

平成28年度
物理学科AO選抜課題探求試験問題
物理学（100点）
平成28年1月30日（土） 9：00～11：30

注意事項

1. 指示があるまでは、問題冊子なら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、問題冊子の表紙に続いて問題が7ページ分、解答冊子に解答用紙が6枚あることを確認し、全ての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答は問題ごと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、その答えに至る筋道もていねいに記入すること。
5. 「おわり」の指示があったら、ただ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

図 1-1 に示すように、質量 m_1 の物体 1 および質量 $m_2 (> m_1)$ の物体 2 が重さの無視できる十分に長いバネでつながれ、水平な床に置かれて静止している。それぞれの物体は十分に高いなめらかな壁に囲まれており、傾くことなく鉛直方向にのみ動くことができる。バネ定数を k 、重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。

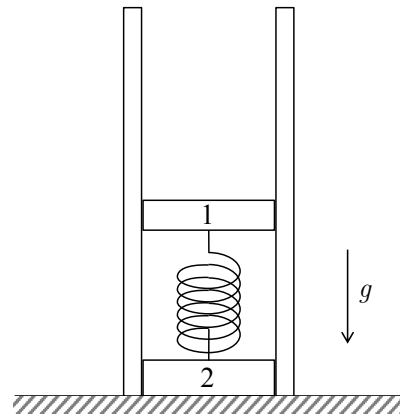


図 1-1

- (1) 静止した状態ではバネは自然長から d_1 縮んでいる。 d_1 を k, m_1, g を用いて表せ。
- (2) 静止した状態から、バネの自然長からの伸びが $\frac{1}{2}d_1$ となるまで手でゆっくりと物体 1 を持ち上げた。このとき、手がした仕事を k, m_1, g, d_1 の中から必要なものを用いて表せ。

物体 1 を上から押してバネを自然長から $d_2 (> d_1)$ 縮めたのち静かにはなすと、物体 1 は振動する。

- (3) d_2 がある値より大きいと、振動の際に物体 2 は床から離れる。このような d_2 の条件を k, m_1, m_2, g を用いて示せ。
- (4) d_2 が (3) で求めた値以下であれば、物体 1 は単振動を行う。この単振動について、時刻 t を横軸に、物体 1 の高さ y を縦軸に取り、グラフに表せ。ただし、はなした瞬間の時刻を $t = 0$ 、高さを $y = 0$ とし、振幅 A は d_1, d_2 を、周期 T は m_1, k を用いてグラフ中に示せ。

1B

水平な床から高さ l の点 O と質量 m_A の物体 A とが、長さ l の軽い糸で結ばれている。図 1-2 に示すように、点 O から水平方向に l 離れた位置 P から物体 A に鉛直下向きに初速 v_0 を与え、点 O の真下の地点 Q に静止している質量 m_B の物体 B と正面衝突させた。物体 A と B の間の反発係数を e として、以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさは g 、床との摩擦および物体 A, B の大きさは無視できるとし、その運動はすべて紙面内に留まるとする。

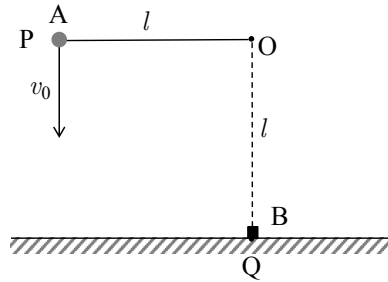


図 1-2

- (1) B と衝突する直前の物体 A の速度の水平成分 v_1 を、 v_0, g, l を用いて表せ。ただし、右向きを正とする。
- (2) 衝突直後の物体 A, B それぞれの速度の水平成分 v_A, v_B を、 v_1, m_A, m_B, e を用いて表せ。ただし、右向きを正とする。

図 1-3 に示すように、衝突後、物体 A は左方向へはね返り、図の位置 S まで糸がたるむことなく移動した。その瞬間に糸は点 O から放され、物体 A は水平方向に速さ v_2 で投げ出された。その後、ちょうど物体 A が地点 R に落下した時に物体 A と物体 B は衝突をした。

