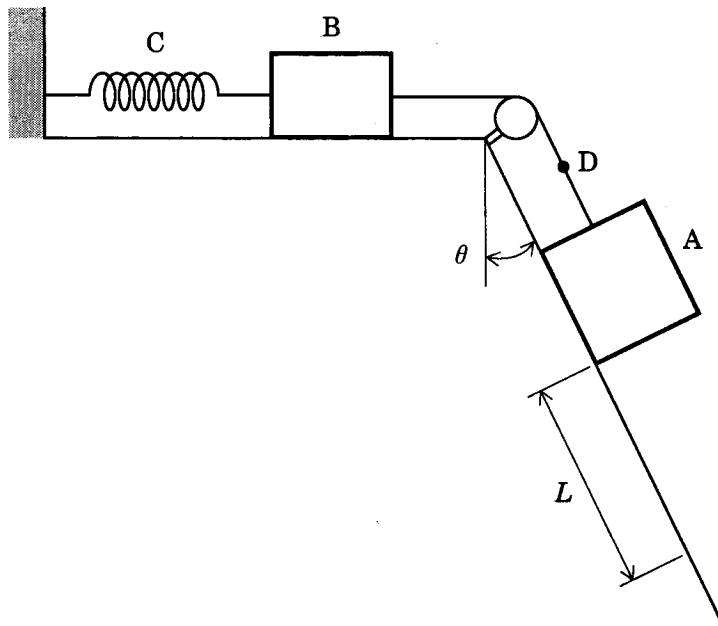


# 物 理

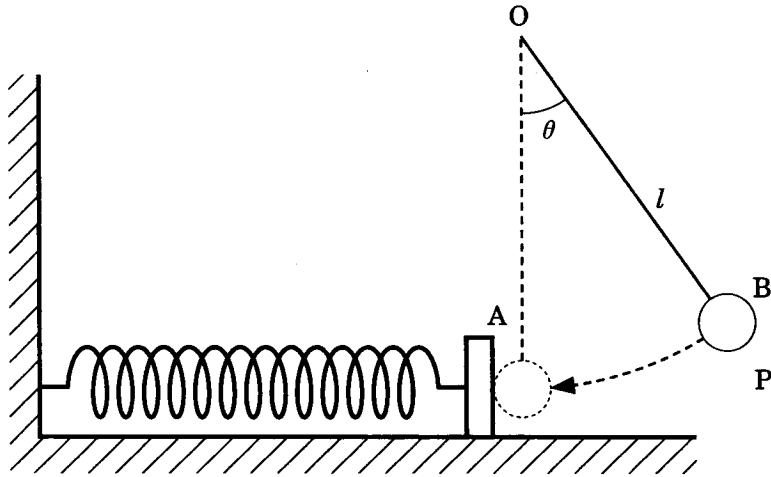
1 図のように、なめらかな斜面上の物体A(質量  $M$ )となめらかな水平面上の物体B(質量  $m$ )が滑車を介して糸でつながれ、さらに物体Bは左端の壁面に軽いばねC(ばね定数  $k$ )でつながれて静止していた。いま、糸がD点で切れて、物体Aは斜面上を一定の加速度ですべり降り、物体Bは左方向へ運動した。そのとき、次の各問に答えよ。ただし、斜面と鉛直とのなす角を  $\theta$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とし、滑車の摩擦は無視できるものとする。

- (1) 静止時の糸の張力の大きさ  $T$  はいくらか。
- (2) 静止時のばねCの伸び  $x$  はいくらか。
- (3) 物体Aが斜面上をすべり降りたときの加速度  $a_1$  の大きさはいくらか。
- (4) 物体Aの先端が図の長さ  $L$  の区間を通過するのに要した時間  $t$  はいくらか。
- (5) 物体Bが左方向へ動き始めたときの加速度  $a_2$  の大きさはいくらか。
- (6) 物体Bが左方向へ運動中、ばねCが自然の長さになったときの物体Bの速さ  $v$  はいくらか。



