

理科問題紙

平成 29 年 2 月 25 日

自 14:00

至 16:00

答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は 1 から 22 までの 22 ページである。
2. 解答用紙は、生物 ⑦, ⑧, ⑨, 化学 ⑩, ⑪, ⑫, ⑬, 物理 ⑭, ⑮, ⑯ の 10 枚である。
3. 生物, 化学, 物理のうち 2 科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後 30 分以内に選択する科目を決定すること。
6. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。

物 理

- 1 図1のように、水平な床の上に置かれた質量 M の台の斜面に、質量が無視でき一端が斜面に固定されたばねによって、質量 m の小物体が取り付けられている。

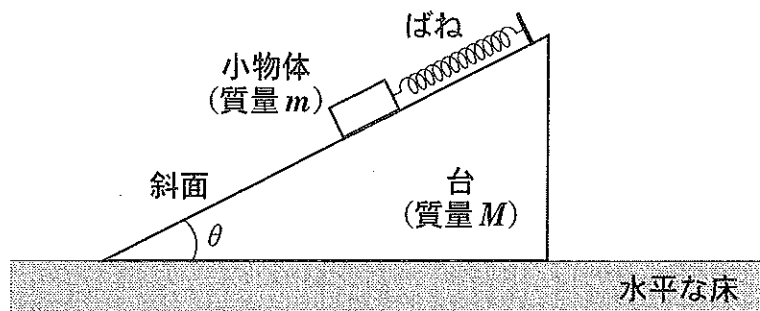


図1 床と台と小物体の位置関係

台が床に対して静止している時、ばねは自然長から長さ L_0 だけ伸びて釣り合う。どこにも摩擦は無く、空気抵抗も無視できるものとする。斜面の傾斜角を θ 、重力加速度の大きさを g とする。以下の各問に、与えられた記号を用いて答えなさい。

問 1 右向きに、床から見て一定の加速度で速さを大きくしながら、台が動いている状態を考える。小物体は、斜面上のばねが伸びて釣り合った位置で、台に対して静止しているとする。

(1-1) 小物体が斜面から離れないためには、加速度の大きさはある値以下である必要がある。加速度の大きさがその限界の値の時、ばねが小物体を引っ張る力の大きさはいくらか。

(1-2) (1-1)で扱った限界の大きさよりも小さい一定の加速度の大きさ a で台が右に動いている。ある時刻に台の加速をやめ、台が床に対して一定の速さ V_0 を保ったまま運動するようにした。すると、小物体はばねにより、斜面の上で単振動した。

台から見て、小物体は1秒あたり何回の頻度で、速さが0になるか。

(1-3) (1-2)で台が等速運動をして以降、床から見て、小物体が左向きに動かない(小物体の水平方向右向きの速さが正または0のみになる)条件を求める。台を加速させていた時の加速度の大きさ a と、 θ 、 L_0 、 g を用いて、床から見た台の一定の速さ V_0 はどのような条件を満たす必要があるか、表しなさい。

問 2 次に、台と小物体が静止している状態を考える。そして、図2のように、ばねと小物体がつながっている箇所を切る。以降、ばねの振動は考えなくてよいとする。

床が台を押す垂直抗力の大きさは、ばねを切る前に比べて、切った直後は何倍になるか。

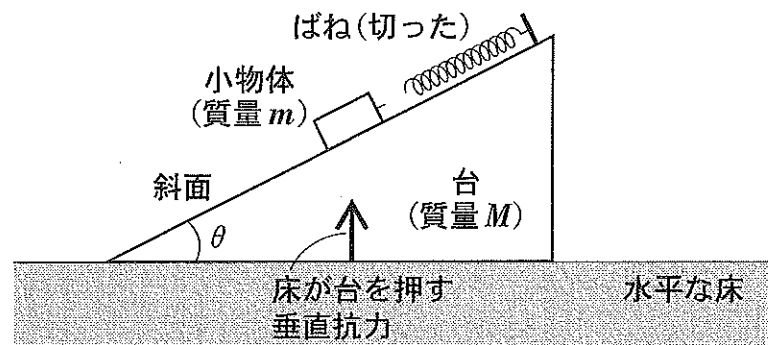


図2 静止している状態から、ばねと小物体の接続部を切る

2 図3のような材質がゴムでできた風船を考える。この物理現象を簡単に考えるため、風船を次のようなモデルとした。風船は球と考え、コックと吹き込み口の大きさ、ゴムの厚みは計算上考えない。風船内部の気体の温度は風船外部の気体の温度と同じ温度とする。気体はすべて理想気体と考える。