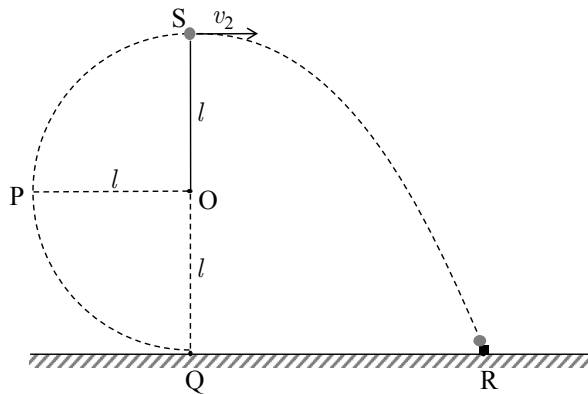


図 1-3

- (3) 糸がたるまずに物体 A が位置 S に到達するために、 v_A が満たすべき条件を g, l を用いて示せ。
- (4) 物体 A が位置 S から地点 R に到達するまでの時間 t を g, l を用いて表せ。
- (5) 最初の衝突後、物体 A が地点 Q から位置 S に移動するまでにかかった時間を v_2, v_B, t を用いて表せ。

問題 2 (35 点)

2A

図 2-1 のような抵抗値 R_1 の抵抗、静電容量 C_1 、 C_2 のコンデンサー、起電力 V_1 、 V_2 の電池、スイッチ SW_1 で構成される回路を考える。スイッチ SW_1 を閉じてしばらくすると、B を基準とした A の電位が V となった。スイッチを閉じる前はどのコンデンサーにも電荷は蓄えられていなかったものとして、以下の問いに答えよ。

- (1) コンデンサーの電池側の極板に蓄えられた電荷をそれぞれ Q_1 、 Q_2 とする。 Q_1 と Q_2 の関係を答えよ。
- (2) A の電位 V を C_1 、 C_2 、 V_1 、 V_2 で表せ。

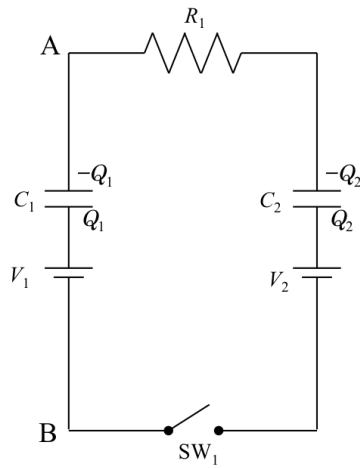


図 2-1

次に、図 2-2 のように $n-1$ 個の抵抗、 n 個のコンデンサー、 n 個の電池、 $n-1$ 個のスイッチで構成される回路を考える。ただし R_i 、 C_i 、 V_i 、 SW_i は左から i 番目の抵抗値、コンデンサーの静電容量、電池の起電力、スイッチとする。全てのスイッチを閉じてしばらくすると、B を基準とした A の電位が V となった。スイッチを閉じる前はどのコンデンサーにも電荷は蓄えられていなかったものとして、以下の問いに答えよ。

- (3) A の電位 V を C_i 、 V_i ($i = 1 \sim n$) を用いて表せ。
- (4) 全てのコンデンサーに蓄えられている電気的エネルギーの総和を U とする。 U を C_i 、 V_i ($i = 1 \sim n$) を用いて表せ。
- (5) 電池がした仕事の総和を W とする。 $W = 2U$ となることを示せ。また、この差がなぜ生じたかを説明せよ。