2

図のように、なめらかな水平面上にばね定数  $k$  のばねを置き、その左端は固定し、右端には質量  $m$  の小さな物体 A をつける。一方、長さ  $l$  の糸に、同じ質量  $m$  の小物体 B をつけ、糸の他端を一点 O に固定する。糸をゆるめることなく、糸が鉛直線と小さな角度  $\theta$  をなすように、物体 B を保って、静かに点 P より離れたところ、物体 B は O 点の鉛直下方で静止していた物体 A と速さ  $v$  で衝突した。次の各問に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを  $g$ 、物体 B と A との衝突は、完全弾性衝突、また、糸とばねの質量は無視できるものとする。



- (1) 物体 B を静かに離れた時の  $\cos\theta$  の値を求めよ。
- (2) 物体 B が A と衝突する直前の糸の張力はいくらか。
- (3) 衝突直後の A の速さはいくらか、また、B の速さはいくらか。
- (4) 衝突後、ばねの縮みは最大いくらになるか。
- (5) 再び、ばねが伸びて物体 A が B と衝突し、B は最初の状態に戻り、それ以後、この運動を繰り返す。この場合の繰り返し周期はいくらか。

3

水と氷に関する実験を室温  $25^{\circ}\text{C}$  で行った。次の各問に答えよ。

ただし、水の比熱を  $4.20\text{ J/g}\cdot\text{K}$ 、氷の融解熱を  $335\text{ J/g}$  とする。

- (1) 断熱容器(カップラーメンの容器)に入れた  $40.0^{\circ}\text{C}$  の水  $80.0\text{ g}$  に、 $0^{\circ}\text{C}$  の水  $30.0\text{ g}$  を加え、ふたをしてかき混ぜた。混合後の水温 [ $^{\circ}\text{C}$ ] を、計算式を示して求めよ。
- (2) 断熱容器(カップラーメンの容器)に入れた  $40.0^{\circ}\text{C}$  の水  $80.0\text{ g}$  に、 $0^{\circ}\text{C}$  の氷  $30.0\text{ g}$  を加え、ふたをしてかき混ぜ、氷をすべてとかけた。このときの水温 [ $^{\circ}\text{C}$ ] を、計算式を示して求めよ。
- (3) (1)および(2)の結果を比較して、何がいえるか、具体的に述べよ。
- (4) 断熱容器(カップラーメンの容器)にふたをしないで、(2)の実験を行った。氷を加える前の水温を温度計で測定したあと、すぐに氷を加え、ガラス棒でかき混ぜ続けながら、水温を15分間測定した。氷は加えて2分後にすべてとけた。水温の大まかな時間変化を、縦軸に温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]、横軸に時間 [分] を目盛ったグラフに示せ。その上で、水温の時間変化の原因について説明を試みよ。
- (5) 断熱容器(カップラーメンの容器)と氷のみを使って、 $0^{\circ}\text{C}$  の水および  $0^{\circ}\text{C}$  の氷を得る方法を示し、その原理を述べよ。

4 上部にバルブを有する球形の圧力容器がある。大気圧  $p_0$  [Pa] のもとでバルブを閉めて、温度  $T_0$  [K] の理想気体とみなせる空気を閉じ込めた後、バルブの先にパイプを介してシリンダーを取り付け、図1のような装置を作った。パイプは非常に細く内部の容積は無視できるものとし、シリンダーにはなめらかに動くピストンが押し込まれているものとする。圧力容器の内容積は  $V_0$  [m<sup>3</sup>]、シリンダー内部の断面積は  $S$  [m<sup>2</sup>]、ピストン部の質量は  $M$  [kg] である。図1の装置のバルブを開け、設定温度  $T_1$  [K] に保つことができる恒温容器の中に、大気圧のもとで装置を入れた(図2)。この実験に関する次の各問に答えよ。ただし装置の変形はないものとし、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

