

物 理

〔問1〕図1のように xyz 座標軸を取り、 z 軸を鉛直上向きとする。 y 軸に平行に置かれた2本の細い導体レールと、抵抗値 R の抵抗、スイッチ S 、起電力 V の電池を点 a および点 b で接続した。2本の導体レールの間隔は l である。また、質量 m の一様な細い導体棒を、 x 軸に平行に導体レールの上に乗せ、接点 c と接点 d で接触させ、閉回路 $abcd$ を作った。閉回路 $abcd$ は、 xy 平面に水平である。接点 c と接点 d での導体棒と導体レールとの静止摩擦係数は μ であり、導体棒は導体レール上をレールから落ちずに、 x 軸に平行なまま、 y 軸方向に動くことができる。また、接点 c と接点 d では、導体棒から受ける重力は各レールに均等にかかっている。回路は、 z 軸に平行で一様な磁束密度 B の磁場中にある。最初、スイッチ S は開いており、導体棒は静止していた。重力加速度の大きさを g とし、回路を構成する導体やスイッチ等の抵抗、導体棒と導体レールの接触抵抗および電池の内部抵抗等、抵抗以外の部分での電気抵抗は無視でき、回路に流れる電流が作る磁場は、一様な磁束密度 B が作る磁場に比べて無視できるとする。また、導体レールは y 軸の正の向きには無限に長く、導体棒は回転せず、導体棒が運動中の空気抵抗の影響は無視できる。次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

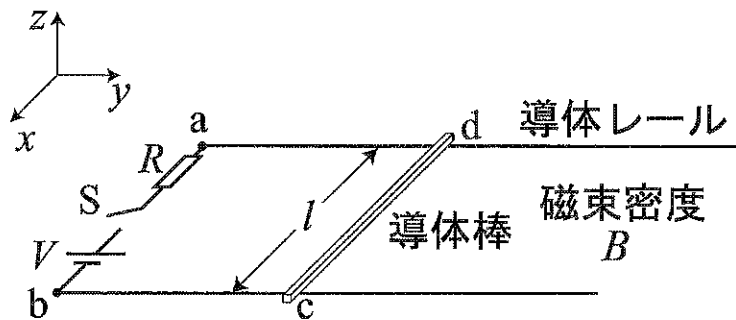


図 1

I. スイッチ S を閉じたところ、導体棒は y 軸の正の方向に動き出した。

(1) 磁場の向きはどちら向きか。次の中から番号で答えよ。また、理由も簡潔に示せ。

- ① z 軸の正の向き ② z 軸の負の向き

(2) 導体棒に電流が流れることによって、導体棒が磁場から受ける力の大きさを求めよ。

(3) 静止していた導体棒が動き出すために必要な最小の力の大きさを求めよ。

(4) 静止していた導体棒が動き出すための、抵抗値 R の条件を求めよ。

〔問1 続き〕

II. 導体棒が動き始めてから十分時間が経過した後、導体棒は一定の速さ v_0 で等速直線運動をした。以下、導体棒が等速直線運動をしているときについて答えよ。

- (5) 回路に生じる誘導起電力の大きさを求めよ。
- (6) 導体棒に流れる電流の大きさを求めよ。
- (7) 導体棒が磁場から受ける力の大きさを求めよ。
- (8) 導体棒と導体レールとの間の動摩擦係数を求めよ。
- (9) 導体棒と導体レールとの間の摩擦で失われる単位時間あたりのエネルギーを求めよ。
- (10) 抵抗値 R を持つ抵抗で単位時間あたりに生じる熱量を求めよ。
- (11) 電池の電力 P を求め、(9)で求めたエネルギーを U 、(10)で求めた熱量を Q とし、 P 、 U 、 Q の間にエネルギー保存則に従う関係があることを示せ。

〔問2〕 図2のように、質量 m の小球 A が、長さ l で質量と太さの無視できる一様な剛体棒 B の先端に固定されている。棒 B の反対側は、自由に回転することができる支点 O で支えられている。また、支点 O の直上の点 P で一端を固定されている長さ l の糸によって棒 B は固定され、糸と鉛直方向とのなす角は θ $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ である。支点 O

