

物理（マーク解答問題）

〔I〕 以下の空欄にあてはまるものを各解答群から選び、マーク解答用紙の該当欄にマークせよ。

1 辺 a の正方形コイル PQRS がある。このコイルは、単位長さあたりの電気抵抗が r で、質量は無視でき、変形しないものとする。

図 1 に示すように、 xy 平面と平行な $z = d$ (> 0) の平面内に、辺 PS と辺 QR を y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR を x 軸と平行になるようにコイルがおいてある。このときコイルの中心 C は、 z 軸上の点 $(0, 0, d)$ にある。また、 y 軸上に無限に長い導線があり、 y 軸の正の向きに一定の大きさの電流が流れている。

問 1 コイル PQRS を、図 1 の位置から、 $z = d$ の平面内で x 軸の正の向きに動かしていく。ただし、辺 PS と辺 QR を y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR を x 軸と平行に保つ。このときコイルには (1)。

問 2 コイル PQRS を、図 1 の位置から、 $z = d$ の平面内で y 軸の正の向きに動かしていく。ただし、辺 PS と辺 QR を y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR を x 軸と平行に保つ。このときコイルには (2)。

問 3 コイル PQRS を、図 1 の位置から、 z 軸の正の向きに動かしていく。ただし、辺 PS と辺 QR を y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR を x 軸と平行に保つ。このときコイルには (3)。

(1)~(3)の解答群

- a. つねに $P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ の向きに電流が流れる
- b. つねに $P \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow Q \rightarrow P$ の向きに電流が流れる
- c. まず $P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ の向きに電流が流れ、途中で向きが逆転する
- d. まず $P \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow Q \rightarrow P$ の向きに電流が流れ、途中で向きが逆転する
- e. 電流は流れない

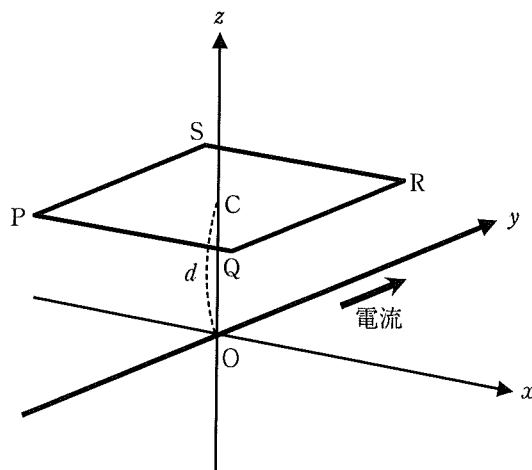


図 1

次に、図2のような xy 平面に垂直な磁場がある場合を考える。この磁場の磁束密度の大きさは、 y 軸方向には一定で、 x 軸方向には正の向きに単位長さあたり一定の割合 b (> 0) で増加している。また、 y 軸上の磁束密度は、大きさが B_0 で、 z 軸の正の向きを向いている。ただし、 y 軸上の導線は取り除いてある。コイル PQRS は、この磁場中の xy 平面 ($z = 0$) に、辺 PS と辺 QR が y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR が x 軸と平行になるようにおかれている。

問4 コイル PQRS の中心 C が x 軸上の点 $(x, 0, 0)$ にあり、かつ $x > \frac{a}{2}$ のとき、コイルの中心の磁束密度の大きさは ，コイルを貫く磁束の大きさは と表される。