(1) 次の文中の  の中に当てはまる語句  1 および式  2 を入れよ。

「装置内の気体の内部エネルギーの増加量  $\Delta U$  [J] は、 1 法則により、気体に与えた熱量  $Q$  [J] と気体が外部にした仕事  $W$  [J] を用いて、 2 と表せる。」

(2) 次の文中の  の中に当てはまる式  a、 c および語句  b を入れよ。

「ピストンがゆっくり上昇するとき、装置内の気体の圧力は  $p_0 +$   a [Pa] である。その後しばらくしてピストンが停止したときの上昇量を  $h$  [m] とすると、 b の法則により、 $\frac{p_0 V_0}{T_0} =$   c が成り立つ。」

(3)  $h$  を求めよ。

(4) ピストンが上昇するには  $T_1$  を何 K 以上に設定すればよいか。

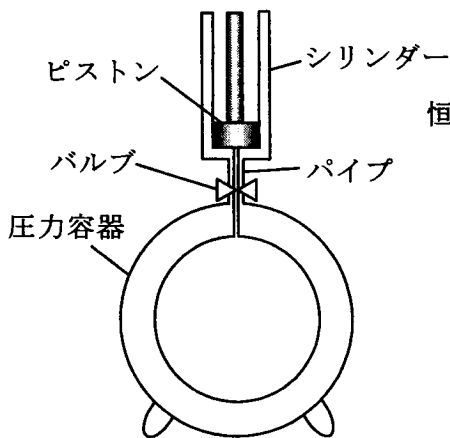


図1

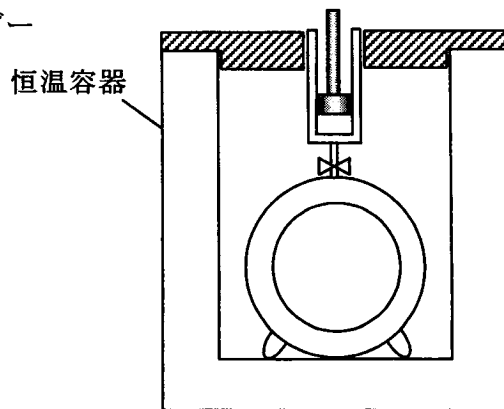


図2

5

(1) 速さ  $V$  [m/s], 周期  $T$  [s] の音波を出しながら, 速さ  $u$  [m/s] で音源が進むとき, 次の各問に答えよ。

① 音源が出す音波の波長はいくらか。また振動数はいくらか。

② 次の文中の  の中に当てはまる式を入れよ。

時刻  $t_0$  に点 A から音源の進行方向に出る 1 波長分の音波を考えよう。1 波長分の音波の先端は, 音源から出て 1 周期後の  $t_0 + T$  の時刻には, 先端が出た点 A より  1  [m] だけ先の位置にある。一方この  $t_0 + T$  の時刻には 1 波長の後端が音源から出るが, このとき音源は点 A より  2  [m] だけ先の位置にある。したがって進行方向前方に出る音波の波長は  3  [m] となる。この音波を静止している観測者が受け取るとき, 音の速さは音源から出た速さと変わらないので,  3  [m] の波長の波を観測者は  4  [s] 間で聞くことになり, したがって観測者が聞く音波の振動数は音源から出た音波の  5  倍となる。観測者が音源に向かって速さ  $v$  [m/s] で進むときには, 音源からの音波を相対速度  6  [m/s] で受けることになり,  3  [m] の波長の波を観測者は  7  [s] 間で聞くことになる。したがって観測者が聞く音波の振動数は音源から出た音波の  8  倍となる。