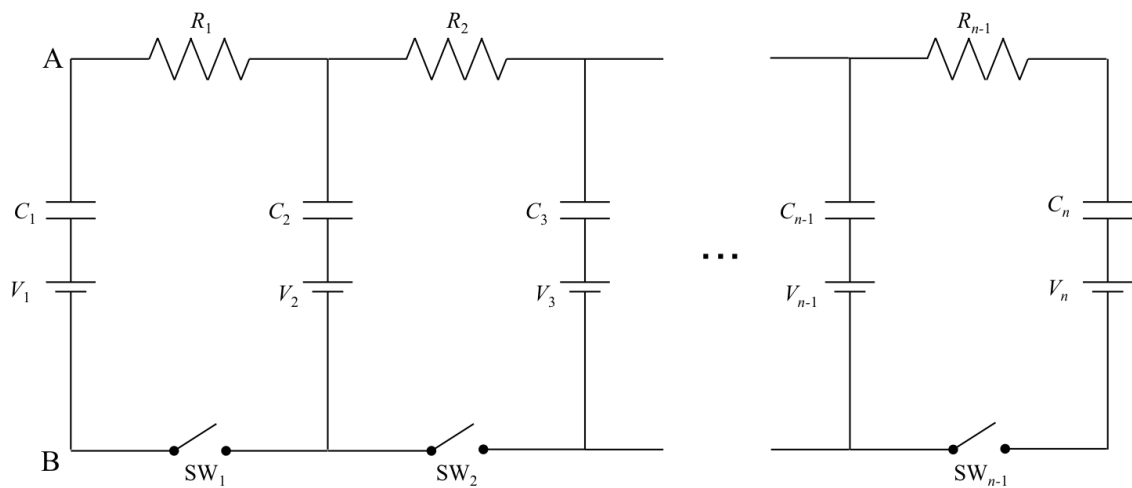


図 2-2

2B

図 2-3 のように電気抵抗 R の凸型のコイル ABCDEFGH が乗った台車の x 軸方向の運動を考える。コイルの辺 AB、BC、CD、DE、EF、FG、GH の長さは a 、辺 AH の長さは $3a$ である。辺 AH、DE は x 軸に垂直である。コイルは紙面に平行であり、全ての頂点の角度は直角である。いま、台車が $x < 0$ の領域で右向きに速さ v_0 で等速運動しており、 $x \geq 0$ の領域には磁束密度 B の一様な磁界が紙面の裏から表へ向かう向きにかけられている。コイルの自己インダクタンスは無視でき、台車は磁場の影響を受けないものとして、以下の問いに答えよ。

(1) 辺 DE が $x \geq 0$ の領域に入った後、電流はどちら向きに流れるか。また、外力を加えない場合、台車は減速するか、加速するか。

(2) 仮に磁場の向きが反対であったとしたら、(1) の答えはそれぞれどうなるか？

つぎに、台車に力を加えて、辺 DE が $x \geq 0$ の領域に入った後も速さ v_0 で等速運動させた。

(3) 辺 DE の位置を x として、電流の大きさ I をグラフに示せ。ただし、電流値をグラフ中に具体的に示すこと。

(4) コイルを図 2-4 のような向きに載せて同様の運動を行なわせた。辺 GH の位置を x として、電流の大きさ I をグラフに示せ。ただし、電流値をグラフ中に具体的に示すこと。

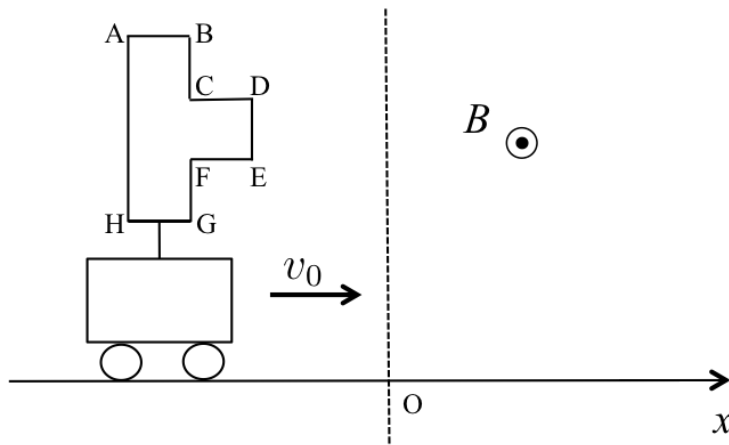


図 2-3

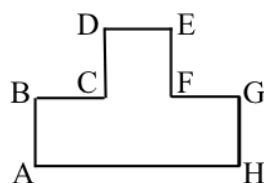


図 2-4

問題 3 (30 点)

3A

図 3-1 のように、圧力 P_0 の単原子分子理想気体が液体と接している。気体および液体の絶対温度はともに T である。下の面が開いた体積 V_0 の直方体の容器をゆっくりと液体中に沈めたところ、容器の中の気体は図のように変化し、容器の中の界面と外の液面との距離が h となった。以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g 、液体の密度を ρ とし、液体の蒸発は無視してよい。

