

令和 6 年度

理 科

物	理	1 ページ～ 8 ページ
化	学	9 ページ～20 ページ
生	物	21 ページ～30 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その1～その2)、化学(その1～その4)、生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

物 理

1 図1のように、斜面 PQR が 45° の角度をなして水平面 ST となめらかにつながっている。水平面の点 T の壁にはフックの法則に従うばね定数 k のばねの一端が固定され、他端には質量 $4m$ の小物体 A がつながっている。点 P, Q, R の水平面からの高さは、それぞれ h , $\frac{5}{6}h$, $\frac{1}{6}h$ である。点 P に質量 m の小物体 B を置いて静かに放したところ、斜面 PQR をすべり下りて水平面の点 S を通過し、水平面 ST を壁の方向に進んだ。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

ただし、斜面 QR はあらいが、他の面はなめらかである。また、ばねの質量、および空気抵抗の影響は無視できるものとする。

問 1 小物体 B が点 Q に達する直前の速度 v_Q の大きさを m , g , h のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 小物体 B が点 R に達したときの速度 v_R の大きさは v_Q の大きさの 2 倍であった。小物体 B が斜面 QR をすべり下りるときに小物体 B にはたらく摩擦力の大きさを m , g , h のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 小物体 B と斜面 QR との間の動摩擦係数の値を求めよ。

水平面 ST を進んだ小物体 B は小物体 A と弾性衝突してはね返り、斜面 QR 上のある点 X で速度の大きさが 0 (ゼロ) になった。

問 4 小物体 A と小物体 B の衝突直後の速度を、それぞれ V , v とする。これらを m , g , h のうち必要なものを用いて表せ。ただし、図 1 の右方向を正とする。

問 5 小物体 A と小物体 B の衝突後、ばねは自然長から最大どれだけ縮むか。
 k , m , V を用いて表せ。ただし、ばねの縮む長さは自然長に比べて十分短かいものとする。

問 6 点 X の水平面からの高さはいくらか。求めよ。

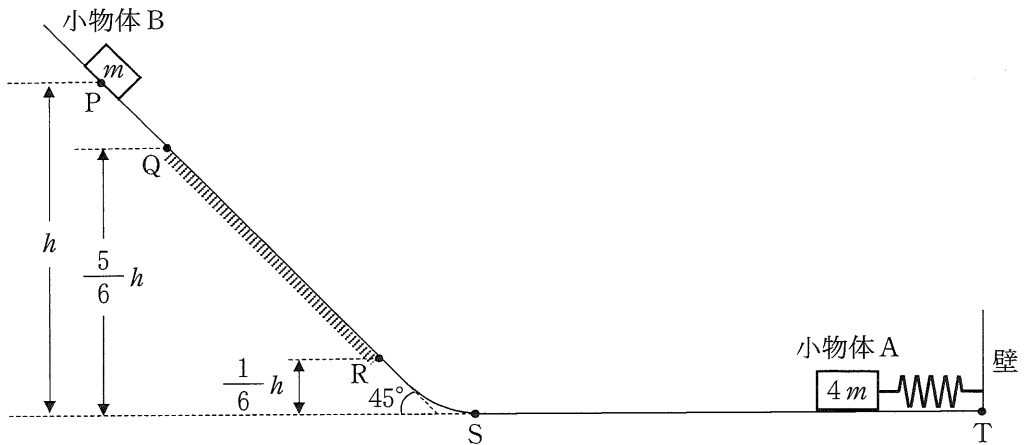


図 1

2 図 2-1 のように、真空中で、電気容量 C_0 の 2 つの同じ平行板コンデンサー A, B, 2 つのスイッチ S_1, S_2 , 電圧 V の電源を接続した。はじめ、2 つのスイッチは開いており、2 つのコンデンサーに電荷は蓄えられていない。以下の問いに答えよ。

問 1 平行板コンデンサーの極板の面積を S , 極板の間隔を d , および真空の誘電率を ϵ_0 として、コンデンサーの電気容量 C_0 を表せ。

2 つのスイッチをともに閉じて十分に時間が経ったのち S_1 だけを開いた。ここで、コンデンサー B の極板の間を、比誘電率 ϵ_r の誘電体で満たした (図 2-2)。

