

## 物理 問題 I

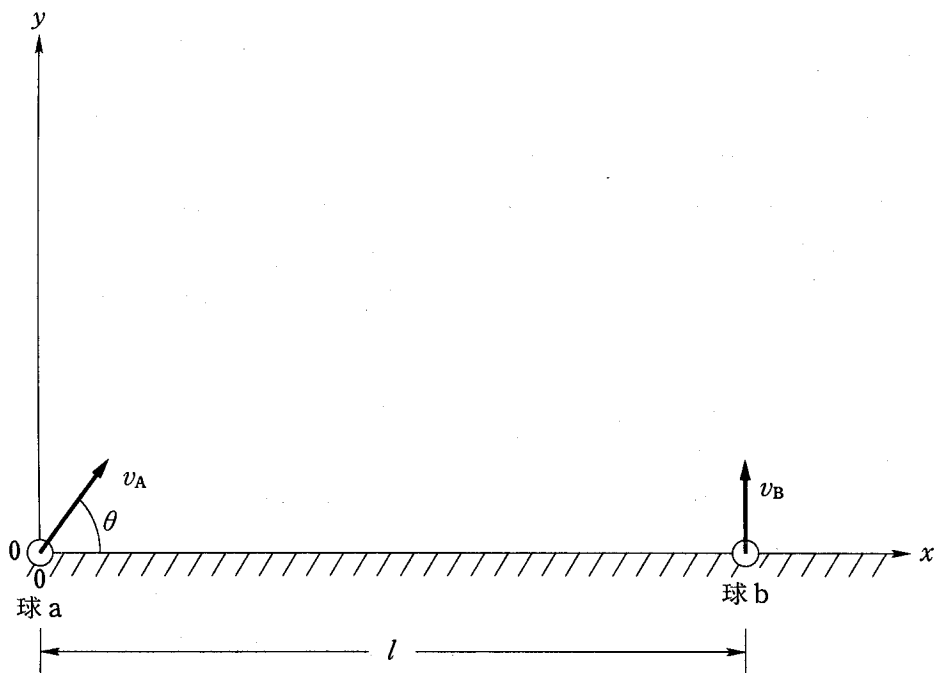
図に示すように、水平な床から球 a と球 b を同時に発射する。座標軸は図のように水平方向を  $x$ 、鉛直方向を  $y$  とする。球 a は原点から初速度  $v_A$ 、水平からの角度  $\theta$  で斜め上方に発射する。球 b は球 a から距離  $l$  だけ離れた位置から初速度  $v_B$  で鉛直上向きに発射する。球 a, b は同一面内で運動し、その質量は各々  $m_a$ ,  $m_b$  とする。球の大きさは無視でき、球同士および球と床の間の摩擦はないとする。床と球のはねかえり係数(反発係数)は 1、球同士のはねかえり係数を  $e$ 、重力加速度は鉛直下向きで  $g$  であるとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 発射後、時間  $t$  が経過したときの球 a の速度の  $x$  成分  $v_{ax}$  と  $y$  成分  $v_{ay}$  を示せ。また、そのときの球 a の座標  $x$  と  $y$  を示せ。ただし、時間  $t$  は球 a が床または球 b と衝突する以前とする。

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $v_A = 24.5 \text{ m/s}$ ,  $v_B = 19.6 \text{ m/s}$ ,  $\sin \theta = 0.8$  としたとき、球 a と球 b は衝突した。このとき、以下の問いに答えよ。

- (2)  $l = 29.4 \text{ m}$ ,  $m_a = m_b$ ,  $e = 1$  のとき、発射してから 2 つの球が衝突するまでの時間  $t$ 、および衝突地点の  $y$  座標  $y$ 、衝突直後の球 a, b 各々の速さ  $v'_a$ ,  $v'_b$  を求めよ。また、球 a, b の発射してからの軌跡の概形を、衝突後も含め与えられたグラフに描け。
- (3)  $l = 29.4 \text{ m}$ ,  $m_a = m_b$ ,  $e = 0$  のとき、衝突直後の球 a, b 各々の速さ  $v'_a$ ,  $v'_b$  を求めよ。また、球 b の発射してからの軌跡の概形を、衝突後も含め与えられたグラフに描け。
- (4)  $l = 29.4 \text{ m}$ ,  $2m_a = m_b$ ,  $e = 1$  のとき、衝突直後の球 a, b 各々の速さ  $v'_a$ ,  $v'_b$  を求めよ。また、球 a, b の発射してからの軌跡の概形を、衝突後も含め与えられたグラフに描け。

- (5)  $l = 44.1 \text{ m}$ ,  $m_a = m_b$ ,  $e = 1$  のとき, 発射してから 2 つの球が衝突するまでの時間  $t$ , および衝突地点の  $y$  座標  $y$ , 衝突直後の球 a の速さ  $v'_a$  を求めよ。また, 球 a, b の発射してからの軌跡の概形を, 衝突後も含め与えられたグラフに描け。



問題 I

|     |            |            |
|-----|------------|------------|
| (1) | $v_{ax} =$ | $v_{ay} =$ |
|     | $x =$      | $y =$      |

|     |     |          |                |
|-----|-----|----------|----------------|
| (2) | 計 算 | $t =$    | <p>球 a の軌跡</p> |
|     |     | $y =$    |                |
|     |     | $v'_a =$ | <p>球 b の軌跡</p> |
|     |     | $v'_b =$ |                |

|     |     |          |                |
|-----|-----|----------|----------------|
| (3) | 計 算 | $v'_a =$ | <p>球 b の軌跡</p> |
|     |     | $v'_b =$ |                |

|     |     |          |                |
|-----|-----|----------|----------------|
| (4) | 計 算 |          | <p>球 a の軌跡</p> |
|     |     | $v'_a =$ | <p>球 b の軌跡</p> |
|     |     | $v'_b =$ |                |

|     |     |          |                |
|-----|-----|----------|----------------|
| (5) | 計 算 |          | <p>球 a の軌跡</p> |
|     |     | $t =$    | <p>球 b の軌跡</p> |
|     |     | $y =$    |                |
|     |     | $v'_a =$ |                |