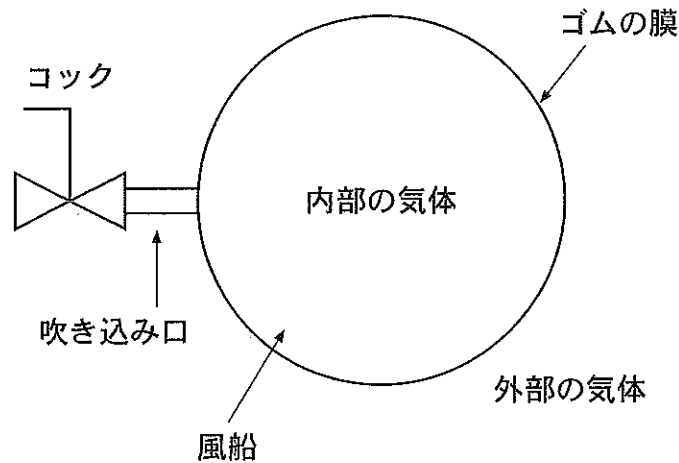


図3 風船モデルの概要

この風船内外の気体の移動は、吹き込み口を通して起こる。コックが開いているとき、風船内部の気体の圧力が吹き込み口付近の気体の圧力よりも低い場合は風船内部に気体が移動し、逆の場合は風船内部の気体が吹き込み口から風船外部に移動する。また、風船内部と吹き込み口付近の気体の圧力が同じときは気体の移動はない。

風船が膨らんでいるとき、風船内部の気体の圧力はゴムによって内側に押されているので気体の圧力は高くなる。風船内外の気体の圧力差と風船の半径について調べたところ、図4のようになった。この結果は、風船外部の気体の圧力や温度に依存しない。

