の波長を  $\lambda=780 \text{ nm}$ 、屈折率を  $n=1.6$  としたとき、ピットの高さのうち最も小さいものを有効数字 2 けたで計算せよ。