(4)と(5)の解答群

- | | | |
|--|--|--|
| a. $b \left(x - \frac{a}{2} \right) + B_0$ | b. $b \left(x + \frac{a}{2} \right) + B_0$ | c. $bx + B_0$ |
| d. $b(x + a) + B_0$ | e. $\left\{ b \left(x - \frac{a}{2} \right) + B_0 \right\} \frac{a^2}{2}$ | f. $\left\{ b \left(x + \frac{a}{2} \right) + B_0 \right\} \frac{a^2}{2}$ |
| g. $(bx + B_0) \frac{a^2}{2}$ | h. $\left\{ b(x + a) + B_0 \right\} \frac{a^2}{2}$ | i. $\left\{ b \left(x - \frac{a}{2} \right) + B_0 \right\} a^2$ |
| j. $\left\{ b \left(x + \frac{a}{2} \right) + B_0 \right\} a^2$ | k. $(bx + B_0) a^2$ | l. $\left\{ b(x + a) + B_0 \right\} a^2$ |

コイルを問4の位置から、 xy 平面内で一定の速さ v で x 軸の正の向きに動かす。ただし、辺 PS と辺 QR を y 軸と平行に、かつ辺 PQ と辺 SR を x 軸と平行に保つ。なお、コイルの自己インダクタンスとコイルを流れる電流のつくる磁場は無視できるものとする。

問5 このとき、コイルに生じる誘導起電力の大きさは となる。

(6)の解答群

- | | | | |
|--|------------------------|--|---------------------------|
| a. $\left(-\frac{ba}{2} + B_0 \right) va$ | b. $B_0 va$ | c. $\left(-\frac{ba}{2} + B_0 \right) \frac{va}{2}$ | d. $\frac{1}{2} B_0 va$ |
| e. $\left(\frac{ba}{2} + B_0 \right) va$ | f. $\frac{1}{2} bva^2$ | g. $\left(\frac{ba}{2} + B_0 \right) \frac{va}{2}$ | h. $B_0 va^2$ |
| i. $(ba + B_0) va$ | j. bva^2 | k. $(ba + B_0) \frac{va}{2}$ | l. $\frac{1}{2} B_0 va^2$ |