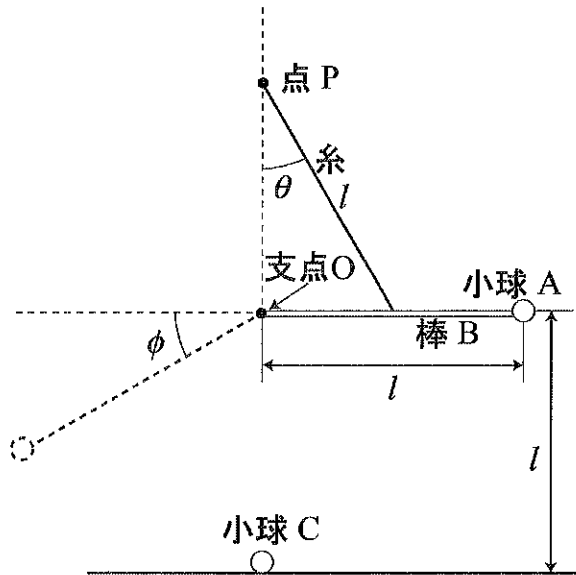


図 2

の真下には、質量 M の小球 C が距離 l 離れて水平な床の上に置かれている。重力加速度の大きさを g とし、小球や棒に働く空気抵抗や摩擦はすべて無視できるものとして、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

I. 最初、棒 B は糸で固定され、水平に静止していた。

- (1) 糸に働く張力の大きさを求めよ。
- (2) 支点 O から棒 B にはたらく力の大きさを求めよ。

II. 糸を切ったところ、小球 A は棒につながれたまま、支点 O を中心に回転運動をし、小球 A は支点 O の真下に到達した。小球 A は床にはぶつからないものとする。

- (3) 小球 A が支点 O の真下に到達したとき、小球 A の速さを求めよ。
- (4) 小球 A が支点 O の真下に到達したとき、棒 B が小球 A から受ける力の大きさを求めよ。

III. 小球 A は小球 C に衝突し、さらに棒 B と水平面とのなす角度が ϕ $\left(0 < \phi < \frac{\pi}{2}\right)$ となる

位置まで到達した後、再び降下しはじめた。

- (5) 衝突した直後の小球 C の速さを求めよ。

〔問3〕 図3のように、観測者P、振動数 f の音波を発する音源S、反射板Rが x 軸に沿って一直線上に並んで静止している。風はなく、P、S、Rは互いに十分離れている。空気中の音速を V として、次の各問いに答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

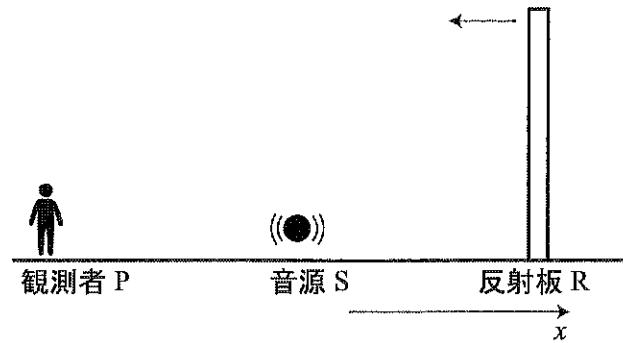


図3

I. 反射板Rが一定の速さ v_R ($v_R < V$)で x 軸の負の向きに動き出した。

- (1) 音源Sから1秒間に反射板Rに到達する音波の波の個数を求めよ。
- (2) 反射板Rによって反射された音波の振動数を求めよ。
- (3) 音源Sから直接届く音波と反射板Rで反射されてから届く音波との重なりによって生じる、観測者Pが聞くうなりの振動数を求めよ。

II. 次に、観測者Pが一定の速さで x 軸に沿って動いたところ、うなりの振動数がそれまでと比べて1.2倍になった。反射板Rは一定の速さ v_R で x 軸の負の向きに動いている。

(4) 観測者Pの動いた向きはどちら向きか。次の中から番号で答えよ。

- ① x 軸の正の向き ② x 軸の負の向き

(5) 観測者Pの速さを求めよ。

III. 最後に、観測者Pが静止し、音源Sが一定の速さで x 軸の負の向きに動いたところ、観測されたうなりの振動数が、(3)で求めた振動数に比べて半分になった。反射板Rは一定の速さ v_R で x 軸の負の向きに動いている。

(6) 音源Sの速さを求めよ。ただし、音源Sの速さは、空気中の音速 V に比べて十分小さいとする。

〔問4〕図4のように、温度が T である 1 mol の単原子分子理想気体が半径 r の球形容器に閉じ込められている。球形容器は伸び縮みする薄い弾性膜でできており、膜を引き伸ばして面積を広げるためには、膜の弾性力に逆らって仕事をする必要がある。膜の面積を ΔS だけ広げるのに必要な仕事は、 $\sigma \Delta S$ ($\sigma > 0$) で与えられるものとする。気体定数を R として、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