- (1) 深さ h での液体の圧力 P_h を求めよ。また P_h と容器の中の気体の圧力 P の関係を述べよ。
- (2) 熱をよく伝える容器を用いた場合、沈めた後も容器内の気体の温度は T のままであった。このときの気体の体積 V を h , T , P_0 , V_0 , ρ , g から必要なものを用いて表せ。
- (3) 熱を通さない容器を用いた場合、沈める際に容器内の気体から熱が逃げることはなかった。このときの気体の体積 V' と (2) の V との大小関係を示せ。またそうなる理由を説明せよ。(断熱過程におけるポアソンの式 ($PV^{5/3} = \text{一定}$) を用いてはならない。)

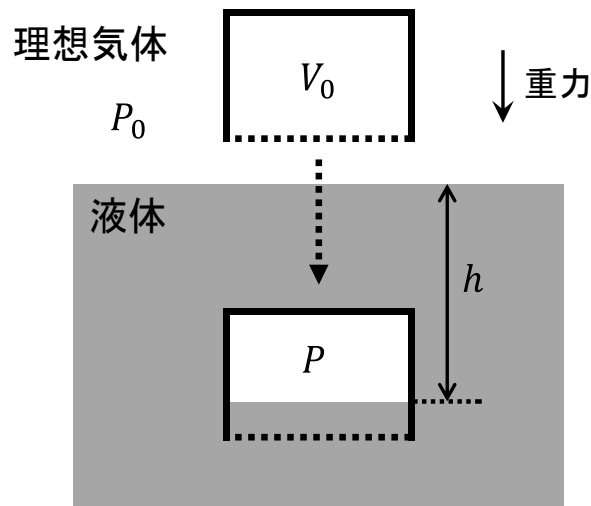


図 3-1

3B

下記 (ア) から (オ) のうち、単原子分子の理想気体に当てはまらないものを全て書け。

- (ア) 内部エネルギーには、分子の重心運動によるエネルギーと回転運動によるエネルギーの両方の寄与がある。
- (イ) 気体が真空中に膨張する場合、温度は変化しない。
- (ウ) 温度一定のもとで圧力を 5 倍にしたところ、体積が 0.2 倍になった。
- (エ) 圧力一定のもとで温度 300K の気体を絶対零度まで冷却したところ、体積が 300 分の 1 になった。
- (オ) 温度一定のもとで気体を圧縮すると圧力が増加するが、これには分子同士の衝突も影響している。

3C

図 3-2 のように弦の一端 A を固定された発振器につなぎ、他端 B に右向きの力 F を加える。発振器は任意の振動数の横波を弦に発生させることができる。ただし A、B は固定端とみなしてよい。弦の長さは l 、線密度は ρ である。弦の張力が S のとき、波の速さは $v = \sqrt{S/\rho}$ で表される。

- (1) 弦が共振する波長 λ を自然数 m を用いて表せ。
- (2) 一定の力 F のもとで振動数 f を 0 から徐々に増加させたところ、 $f = f_a$ で弦は初めて共振した。この f_a を l, F, ρ, m から必要なものを用いて表せ。
- (3) 一定の振動数 f のもとで力 F を 0 から徐々に増加させたところ、 $F > F_a$ では弦は共振しなかった。共振が生じる最大の力 F_a を l, f, ρ, m から必要なものを用いて表せ。
- (4) 次に弦を自然長 l 、そのときの線密度が ρ であるゴムひもに変えた。(2) と同じ力 F のもとで振動数を 0 から徐々に増加させたところ、 $f = f_b$ で初めて共振した。 f_a と f_b の比を計算し、その大小関係を示せ。ただし力 F におけるゴムひもの伸びを x とし、かつ振動による伸びは無視する。またゴムひもの張力および伸びは一樣であるとする。

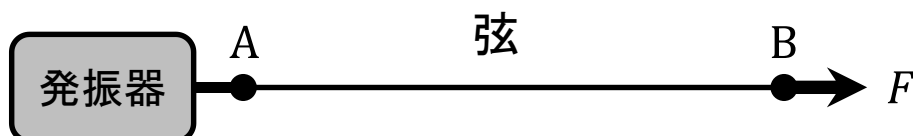


図 3-2