問 2 誘電体を入れて十分に時間が経った。このときのコンデンサー B の電気量を C_0, V , および ϵ_r を用いて表せ。

次に、 S_2 を開いてから S_1 を閉じた。十分に時間が経ってから S_1 を開き、コンデンサー A の極板の間隔を、はじめの a 倍 ($a > 1$) の ad に広げた (図 2-3)。

問 3 このときコンデンサー A の極板の間隔を広げるために、外から加えた力のした仕事を C_0, V, d, a のうち必要なものを用いて表せ。

次に、 S_2 を閉じて十分に時間が経った。

問 4 このときのコンデンサー B の極板間の電位差を C_0, V, ϵ_r, a のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 ここでコンデンサー B の極板間の電位差が電源電圧 V と等しい場合、2 つのコンデンサーが蓄えている静電エネルギーの和はいくらになるか、 C_0, V, ϵ_r, a のうち必要なものを用いて表せ。

問 6 問 5 の場合，誘電体の比誘電率が $\epsilon_r = 2.0$ であるならば，コンデンサー A の極板の間隔 ad における a の値はいくらか，有効数字 2 桁で求めよ。

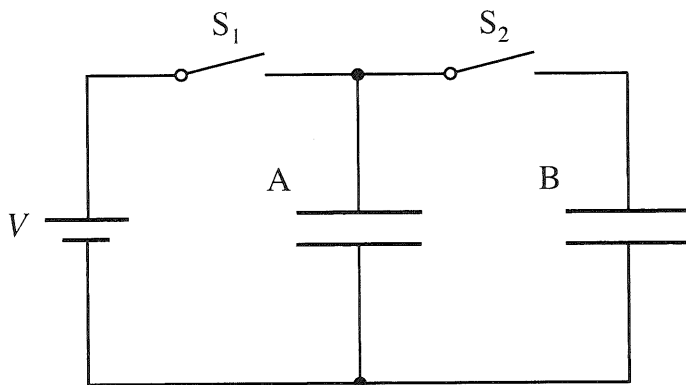


図 2-1

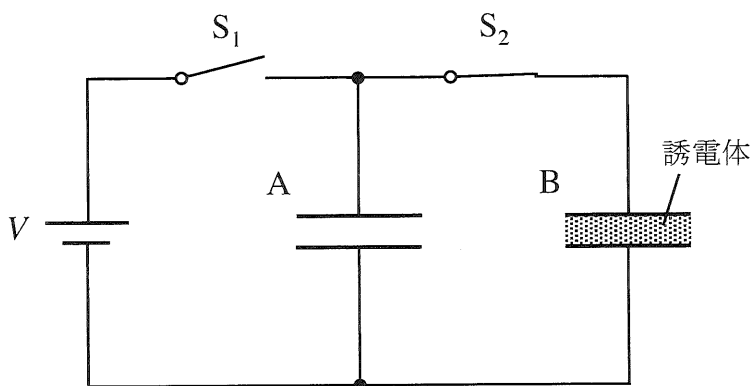


図 2-2

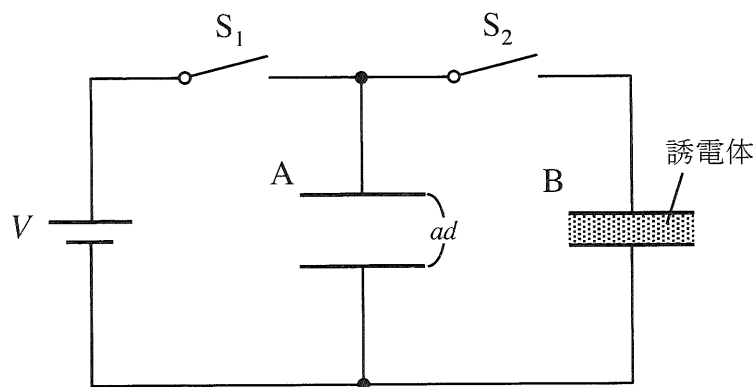


図 2-3

3 次の I と II の各問いに答えよ。

I. 図 3-1 のように、空気中で振動数 f_0 の音を発し続ける音源が点 O を中心に半径 r で等速円運動をしている。この音源から発せられる音を、音源の円軌道を含む同一平面内にあり、点 O から $2r$ 離れた点 P で観測したところ、観測された音の振動数は音源の運動とともに変化した。音源の等速円運動の周期を T 、速さを v_s 、音速を V として以下の問いに答えよ。ただし、風の影響は無視できるものとする。

