

平成 24 年度
物理学科 A0 選抜 課題探求試験問題

物理学(100 点)

平成 24 年 1 月 28 日(土)9:00-11:30

注意事項

1. 指示があるまでは、問題冊子並びに解答冊子を開かないこと。
2. 問題冊子 1 部、解答冊子 1 部が配布されていることを確認すること。
3. 「はじめ」の指示があったら、解答を始める前に、まず問題冊子に表紙 1 枚と問題用紙が 3 枚(6 ページ) および白紙 1 枚、解答冊子に解答用紙が 6 枚あることを確認し、すべての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答は問題毎に所定の解答用紙に記入すること。解答に際しては最終的な答えだけでなくその答えに到る道筋も丁寧に記入すること。解答用紙の裏を用いてもよい。
5. 「おわり」の指示があったら、直ちに鉛筆を置くこと。
6. 試験終了後、解答冊子は回収するが、問題冊子は持ち帰ってよい。

問題1 (35点)

1A

A君は下図1-1の原点Oから、ボールを水平となす角度 60° で斜め上方に初速 v_0 で投げ上げた。B君は飛んできたボールを水平から 45° 傾けたラケットの面で打ち返す。以下の設問に答えよ。ただし、空気抵抗はないものとし、重力加速度の大きさを g とする。

- (1) ボールが到達する最高点の高さ h はいくらか。
- (2) ボールが頂点に達したのち、ボールの運動方向と x 軸の正方向のなす角度が 45° になる地点の座標 $P(x_1, y_1)$ を求めよ。

B君は、ラケットを一定の速さ u で x 座標の負の方向に動かした。B君がラケットを動かしている間、ラケットの面は図のように水平に対し上に向かって 45° の角度を保っていた。ラケットとボールは、(2)で求めた座標 $P(x_1, y_1)$ において衝突した。

- (3) ラケットの上から観測すると、ボールの飛ぶ向きは衝突の前後で図1-2のように変化した。衝突の直前(図1-2の①)、ボールはラケットから見て水平方向、鉛直方向にそれぞれいくらの速さで飛んでいるように見えるか。
- (4) ボールがラケットに衝突した直後(図1-2の②)、ボールはラケットから見て水平方向、鉛直方向にいくらの速さで飛んでいるように見えるか。ただし、衝突は弾性衝突とし、ラケットの質量はボールの質量に比べ十分大きいものとする。また、ラケットの表面は滑らかであるとする。
- (5) 地上から観測すると、ボールはラケットとの衝突の直後、水平方向、鉛直方向にいくらの速さで飛んでいるように見えるか。

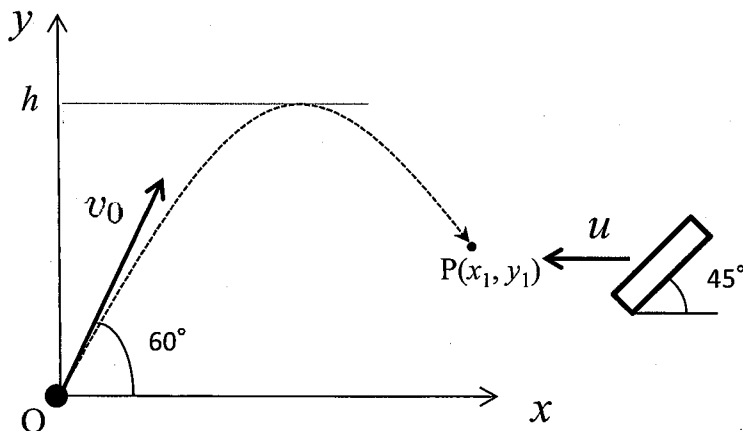


図 1-1

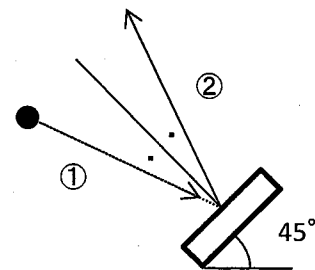
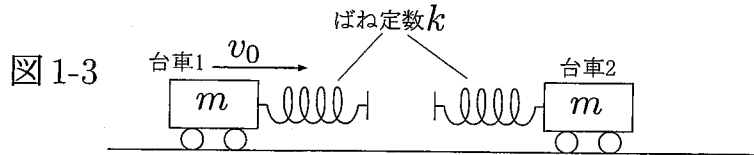