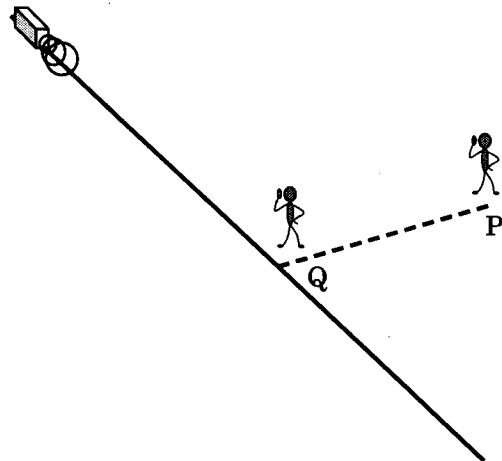
(2) 同じ速さ 30 m/s をもつ電車が正面どうしにすれ違うとき, 一方の電車が警笛を鳴らした。もう一方の電車の中でその警笛を聞くとき, すれ違った後の振動数はすれ違う前の振動数の何倍になるか。ただし音の速さを 340 m/s とする。

(3) 図に示すように, 音源が直線上を通過するとき, 観測者の聞く音波の振動数はどのように変化するか。

A: 音源が通過する直線のごく  
近くの点 Q

B: 点 Q から直線と直角方向  
に離れた点 P

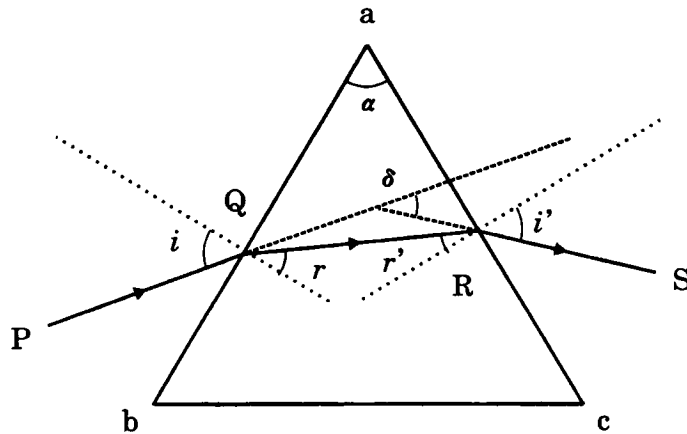
で聞くときの二つの場合について, 振動数の変化を, 横軸を時刻, 縦軸を振動数とする同じグラフ上に描け。ただし時刻の原点は, 点 Q を音源が通過する時刻とする。



6

次の各問に答えよ。

- (1) 光がプリズムの面に入射するとき、一般には2回の屈折を経て外に出る。下図において $\alpha$ をプリズムの頂角といい、また入射光PQと透過光RSのなす角 $\delta$ を偏角という。ab面およびac面に対する光の入射角・屈折角を下図のようにそれぞれ $i, r$ および $r', i'$ とする。



- ① 偏角 $\delta$ を $i, i', r, r'$ を用いて表せ。
  - ② 偏角 $\delta$ を $i, i', \alpha$ を用いて表せ。
  - ③  $\delta$ は、PQとRSがそれぞれab面・ac面に対し等しく傾いているとき最小になることが知られている。このときの $i, r$ の値を $i_0, r_0$ 、最小偏角を $\delta_0$ とする。プリズムの外側にある媒質の絶対屈折率が1であるとき、プリズム形透明体の絶対屈折率 $n$ を $\delta_0, \alpha$ を用いて表せ。
- (2) 絶対屈折率 $n_1$ の透明な媒質1と、絶対屈折率 $n_2$ の透明な媒質2の境界面に媒質1側から入射角 $\theta_1$ で光が入射する場合を考える。光をある臨界的な角度より大きな角度で入射させると、全反射が起こる場合がある。全反射が起こる場合の条件を述べよ。

7 図1のように起電力  $V$  [V] の電池，電気容量  $C$  [F] の平行板コンデンサーおよびスイッチを直列接続した回路を考える。平行板コンデンサーの極板は一辺  $l$  [m] の正方形，極板間距離は  $l$  に比べて十分小さいものとして，次の各問に答えよ。