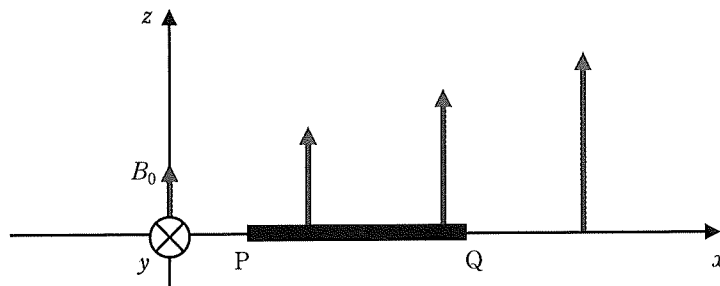


図2

問6 コイルに流れる誘導電流の大きさは、コイルに生じる誘導起電力の大きさと (7) との積であり、向きは (8) 。

(7)の解答群

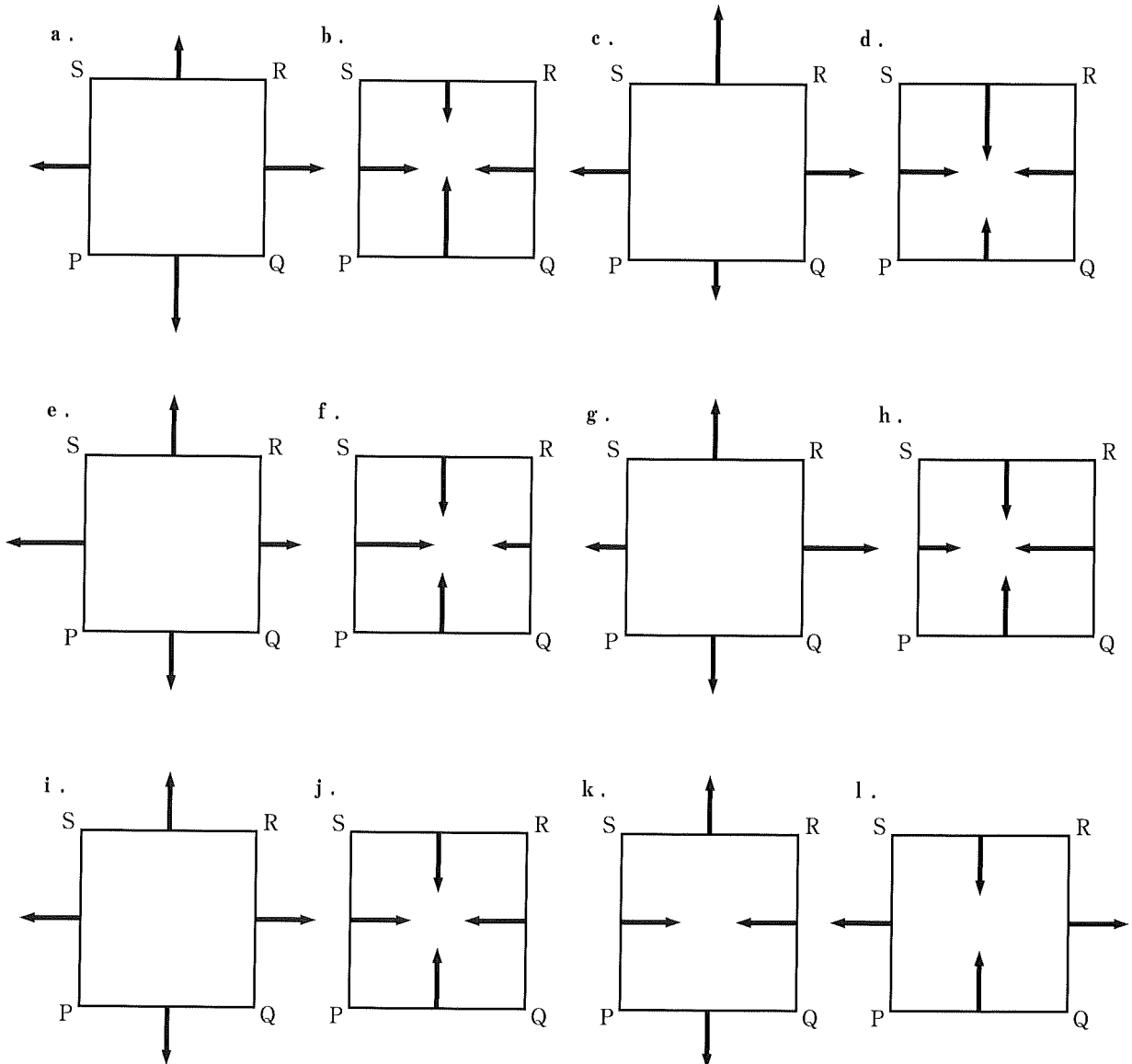
- | | | | |
|------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| a. a | b. ar | c. a^2r | d. $4ar$ |
| e. $\frac{1}{r}$ | f. $\frac{1}{ar}$ | g. $\frac{1}{a^2r}$ | h. $\frac{1}{4ar}$ |

(8)の解答群

- | | |
|--|---|
| a. つねに $P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ である | b. まず $P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ となり、途中で逆転する |
| c. つねに $P \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow Q \rightarrow P$ である | d. まず $P \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow Q \rightarrow P$ となり、途中で逆転する |

問7 このとき、コイルの x 軸方向の運動で生じる誘導電流には、磁場による力が働く。コイルの各辺で働く力をベクトルで表した図は (9) となる。

(9)の解答群



問8 コイルを x 軸の正の向きに一定の速さ v で動かすためには、大きさが $\boxed{(10)}$ の外力を加える必要がある。
この外力がする仕事の仕事率は $\boxed{(11)}$ である。