図 1-2

1 B

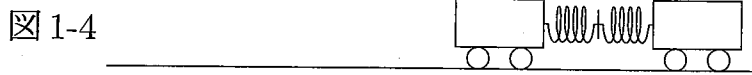
図1-3のように同じ質量 m の2つの台車1、2が床の上で摩擦のない1次元運動をしている。台車1は台車2の左側にあり、台車1の右側および台車2の左側には、先端に板のついたばねが取り付けられている。板およびばねの質量は無視できるものとする。2つのばねは同じもので、ばね定数は k である。最初、2つの台車は離れており、2つのばねの長さはともに自然長であるとする。速度の符号は右向きを正とする。

まず、台車1の初速度が $v_0 > 0$ 、台車2の初速度が0である場合を考える(図1-3)。



(1) 台車1の最初の運動エネルギーを求めよ。

台車1は台車2に近づき、やがて2つの板が接触し、2のばねは縮みはじめる。すると台車2に力が加わり、台車2が動きはじめる。その後、ばねの縮みが最大に達した(図1-4)。

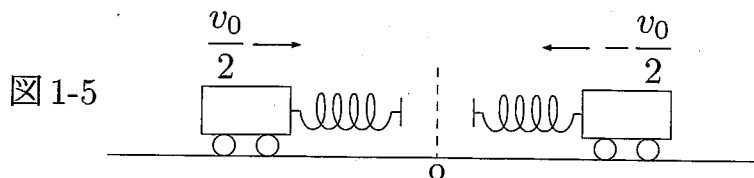


- (2) ばねの縮みが最大に達したとき、台車1と2の相対速度は0となっている。このときの台車1の速度を求めよ。
- (3) ばねの縮みが最大に達したときの台車1と2の運動エネルギーの和を求めよ。
- (4) (1)と(3)の結果から、ばねの縮みが最大に達したとき2つのばねに蓄えられているエネルギーの和を求めよ。

その後、2つのばねは伸びはじめ、それぞれのばねの長さが自然長になったとき、2つの板は離れた。

- (5) 2つの板が接してから離れるまでの過程は、台車1と2の弾性衝突と考えることができる。2つの板が離れた後の台車1と2の速度をそれぞれ求めよ。

次に台車1と2の初速度がそれぞれ $v_0/2$ 、 $-v_0/2$ の場合について、これまでと同様に衝突を考える。台車1と2の中間点(重心)は常に原点0にある(図1-5)。



- (6) 2つの板が接している間は、2つの板は原点0に固定されていると考えることができる。このことを踏まえ、2つの板が接してから離れるまでの時間を求めよ。

問題2(35点)

2A

電池が電気量 Q [C] の電荷を電位差 V [V] の間で移動させるときにする仕事は QV [J] である。このことを踏まえて図2-1の電気回路に関する以下の問いに答えよ。ただし、抵抗1と抵抗2の抵抗値を R_1, R_2 [Ω], コンデンサーの電気容量を C [F], 電池1と電池2の両極間の電位差を E_1, E_2 [V] とする。電池の内部抵抗は無視できるものとする。

- (1) 最初の状態ではスイッチ S_1, S_2 ともに開いており、コンデンサーには電荷が蓄えられていなかった。その後、スイッチ S_2 を開いたままスイッチ S_1 だけを閉じた。この直後、抵抗1を流れる電流の大きさはいくらか。

スイッチ S_1 を閉じてから十分な時間が経過した。

- (2) スwitch S_1 を閉じてから十分時間が経過するまでの間に電池1がした仕事はいくらか。
(3) 十分な時間が経過した後、コンデンサーに蓄えられているエネルギーはいくらか。
(4) 電池がした仕事とコンデンサーに蓄えられているエネルギーの差は、抵抗で発生する熱として消費されたと考えられる。このことを踏まえ、スイッチ S_1 を閉じてから十分な時間が経過するまでの間に抵抗1が消費したエネルギーはいくらか答えよ。

S_1 を閉じて十分な時間が経過した後 S_1 を開き、その後 S_2 だけを閉じる。再び十分な時間が経過した。

- (5) スwitch S_2 を閉じてから十分な時間が経過した後コンデンサーに蓄えられているエネルギーはいくらか。
(6) スwitch S_2 を閉じてから十分な時間が経過するまでの間に電池2がした仕事と抵抗2で消費されたエネルギーはそれぞれいくらか。

次に、コンデンサーを完全に放電し、電気量を再び0に戻す。その後、スイッチ S_1 と S_2 を同時に閉じた。

- (7) 十分な時間が経過すると、コンデンサーにはこれ以上電荷が流れ込まなくなる。このことを踏まえ、十分な時間が経過したのち抵抗1と抵抗2を流れる電流がそれぞれいくらか答えよ。
(8) 十分な時間が経過したのち、コンデンサーに蓄えられている電気量はいくらか。