また、風船の半径が6.0 cm から16.0 cmの間は半径 r [cm] としたとき、圧力差 Δp [hPa] は

$$\Delta p = \frac{1800}{r}$$

に従うものとして考えてよい。このとき、以下の問に答えなさい。

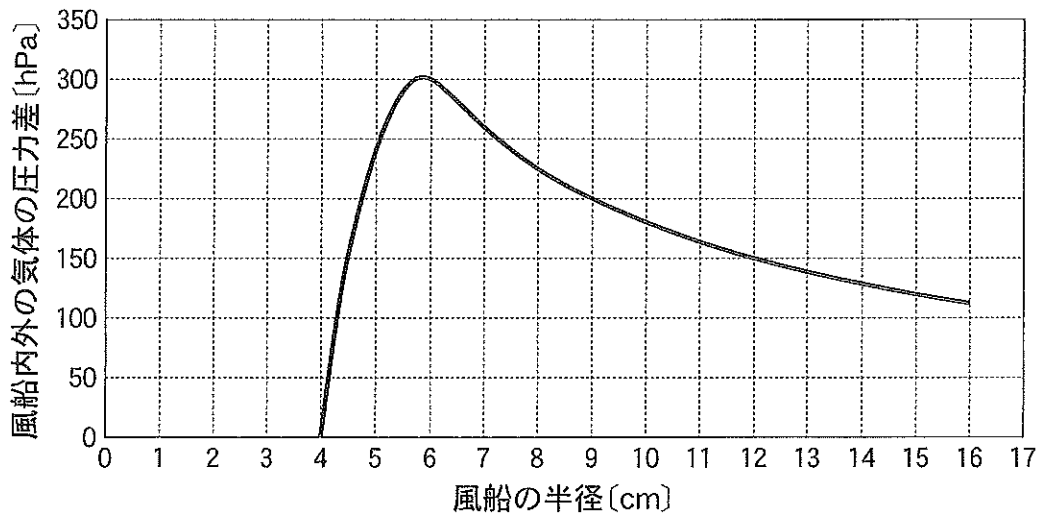


図4 風船の半径と風船内外の気体の圧力差の関係

風船を膨らましていないとき半径は 4.0 cm なのでそれ未満は考えない

問 1 風船外部の気体の圧力 P_1 [hPa], 温度 T_1 [K] の環境で風船の半径 R_1 [cm] の風船を, コックを閉じたまま風船外部の気体の圧力 P_2 [hPa], 温度 T_2 [K] の環境に移動したところ風船の半径が R_2 [cm] に変化した。この時の風船の半径は 6.0 cm から 16.0 cm の範囲であった。 $P_1, T_1, R_1, P_2, T_2, R_2$ の関係を文字式で表しなさい。ただし P_1, T_1, R_1 を左辺, P_2, T_2, R_2 を右辺に置いた文字式とせよ。

問 2 風船外部の圧力 1000 hPa, 温度 300 K の環境下で半径 6.0 cm の風船がある。この風船の内部の気体をビニール袋にすべて放出すると, ビニール袋内部の気体の体積はいくらになるか。有効数字 2 桁で答えなさい。ただし, ビニール袋内の初期の気体の体積は 0 であるものとし, ビニール袋の内部の気体の圧力, 温度は外気と同じにする。

問 3 風船外部の圧力 1000 hPa, 温度 300 K の環境下で半径 7.0 cm の風船 A と, 半径 10.0 cm の同じ種類の風船 B がある。図 5 のように風船 A と風船 B をコックが閉じられたコック付き管でつなげ, コックを開放したときの物理現象を考える。ただし, コック付き管の大きさは無視できるものとする。以下の(3-1)(3-2)に答えなさい。

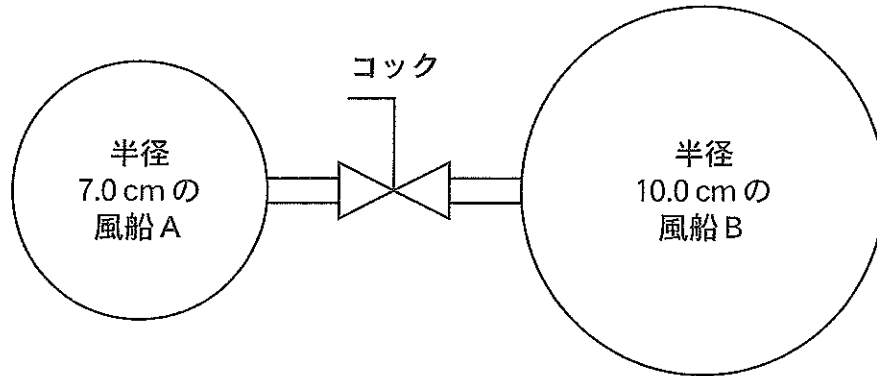


図 5 コック付き管でつなげられた二つの風船

(3-1) それぞれの風船が大きくなるか, 小さくなるか, 変わらないか, また最終的な大きさはそれぞれどうなるか, 式や図 4 のグラフを根拠に理論的に説明しなさい。ただし風船の最終的な大きさは厳密な数値を求める必要はなく, (3-2)で示されている大まかな範囲が分かればよい。

(3-2) 風船 A, 風船 B の最終的な大きさをそれぞれ, 次から選び, ア～セの記号で答えなさい。

ア. 4.0 cm

イ. 4.0 cm より大きく 5.0 cm 未満

ウ. 5.0 cm 以上 6.0 cm 未満

エ. 6.0 cm 以上 7.0 cm 未満

オ. 7.0 cm 以上 8.0 cm 未満

カ. 8.0 cm 以上 9.0 cm 未満

キ. 9.0 cm 以上 10.0 cm 未満

ク. 10.0 cm 以上 11.0 cm 未満

ケ. 11.0 cm 以上 12.0 cm 未満

コ. 12.0 cm 以上 13.0 cm 未満

サ. 13.0 cm 以上 14.0 cm 未満

シ. 14.0 cm 以上 15.0 cm 未満

ス. 15.0 cm 以上 16.0 cm 未満

セ. 16.0 cm 以上

3 真空中で運動する荷電粒子が、それに直交する方向の磁界空間(以後 M 空間とする)に侵入する物理現象を考える(図 6)。磁束密度の方向は紙面の表面から裏面の向きで、大きさは B とする。ここで飛行する各粒子は質量 m で、電荷 q の質点と見なせる。