(10)と(11)の解答群

a. b^2va^3r

b. $b^2v^2a^3r$

c. $b^2v^3a^3r$

d. $4b^2va^3r$

e. $4b^2v^2a^3r$

f. $4b^2v^3a^3r$

g. $\frac{4b^2va^3}{r}$

h. $\frac{4b^2v^2a^3}{r}$

i. $\frac{4b^2v^3a^3}{r}$

j. $\frac{b^2va^3}{4r}$

k. $\frac{b^2v^2a^3}{4r}$

l. $\frac{b^2v^3a^3}{4r}$

問9 コイルに流れる電流を I とすると、コイルに発生するジュール熱として単位時間に失われるエネルギーは $\boxed{(12)}$ と表される。

(12)の解答群

a. aI

b. arI

c. $4arI$

d. aI^2

e. arI^2

f. $4arI^2$

g. a^2I

h. a^2r^2I

i. $16a^2r^2I$

j. a^2I^2

k. $a^2r^2I^2$

l. $16a^2r^2I^2$

物理（記述解答問題）

〔Ⅱ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図のようなレール ABCDE があり、BC が水平な地面に固定されている。地点 A は BC から高さ h のところにあり、 $\overline{CE} = rh$ で、CDE は半円形をしている。レールは滑らかにつながっているものとする。最初、物体 1 は A に、物体 2 は C にあった。物体 2 の質量は物体 1 の質量の f 倍で、それぞれの物体の大きさは無視できるものとする。いま、物体 1 が A から初速 0 でレールに沿って滑り落ち、B を通過して、C で静止していた物体 2 と衝突したとする。ここで、物体 1 と物体 2 の間のはね返り係数を e とする。なお、重力加速度の大きさは g とし、物体が運動するときの摩擦および空気抵抗は無視できるものとする。

問 1 B を通過して、C で物体 2 に衝突する直前の物体 1 の速さ v を g, h を用いて答えよ。

問 2 C で物体 2 に衝突した直後、物体 2 の速さは v_a となった。問 1 で求めた v との比 $\frac{v_a}{v}$ を e, f を用いて答えよ。

問 3 物体 1 と物体 2 の運動エネルギーの和は、衝突直前には K であったが、衝突直後に K' となった。このとき、衝突で失われたエネルギーの割合 $\frac{K - K'}{K}$ を e, f を用いて答えよ。

以下では、物体 1 が衝突直後に C で静止した場合を考えよう。

問 4 物体 1 が衝突直後に C で静止するための条件式を e, f を用いて表せ。

衝突後、物体 2 はレールに沿って D を通過して E まで到達した後、放物運動をしてレールの BC 間に落下した。

問 5 E での物体 2 の速さは v_b となった。問 1 で求めた v との比 $\frac{v_b}{v}$ を e, r を用いて答えよ。

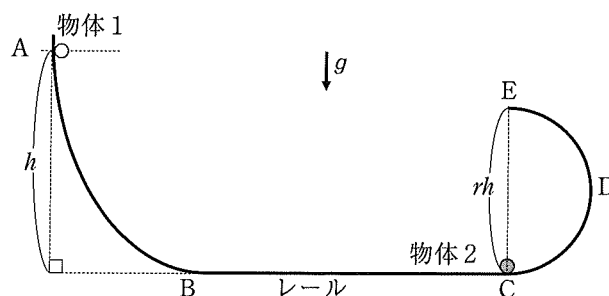
問 6 物体 2 が E に到達するための条件式を e, r を用いて表せ。

問 7 物体 2 が E を通過してからレールに落下するまでの時間を g, h, r を用いて答えよ。

問 8 物体 2 がレールに落下する直前の物体 2 の速さを e, g, h を用いて答えよ。

問 9 物体 2 がレールに落下した地点と C との距離を e, h, r を用いて答えよ。

問 10 r を変化させたとき、問 9 で求めた距離の最大値を e, h を用いて答えよ。



図

物理（記述解答問題）

〔Ⅲ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図1のように、熱をよく通す材質で作られた底面積 S の円筒容器が水平な地面に立ててある。この容器の内部は、滑らかに上下することができる質量 M の円板で上下に仕切られており、仕切られた円筒容器の下側の空間を A 室、上側の空間を B 室とする。円板はつねに水平になっている。A 室には n モルの単原子分子理想気体が封入されており、B 室は真空になっている。また、円板の上面と円筒容器の天井とは、ばね定数 k のばねで連結されている。重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とする。