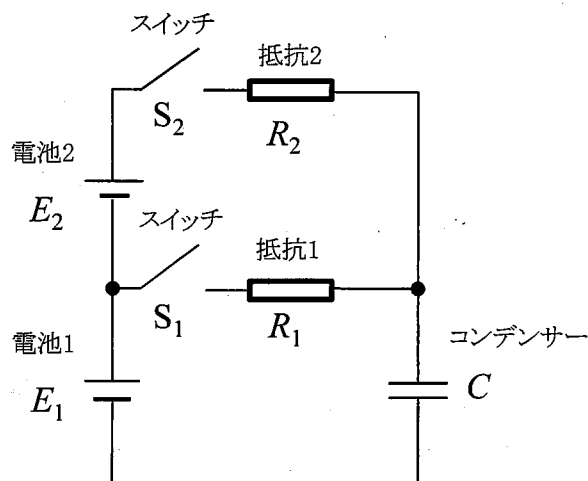


図 2-1

2B

以下は、真空中の問題であり、重力の影響は無視できるものとする。図 2-2 の楕円で示した領域 S 内には、磁束密度の大きさが B で方向が紙面に垂直な磁界が一様に存在し、それ以外の領域では磁界は存在しないものとする。

いま、質量が m で正の電荷 q をもつ荷電粒子が電圧 V で加速され、初速 0 から v の速さになった。その後、この粒子が図の紙面内を直進し、磁界領域内を通過する間に磁界から力を受けて軌道 APB を描き、磁界領域外に出たのち再び直進した。軌道 APB は点 C を中心とする半径 R 、長さ l の円弧であり、粒子の速さ v はこの運動中は常に一定であった。次の各設問に答えよ。

- (1) 軌道 APB を描く間に荷電粒子が磁界から受ける力は何と呼ばれるか。
また、その力の方向を、解答用紙の図中に、点 P を始点として矢印で示せ。
- (2) 磁界領域 S 内に存在する磁界の方向は、紙面を貫き、上向き方向かそれとも下向き方向か。
- (3) この荷電粒子は軌道 APB を通過する間にどれだけの仕事をされたか。
- (4) 軌道 APB 上において、この粒子が磁界から受ける力の大きさを q 、 v 、 B を用いて表せ。
- (5) 軌道 APB 上を円運動している荷電粒子にはたらく向心力の大きさを m 、 v 、 R を用いて表せ。
- (6) 軌道 APB の半径 R を m 、 v 、 q 、 B を用いて表せ。
- (7) 電圧 V によって加速された荷電粒子の速さ v を q 、 m 、 V を用いて表せ。
- (8) 軌道 APB の半径 R を q 、 m 、 B 、 V を用いて表せ。

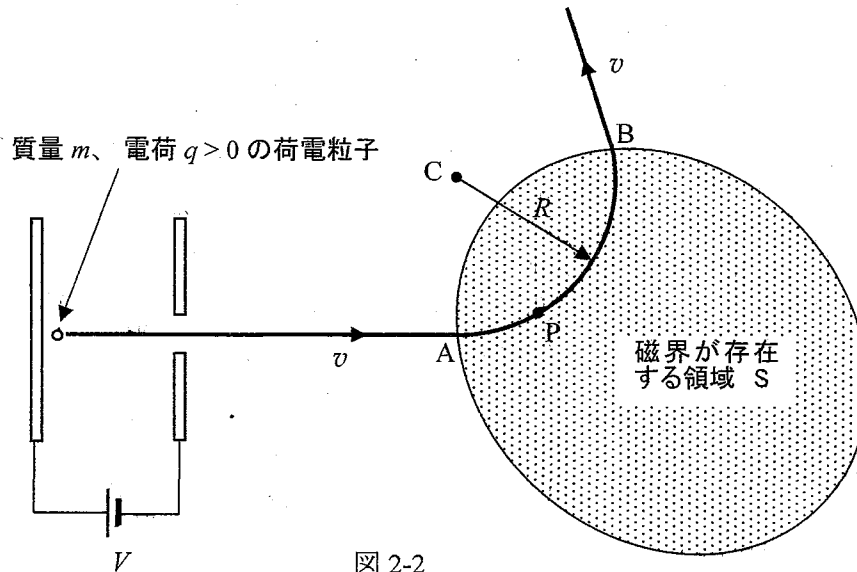


図 2-2

問題3 (30点)

3A

図3-1のように、振動数 f_0 の小さな音源が、水平面内をゆっくりとした速さ u で半径 a の等速円運動をしている。その半径に比べ十分大きな距離だけ離れた同じ水平面内で音の振動数を測定した結果、最大値 f' と最小値 f'' の間を周期 T で周期的に変化していた。次の各設問に答えよ。ただし、空気中の音速を V とする。

