

物 理 ( 3 問 )

[ I ] 図1のように、電荷  $Q$  を帯びた質量  $m$  の小さな物体 A が水平面からの角度  $\theta$  の斜面上にあり、電荷  $Q$  を帯びた小さな物体 B が斜面の下に固定されている。物体 B の位置を原点  $O$  とし、斜面上方に向かって  $x$  軸をとる。物体 A は  $x$  軸上を滑らかに動くことができる。物体 A と物体 B の間に働くクーロン力の比例定数を  $k$  とし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。また、運動する電荷からの電磁波の放射と空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

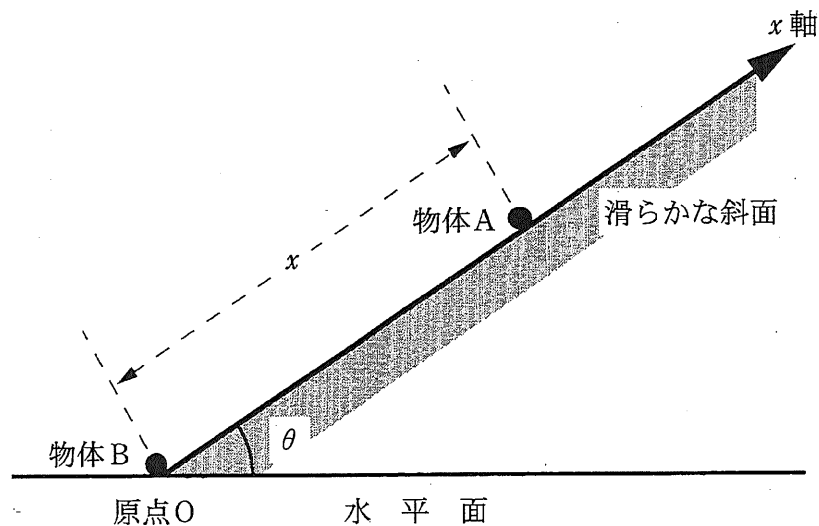


図 1

問 1 物体 A の座標を  $x$ 、加速度を  $a$  とするとき、物体 A の運動方程式を記せ。

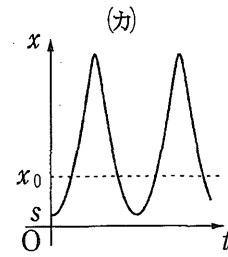
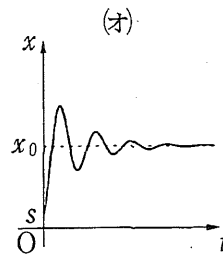
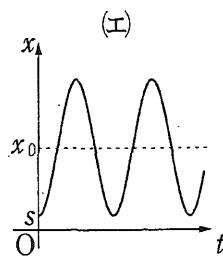
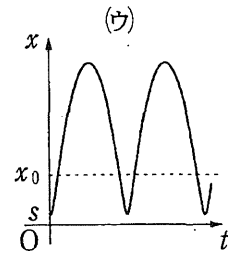
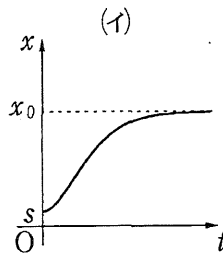
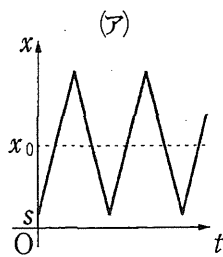
問 2 物体 A が静止することのできる座標  $x_0$  を、 $k$ 、 $Q$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $\theta$  を用いて表せ。

次に、物体 A を座標  $s$  ( $s < x_0$ ) の位置に置いて、静かに放した。その後の物体 A の運動を考える。

問 3 座標  $s$  で物体 A のもつ力学的エネルギー  $E$  を、 $s$ 、 $k$ 、 $Q$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $\theta$  を用いて表せ。ただし、重力による位置エネルギーの基準は原点  $O$  の高さとし、物体 B による電位の基準は無遠方とする。