- (1) スイッチを閉じ，十分時間が経過した後，再びスイッチを開いた。コンデンサーに蓄えられた電気量，および静電エネルギーを求めよ。
- (2) 次に，スイッチを開いたまま，コンデンサーに比誘電率  $\epsilon_r$  [F/m] の誘電体をすき間なく挿入していく。 $\Delta l$  [m] だけ誘電体を挿入したときの静電エネルギーを以下の順にしたがって求めよ。ただし， $\epsilon_r > 1$  および  $0 \leq \Delta l \leq l$  とする。
  - ① 誘電体が挿入されていない部分(A)と，挿入されている部分(B)に分けて考える(図2)。A，Bのそれぞれの電気容量  $C_A$  [F]， $C_B$  [F] を  $l$ ， $\Delta l$ ， $C$ ， $\epsilon_r$  を用いて表せ。
  - ② A，Bに蓄えられている電気量をそれぞれ  $Q_A$  [C]， $Q_B$  [C] とする。 $Q_A$  と  $Q_B$  に関して成り立つ連立方程式を  $Q_A$ ， $Q_B$ ， $C_A$ ， $C_B$ ， $C$ ， $V$  を用いて表せ。
  - ③  $\Delta l$  [m] だけ誘電体を挿入したときの静電エネルギーを  $l$ ， $\Delta l$ ， $\epsilon_r$ ， $C$ ， $V$  を用いて表せ。
- (3) (2)で誘電体を挿入するときに働くのは引力か，斥力か。(1)および(2)の③の答えを用いて説明せよ。
- (4) 誘電体ですき間なくコンデンサーを満たした後，スイッチを閉じた。十分時間が経過した後，再びスイッチを開いた。コンデンサーの電荷の変化量を求めよ。

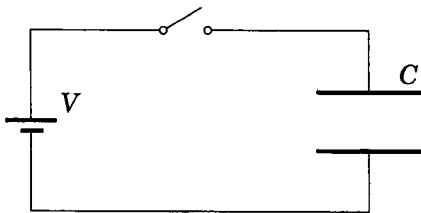


図1

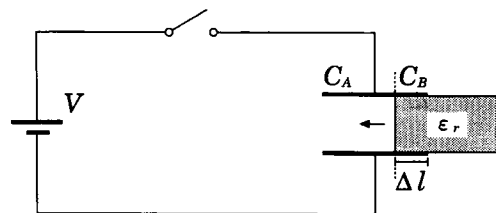
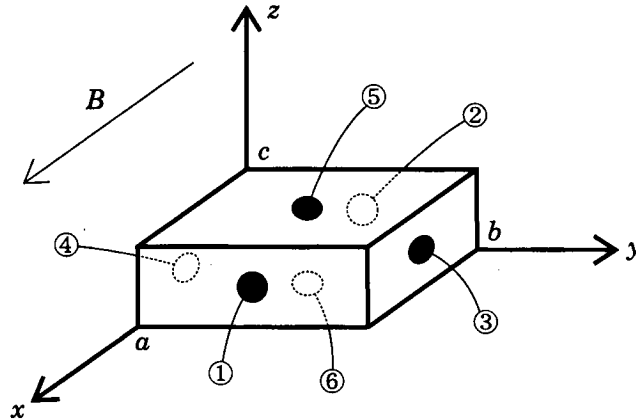


図2

8

図はホール効果の実験を模式的に表したものである。各辺の長さが  $a$  [m],  $b$  [m],  $c$  [m] の直方体の金属が図のように置かれ,  $x$  正方向に磁束密度  $B$  [ $\text{Wb}/\text{m}^2$ ] の一様な磁界がかけられている。次の各問に答えよ。