- (1) f' と f'' を f_0 、 V 、 u を用いて表わせ。
- (2) $\frac{u}{V}$ および f_0 を f' と f'' を用いて表わせ。
- (3) 半径 a を u 、 T で表わせ。
- (4) 測定点における音の振動数 f の時間的変化を表わす式を、時刻 t 、および f_0 、 V 、 u 、 a を用いて表わせ。ただし、音源から測定点まで音が到達する際に要する時間は無視できるものとする。また、音源が測定点から最も離れたときを時間の原点とする。

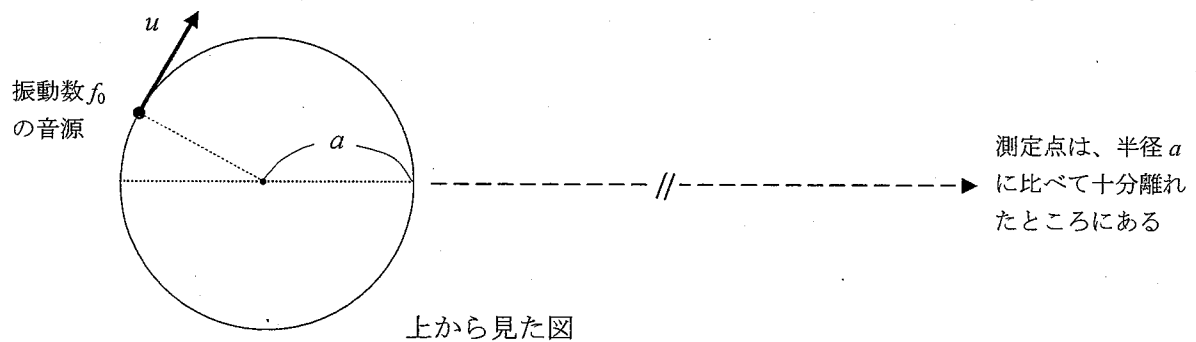


図3-1

3B

図3-2のように、一辺が L [m] の立方体容器に理想気体分子が1モル入っている。分子1個の質量を m [kg] とする。立方体の辺と平行に x 、 y 、 z 軸を定義し、分子の速さを v 、それぞれの軸方向の速度成分を、 v_x 、 v_y 、 v_z とする (関係式 $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ が成り立つ)。各分子はさまざまな速度ベクトルをもっているが、 v_x^2 の全分子についての平均値を v_a^2 [m^2/s^2] とする (v_a^2 の平方根は v_a [m/s] である)。同様に v_y^2 、 v_z^2 の平均値もそれぞれ同じ v_a^2 であるものとする。分子と容器壁面の衝突は弾性衝突であるとし、分子どうしの衝突は起こらないものとする。断りのない限り答えは L 、 m 、 v_a 、およびアボガドロ数 N_A の中から必要なものを用いて表せ (v 、 v_x 、 v_y 、 v_z は使用してはならない)。

- (1) 分子1個の運動エネルギーの平均値を求めよ。
- (2) 気体の内部エネルギーを求めよ。

次に速度の x 成分の大きさが v_a である分子 a を考える。また x 軸に垂直な、立方体の1つの面を A とする。

- (3) 分子 a が面 A に衝突する1秒あたりの回数を求めよ。
- (4) 分子 a が1回の衝突で面 A に与える力積を求めよ。
- (5) 分子 a は繰り返し面 A に衝突することで、面 A に一定の力を与え続けていると考えることができる。この力の大きさを求めよ。

再び、気体全体について考える。

- (6) (5) で得られた力は1分子が面 A に与える力の平均値と考えてもよい。全分子が面 A に与える力の合計を求めよ。
- (7) 気体全体が面 A におよぼす圧力を求めよ。
- (8) 面 A はピストンのように動かすことができ、面 A を押して気体を圧縮したところ気体の温度が増加した。このとき温度が増加する理由を、上の理想気体分子と容器壁面の弾性衝突というモデルを使って文章で簡潔に説明せよ。

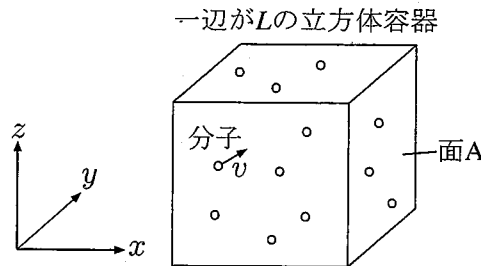


図3-2