問 4 物体 A が原点  $O$  から最も離れたときの座標  $L$  を、 $E$ 、 $k$ 、 $Q$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $\theta$  を用いて表せ。その導き方も記せ。

問 5  $s$  が  $x_0$  に比べて非常に小さいとき、物体 A の座標  $x$  と時刻  $t$  の関係を表すグラフとして、最もふさわしいものを次の解答群の中から選び記号で答えよ。



問 5 の解答群

〔Ⅱ〕 次の問いに答えよ。

問 1 次の文章中の空欄  ～  に入る適切な数式や語句を，解答欄に記入せよ。

気体に外部から熱量  $\Delta Q$ ，仕事  $\Delta W$  を加えると，内部エネルギーの増加量は，

$$\Delta U = \text{ア}$$

になる。

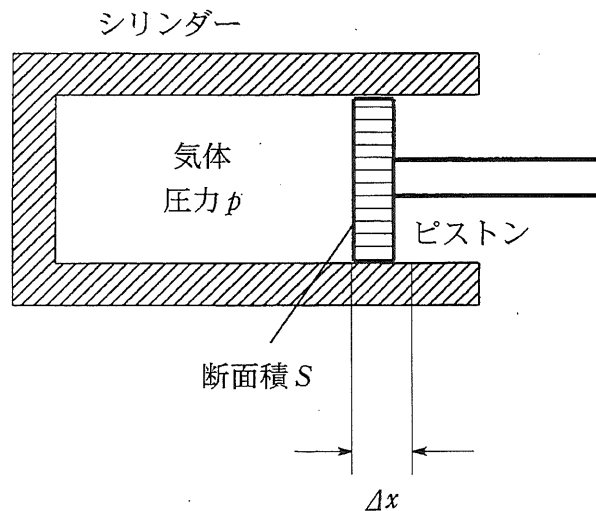
いま，気体を断面積  $S$  のシリンダーに入れ，滑らかに動くピストンでふたをした。気体に熱量  $\Delta Q$  を加え，同時にピストンを支える力をわずかに変化させたところ，ピストンが静かに  $\Delta x$  だけ外向きに移動した。 $\Delta x$  は小さく，この過程で気体の圧力  $p$  は一定とみなせるものとする。このとき，気体がピストンにおよぼす力の大きさは  $F = \text{イ}$  と表されるので，気体がされる仕事  $\Delta W$  は，

$$\Delta W = -F \text{ウ} = -\text{エ}$$

となる。体積は  $\Delta V = S\Delta x$  だけ増加しているので，内部エネルギーの増加量  $\Delta U$  は気体に加えた熱量  $\Delta Q$ ，体積の増加量  $\Delta V$ ，圧力  $p$  を用いて，

$$\Delta U = \text{オ}$$

と表される。



問 2 次の文章中の空欄  ～  に入る適切な数式や語句を、解答欄に記入せよ。

コンパクトディスクの記録面が見る方向により様々な色に見えるのは、記録面に規則正しく刻まれた溝を、反射型の  格子とみなすことができるためである。

この記録面に対してレーザー光を垂直に照射すると、レーザー光に対して角度  $\theta$  の方向に 1 次の  光が観測された。このとき、 格子の格子定数 (溝の間隔) を  $d$ 、空気中でのレーザー光の波長を  $\lambda$  とすると、

$$d = \text{キ}$$

の関係が成立する。ところが、実際のコンパクトディスクの記録面には空気に対する屈折率が  $n (n > 1)$  の透明な保護膜が均一に塗られている。保護膜中で記録面に垂直な方向に対して  $\theta_1$  の方向に進む光が、空気中で  $\theta$  の方向に進むとすると、屈折の法則により、

$$\sin \theta_1 = \text{ク}$$

が成り立つ。また、保護膜中でのレーザー光の波長は、

$$\lambda_1 = \text{ケ}$$

である。保護膜の厚さはレーザー光の波長に比べて十分に大きいので、格子定数を保護膜中で求めると、 $\theta_1$  と  $\lambda_1$  を用いて

$$d = \text{コ}$$

となり、これを  $\theta$  と  $\lambda$  で表すと、先に求めた関係式  $d = \text{キ}$  に一致する。このように、保護膜の存在を考えなくても結果が同じになるのは、物理の面白いところである。