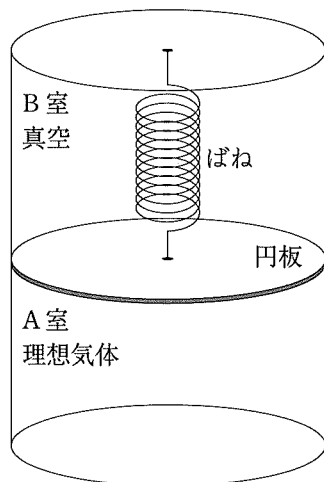


図1

まず、円板がある高さで静止しており、ばねの長さが自然長になっている場合を考える。A 室の気体の温度を T とする。

問1 A 室の気体の圧力 P_0 はいくらか。

問2 A 室の気体の体積 V_0 はいくらか。

ここで、円板の位置が上述の静止位置から鉛直上向きに x (> 0) だけ変化した場合を考える。このとき、A 室の気体の温度は T に保たれているとする。

問3 A 室の気体の圧力を n , R , T , V_0 , S , x を用いて答えよ。

問4 円板に働く力 F は、鉛直上向きを正にとると、

$$F = \boxed{} - Mg$$

と表せる。 $\boxed{}$ にあてはまる式を n , R , T , V_0 , S , x , k を用いて答えよ。

以下では、静止位置からのずれが十分小さい範囲で円板が運動する場合を考える。ただし、その運動は十分ゆっくりで、A 室の気体の温度は T に保たれるものとする。

問5 問4 で求めた力 F は、近似式

$$\frac{1}{1+a} \doteq 1 - a \quad (|a| \ll 1)$$

を用いると、 x に比例する形に書ける。その比例係数を n , R , T , V_0 , S , k を用いて答えよ。

問6 問5 の答から、円板は単振動をすると考えてよい。その振動の周期を n , R , T , V_0 , S , k , M を用いて答えよ。

次に、円板を再び静止させ、図2のようにA室の内部にヒーターを取りつけた後、円筒容器全体を断熱材で覆った。最初、A室の気体の圧力は P_1 であり、体積は V_1 であったが、ヒーターのスイッチを入れてゆっくり温めたところ圧力が P 、体積が V になった。

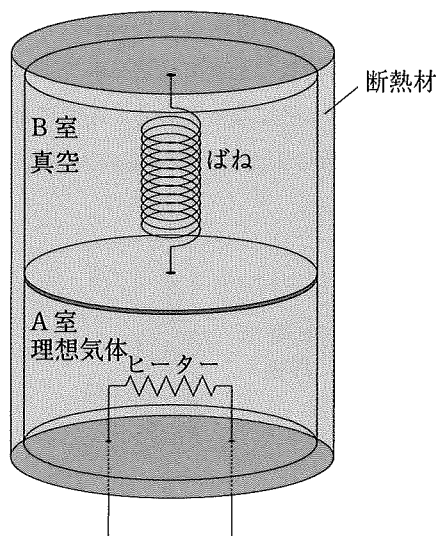


図2

問7 $P - P_1$ と $V - V_1$ の関係を示す式を導き出せ。

以下では、 $P = \frac{3}{2}P_1$ 、 $V = 2V_1$ であったとする。

問8 このときの温度は、ヒーターで温める前の温度の何倍になったか。

問9 A室の気体の内部エネルギーは、ヒーターで温める前と比べてどれだけ上昇したか、 P_1 と V_1 を用いて答えよ。

問10 A室の気体がした仕事を P_1 と V_1 を用いて答えよ。