問 1 点 P で観測される音の最大の振動数 f_H および最小の振動数 f_L を f_0 、 r 、 T 、 v_s 、 V のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問 2 点 P において、 f_H の音を観測してから最初に f_L の音が観測されるまでに要する時間を f_0 、 r 、 T 、 v_s 、 V のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 音源が円周上を 1 回転する間に f_0 の音が 2 回観測された。点 P において、 f_H の音を観測してから最初に f_0 の音が観測されるまでに要する時間を f_0 、 r 、 T 、 V のうち必要なものを用いて表せ。

II. 図 3-2 のように、屈折率がそれぞれ n_1 、 n_2 の 2 種のガラス 1、2 からなる円柱状のガラス繊維(光ファイバー)が空気中に置かれている。この光ファイバーは、ガラス 2 でできた円柱(コア)の周りをガラス 1 でできた円筒(クラッド)で包んだ 2 層構造になっており、コアはクラッドよりも屈折率が大きくなっている ($n_1 < n_2$)。また、コアとクラッドの中心軸は一致しており、光ファイバーの端面は中心軸に対して垂直である。この光ファイバーの端面から、光を中心軸となす角(入射角)を α で入射させたところ、空気とガラス 2 との境界面での屈折角は β であった。空気の屈折率を 1 として、以下の問いに答えよ。

問 4 $\sin \beta$ を求めよ。

問 5 ガラス 2 を伝わる光がガラス 1 との境界面で全反射した。臨界角を γ と
して、 $\sin \gamma$ を求めよ。

問 6 空気中から光ファイバーへ入射した光が光ファイバー中で全反射する
とき、 $\sin \alpha$ が満たす条件は以下となる。 に入る数式を n_1 , n_2 を
用いて示せ。

$$\sin \alpha < \text{ }$$

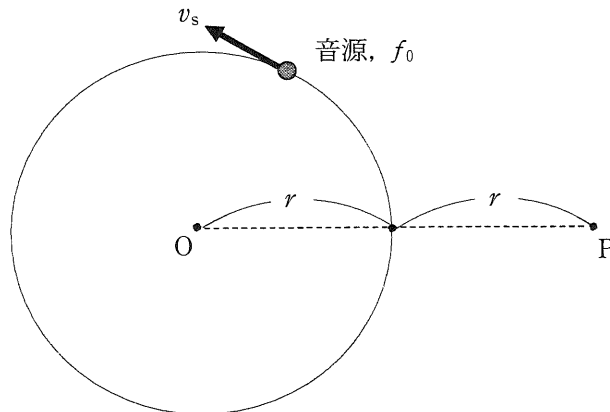


図 3-1

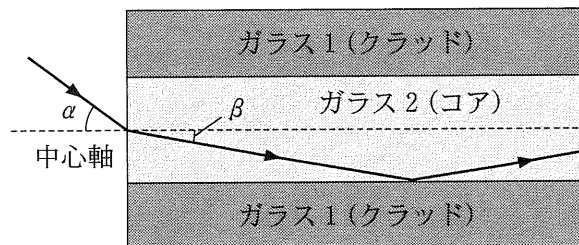


図 3-2

4 以下のⅠからⅢの文中にある(ア)から(サ)に適切な式や数値を入れよ。ただし、Ⅱについての有効数字は2桁とする。

Ⅰ. 1辺の長さが L [m]の断熱性の立方体容器内を、質量 m [kg]の理想気体の単原子分子 N 個が飛び回っている。このとき、それぞれの分子は、異なる一定の速さ v [m/s]で直線運動するが、運動の方向に偏りはなく、分子同士は衝突せず、容器の内壁面で弾性衝突をくり返しているものとする。