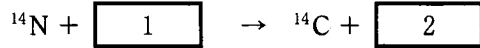


- (1)  $y$  正方向に電流を流して実験を行いたい。電流計, 電圧計, 電池が各 1 個ずつあるとき, それらを金属の各面にもうけられた端子①から⑥とどのように接続すればよいか。解答欄の電流計, 電圧計, 電池と端子①から⑥を線で結べ。ただし, 図中の点線はかくれた部分を示す。
- (2)  $y$  正方向に電流  $I$  [A] が流れているとき,  $z$  方向に生じる電界の大きさを求めよ。また, そのとき電位が高くなるのは  $z$  方向の正負どちらの方向か。ただし, 金属中には電荷  $e$  [C] をもつ電子が,  $1 \text{ m}^3$  あたり  $n$  個存在するものとする。
- (3) 金属のかわりに半導体を用いて同様の実験を行った。そのとき, P 型半導体と N 型半導体でどのような違いが現れるか。その理由も述べよ。

9 放射性同位元素の利用法として、炭素 ( $^{12}\text{C}$ ) の放射性同位元素である  $^{14}\text{C}$  を用いた動植物の年代測定がある。次の各問に答えよ。

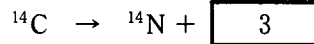
(1) 次の文中の  の中に当てはまる語句を入れよ。

地球大気の上層部では、地球外より飛来する放射線によって生成される二次粒子により、



なる核反応により  $^{14}\text{C}$  が生成され、 $^{14}\text{CO}_2$  となり対流圏に常に供給されている。

一方、 $^{14}\text{C}$  の半減期は 5700 年で、



なる核反応により、安定な  $^{14}\text{N}$  に崩壊し減少している。

(2) 地球上の動植物はその生存中、光合成や呼吸により体内に大気中の  $^{14}\text{C}$  の一部を常に取り込んでおり、その割合は大気中の割合と同じになっていると考えられる。しかし、生命活動を停止した時点で、 $^{14}\text{C}$  の取り込みも停止するため、新たな  $^{14}\text{C}$  の補給は途絶えることとなる。これより、動植物体内の  $^{14}\text{C}$  残存率、すなわち、初期量に対する現在量の比、を正確に測定できれば、その動植物が生命活動を停止した年代を知ることができる。

① 年代を知りたい木材の試料をつくり試料中の  $^{14}\text{C}$  の量を測定したところ、 $^{14}\text{C}$  残存率は  $\frac{1}{16}$  であった。この植物の死滅した年代は今から何年前か。

② 今から 2～3 万年前のものと推測される遺跡から発掘された人骨より試料をつくり年代確認を行うこととした。予想される  $^{14}\text{C}$  残存率のおよその範囲を求めよ。

ただし、 $2^{0.5} = \frac{7}{5}$ 、 $2^{0.3} = \frac{6}{5}$  とする。

③ 現存する測定器での  $^{14}\text{C}$  残存率の検出限界は、 $\frac{1}{2048}$  であった。これより  $^{14}\text{C}$  を用いた動植物の年代測定では、ある年代より前にさかのぼることはできない。測定可能年代は、今から何年前までか。

④ この年代測定法には、ある重要な前提条件が必要である。それは何か。

10

次の各問に答えよ。ただし、真空中の光速  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、プランク定数  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、電気素量  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、電子質量  $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$  とする。

- (1) 電子を電圧  $35.0 \text{ kV}$  で加速し、モリブデンのターゲットに当てX線を発生させたとき、下図のX線スペクトルを得た。
- ①  $\lambda_1$  を最短波長とし連続的に分布するX線を何というか。
  - ② 波長  $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  に強く現れるX線を何というか。
- (2) 加速電圧を大きくした場合、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  はどのように変化するか。
- (3) 加速電圧を  $12.0 \text{ kV}$  とした場合、 $\lambda_1$  の波長はいくらか。
- (4) 電子を  $309 \text{ kV}$  で加速した場合、電子の物質波としての波長はいくらか。
- (5) ある格子面の間隔  $d$  が  $2.0 \times 10^{-11} \text{ m}$  の結晶に対して(3)の波長のX線または(4)の波長の電子線を用いた場合、それぞれX線回折または電子線回折によりこの格子面の間隔を測定することが可能か否か、理由を付して説明せよ。