〔Ⅲ〕 図1のように、半径  $a$  の半円弧状の金属でできたレールが鉛直面内にある。その上を滑らかに動くことができる金属球があり、金属球と円弧の中心  $O$  は、自由に動く十分細い直線状の金属棒で結び付けられている。金属棒とレールはヒーターとスイッチを介して接続されている。重力加速度の大きさを  $g$  とし、空気の抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

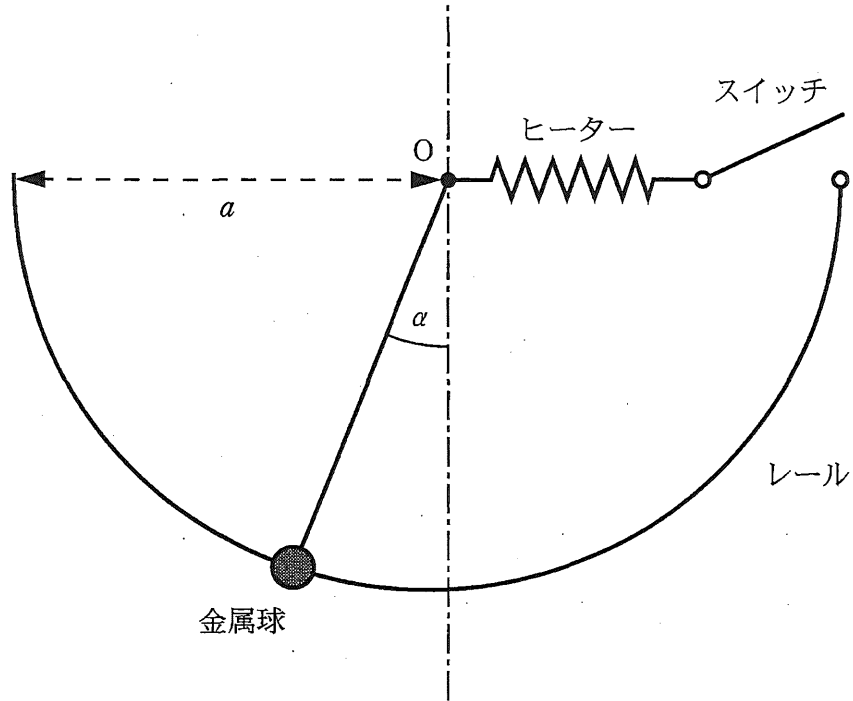


図1

問1 金属棒が鉛直方向に対して角  $\alpha$  をなす位置で金属球を静かに放した。金属棒が鉛直方向と角  $\theta$  をなすとき、金属球の速さ  $v$  を求めよ。その導き方も記せ。

次に、図2のように、スイッチを開放した状態でレールのある平面に対して垂直な方向に磁束密度  $B$  の一様な磁場をかけた。金属棒が鉛直方向に対して角  $\alpha$  をなす位置で、金属球を静かに放した。