## 物理 問題Ⅱ

(A) 図1に示すように、両端にN極(+極)とS極(-極)を持つ棒磁石を分割すると、各々の両端には新たにN極とS極が生じる。この分割を繰り返すと、原子の大きさ程度のマイクロな磁石に到達する。この「原子磁石」の由来を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 図1の左端に示すような棒磁石の作る磁力線を、向きが解るように描け。ただし、棒磁石の外側の空間だけでよい。
- (2) 磁気量(磁極の強さ)が $q_m$ のN極と $-q_m$ のS極とが図2のように配置している場合を考える。磁極間の距離を $l$ としたとき $M = q_m l$ を磁気モーメントの大きさと呼ぶ。両極の中心Oと $q_m$ を通る直線上の点P(点Oからの距離は $z$ )における磁界(磁場)の大きさ $H$ が

$$H = \frac{M}{2\pi\mu_0 z^3}$$

と表せることを示せ。

ただし、磁気に関するクーロンの法則における比例定数 $k_m$ は、真空の透磁率 $\mu_0$ を用いて次のように表わされる。

$$k_m = \frac{1}{4\pi\mu_0}$$

また、 $l$ は $z$ に比べて充分小さいとして次の近似公式を用いよ。

$$\frac{1}{\left(z \pm \frac{l}{2}\right)^2} \approx \frac{1}{z^2} \left(1 \mp \frac{l}{z}\right) \quad (\text{複号同順})$$

次に、原子内の電子の運動を考えよう。電子は図3に示すような半径 $r$ の円軌道上を運動するものとする。

- (3) 電子の速さを $v$ 、電荷を $-e$ とすると、円形電流の大きさ $I$ を求めよ。
- (4) 電子の運動の方向が図3に示すようであるとき、円形電流が作る磁力線を描け。
- (5) 円軌道面の中心Oから垂直上方に $z$ だけ離れた点Pの磁界の大きさを測定したところ、次の結果を得た。ただし、 $z$ は $r$ に比べて充分大きいとする。

$$H = \frac{r^2 I}{2z^3}$$

これが、点Oに配置された図2の磁気モーメントが作る磁界と等しいとき、磁気モーメントの大きさ $M$ を $I$ を用いて表せ。

(この関係から、磁石と円形電流は等価であり、マイクロな「原子磁石」の正体は電子の回転運動であることが推測される。)

(B) 原子内の電子の描く軌道を，図4に示す点Oを中心とする半径 $r$ の円形コイルに置き換えて考える。コイルの電気抵抗は無視できるとし，はじめコイルには正味の電流は流れていないとする。コイル面に垂直に磁界を徐々に加えていくとき，以下の問いに答えよ。

- (6) 磁束密度の大きさ $B$ が $\Delta t$ の時間に $\Delta B$ だけ増加したとき，コイルに生じる誘導起電力の大きさ $V$ を求めよ。
- (7) 矢印の方向の磁界の大きさが増加していくとき，コイル上を流れる誘導電流の向きを図示せよ。
- (8) 誘導電流が作る磁界と等価な磁界を作るためには，点Oに棒磁石をどの様に配置すれば良いか図示せよ。ただし，コイルを流れる誘導電流の向きは(7)で求めた通りであるとし，点Oと磁界を測定する点との距離は，コイルおよび棒磁石の大きさに比べて充分大きいとする。

(磁界に対する誘導電流に等価な磁石の振る舞いは，ある種の原子内電子において実際に観測されている。)

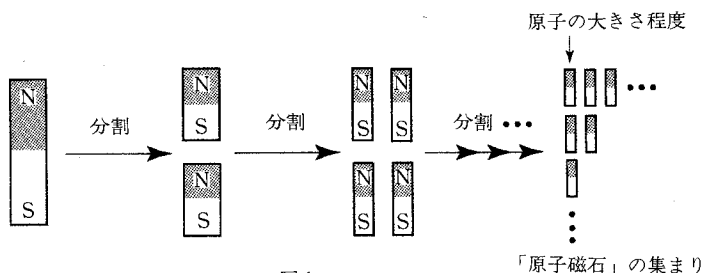


図1

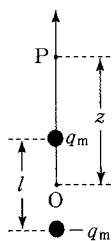


図2

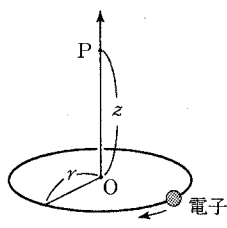


図3

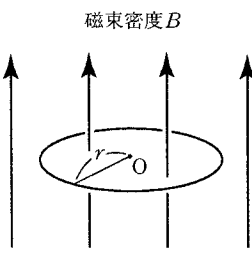


図4

問題 II

(1)



(2)

証明

(3)

計算

---

答  $I =$

(4)



(5)

計算

---

答  $M =$

(6)

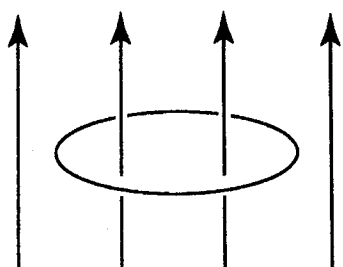
計算

---

答  $V =$

(7)

磁束密度



(8)

磁束密度