今、同種の荷電粒子が毎秒 n 個、同じ軌跡上を同じ速度(速さ v)で飛行している。各荷電粒子は、A 点で M 空間に侵入し、辺 OC 間で磁界の無い空間(以後 F 空間とする)へ飛び出した。ここで、 $OA = OC = a$ メートルである。なお、磁界中の運動で、各粒子のエネルギー損失は生じないとする。

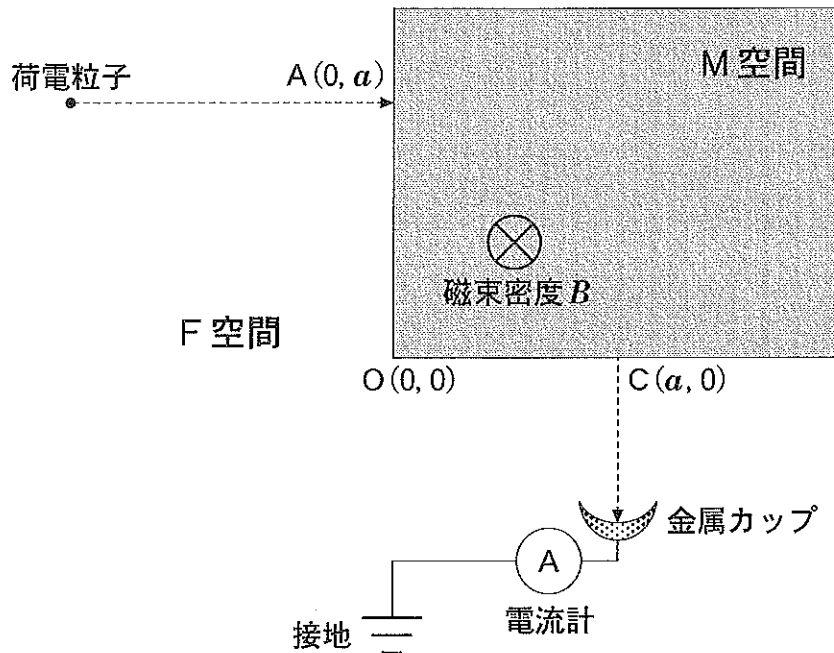


図 6 XY 方向に長方形で、Z 方向に磁束密度がある磁界空間に侵入する荷電粒子の運動

次の各問に答えなさい。

問 1 磁界から飛び出した荷電粒子が、図 6 の金属製カップに衝突し全て吸収されて、電流計に電流 I アンペアが流れたとする。このとき、金属カップに衝突する荷電粒子の単位時間あたりの個数 n はいくらか。

問 2 A 点から M 空間に磁束密度ベクトルに直交する方向に荷電粒子が侵入し、辺 OC 間のいずれかの箇所で F 空間へ飛び出した。このときの磁束密度の大きさ B の範囲を求めなさい。

問 3 点 C で荷電粒子が飛び出したとすると、各荷電粒子の A 点から C 点への飛行時間はいくらか。 a 以外の与えられた物理量の記号を用いて表しなさい。

問 4 今、同じ運動エネルギー K を持った 2 種の荷電粒子を想定して、上記の運動を考える。それらの粒子は、陽子(質量が M 、電荷が e)ないし質量数が 4 のヘリウム原子の核である。どちらも A 点で磁界中に侵入し、同じ C 点から飛び出すように磁束密度を調整して、2 種の実験を行った。陽子の実験のときの磁束密度の値を B 、ヘリウム原子の核の実験のときの磁束密度の値 Bh を、それぞれ求めなさい。また、 Bh は B の何倍か。