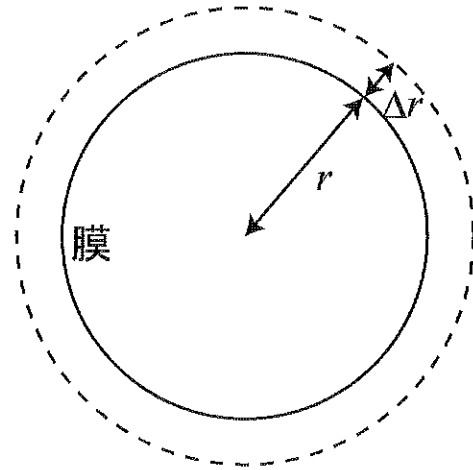


図 4

I. 球形容器の外部の圧力をわずかに変化させたところ、球形容器の半径が r から $r + \Delta r$ ($\Delta r > 0$) に変化した。ただし、 $\Delta r \ll r$ であるとする。理想気体の温度と球形容器の温度は常に等しく、ゆっくりと状態変化するものとし、理想気体だけではなく、球形容器についても熱力学第一法則が成り立っているとせよ。必要に応じて、 $x \ll 1$ で成り立つ近似式 $(1+x)^m = 1+mx$ を用いよ。

- (1) 球形容器の体積の変化量を、 Δr に比例する形で表わせ。
- (2) 球形容器内の気体がされた仕事を、 Δr に比例する形で表わせ。
- (3) 球形容器の膜の表面積が変化したことにより、膜がされた仕事を、 Δr に比例する形で表わせ。
- (4) この変化での理想気体の温度変化を ΔT 、球形容器の内部エネルギーの変化量を ΔU_c としたとき、気体と球形容器に加えられたすべての熱量を求めよ。

II. 球形容器の膜が、 $\sigma = \alpha T$ (α は正の定数) のような温度依存性を持ち、 $\Delta U_c = \beta \Delta T$ (β は正の定数) と表すことができる場合を考える。また、I. の過程は断熱変化であったとする。

- (5) $\frac{\Delta T}{T}$ を、 r 、 Δr 、 R 、 α 、 β を用いて表わせ。
- (6) 理想気体の入った球形容器を断熱膨張させた場合、全体の温度が上昇した。このとき、球形容器の半径 r が満たすべき条件を求めよ。

〔問5〕原子番号5のホウ素は、質量数10の $^{10}_5\text{B}$ と、質量数11の $^{11}_5\text{B}$ の同位体があり、原子量は10.81である。真空中で、静止した $^{10}_5\text{B}$ に中性子を衝突させて核反応を起こさせたところ、質量数4のヘリウム ^4_2He とある原子Xができた。また、図5のように、 ^4_2He は、中性子の進行方向から角度 θ の向きで観測され、原子Xは角度 φ の向きで観測された。次の各問いに答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

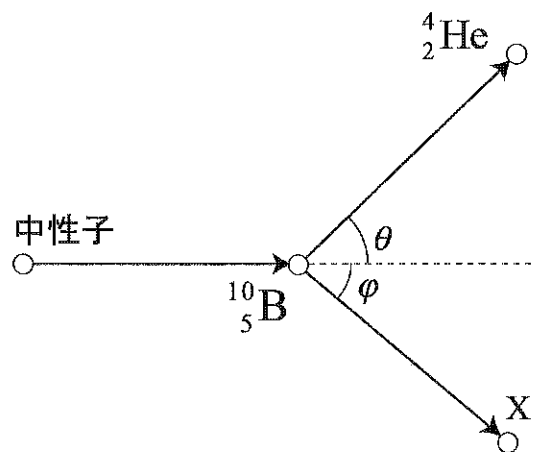


図5

- (1) $^{10}_5\text{B}$ の存在比を、有効数字2桁の百分率（パーセント）で求めよ。
- (2) 原子Xの①原子番号と②質量数をそれぞれ求めよ。
- (3) 中性子、 ^4_2He 、Xについて、それぞれの質量を m_0 、 m_1 、 m_2 、それぞれの速さを v_0 、 v_1 、 v_2 とする。この核反応において、運動量保存則が成り立つものとする。
 - ① 中性子の進行方向について、運動量保存則の式を書け。
 - ② 中性子の進行方向に垂直な方向について、運動量保存則の式を書け。
 - ③ エネルギー保存則から、この反応において生じる反応熱を求めよ。
- (4) 反応の前後における系の全質量は、それぞれ11.0216 u、11.0186 uであった。質量変化によって生じた反応熱の値を有効数字2桁で求めよ。単位はJを用いること。ただし、 $1\text{u} = 1.7 \times 10^{-27}\text{ kg}$ 、真空中の光速を $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$ とする。
- (5) $\theta = 60^\circ$ 、 $\varphi = 90^\circ$ のとき、衝突した中性子の運動エネルギーを有効数字2桁で求めよ。単位はJを用いること。また、 $^{10}_5\text{B}$ の質量は原子質量単位uで表すと10.01294 uであることから分かるように、 m_0 、 m_1 、 m_2 のそれぞれの質量比は、有効数字2桁の範囲では、質量数の比を用いて良いものとする。