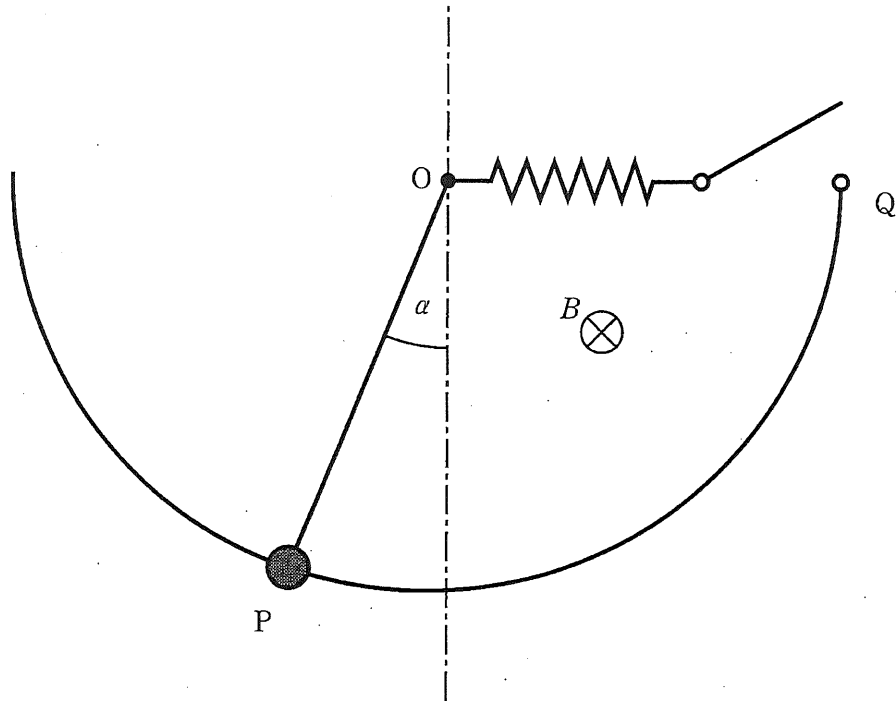


図2

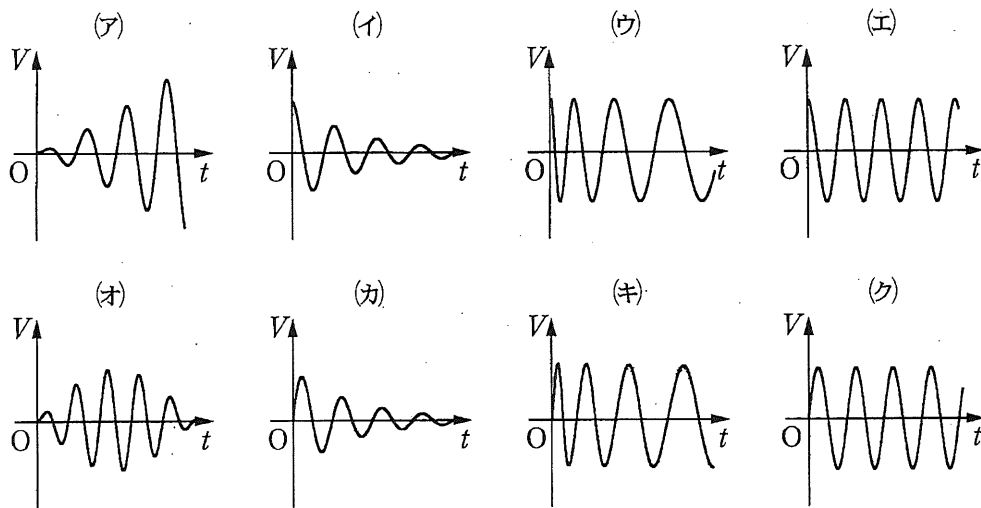
問2 図2における回路OPQを貫く磁束  $\Phi$  の短い時間  $\Delta t$  での変化量  $\Delta\Phi$  の大きさを、金属球の速さ  $v$  を用いて表せ。その導き方も記せ。

問3 磁束の変化による誘導起電力  $V$  の大きさの最大値  $V_{\max}$  を求めよ。その導き方も記せ。

(問題は次のページに続く)

金属棒が鉛直方向に対して角  $\alpha$  をなす元の位置に来た瞬間にスイッチを閉じた。ヒーター以外の電気抵抗はすべて無視できるものとする。

問 4 スイッチを閉じてからの時間を  $t$  とし、ヒーターの両端の電位差を  $V$  とする。このとき、 $V$  と  $t$  の関係を表すグラフとして最もふさわしいものを次の解答群から選び記号で答えよ。



問 4 の解答群