いま、 N 個の分子の速さの2乗の平均を $\overline{v^2}$ とすれば、 N 個の分子の運動エネルギーの総和 U [J]は(ア)となる。このとき、 N 個の分子は容器内壁と弾性衝突をくり返すので、それぞれの壁面垂直方向に加わる圧力の大きさは、 N 、 m 、 L 、 $\overline{v^2}$ を用いて、 $P =$ (イ)[Pa]と表すことができる。

ここで、容器内の気体の圧力 P [Pa]は理想気体の状態方程式を用いても表せる。すなわち、容器の体積を V [m³]とし、 N 、 T 、 k を用いて、 $P =$ (ウ)[Pa]と表せる。ただし、 T [K]は容器内の気体の絶対温度で、 k [J/K]はボルツマン定数である。したがって、 N 個の分子の運動エネルギーの総和 U [J]は、 N 、 T 、 k を用いて(エ)と表せる。

いま、立方体容器の体積を一定に保ったまま、容器内の気体を加熱し、気体の温度 T [K]を ΔT [K]上昇させた。このとき、分子一個あたりの平均運動エネルギーは(オ)だけ増している。

Ⅱ. X線も光も電磁波である。X線は波長の短い電磁波で、X線管と呼ばれる装置で発生させることができる。X線管内では、熱せられた陰極から飛び出した電子(熱電子)が高電圧によって加速され、陽極に衝突する。たとえば、加速電圧を30[kV]とすると、陽極の物質の種類によらず、最短波長(カ)[m]の連続X線が発生する。

一方、図4のような光電子管の陰極に光を照射すると電子が飛び出す。この電子を光電子と呼び、この光電子はすべて陽極に流れ込み光電流となる。たとえば、振動数 7.9×10^{14} [Hz]の光を陰極に照射しながら、陰極に対する陽極の電位を -10 [V]から $+10$ [V]まで増していくと、 -1.0 [V]以上のときに光

電流が流れる。飛び出した光電子のもつ最大運動エネルギーは(キ)[J]で、この陰極から光電子が飛び出すのに必要な最小のエネルギー(仕事関数と呼ばれ、陰極の物質の種類によってきまった値をもつ)は(ク)[J]であることがわかる。ただし、光の速さは 3.0×10^8 [m/s]、プランク定数は 6.6×10^{-34} [J·s]、電気素量は 1.6×10^{-19} [C]とする。

Ⅲ. 放射性同位体の原子核は不安定で、放射線を放出して別の原子核に変化する(放射性崩壊)。放射性崩壊には α 崩壊と β 崩壊がある。 α 崩壊では、電気素量の(ケ)倍の電気量を持つ α 粒子が放射線として放出される。一方、 β 崩壊では電子が放射線として放出される。放射性崩壊によって生成される原子核も不安定である場合が多く、安定な原子核となるまで α 崩壊や β 崩壊を続ける。たとえば、放射性のラジウム(${}^{226}_{88}\text{Ra}$)は、 α 崩壊を(コ)回、 β 崩壊を(サ)回くり返し、安定な鉛の同位体 ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ になる。

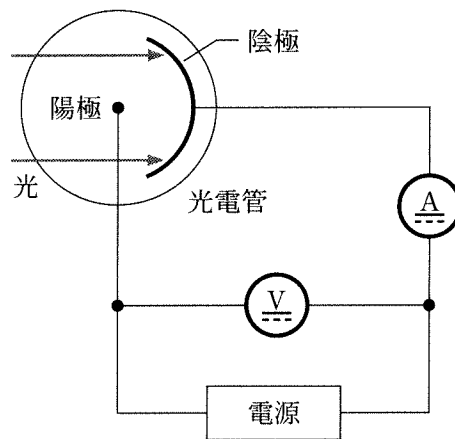


図4