

令和3年度 入学試験問題

理 科

ページ

物 理…………… 1～14

物理については、問題 **1** から問題 **3** までは必ず解答し、問題 **4** と問題 **5** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

化 学…………… 15～30

化学については、問題 **1** から問題 **4** までは必ず解答し、問題 **5** と問題 **6** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

生 物…………… 31～48

生物については、問題 **1** から問題 **3** には選択問題が存在するので、よく読んで注意して解答すること。

地 学…………… 49～58

地学については、問題 **1** と問題 **2** は必ず解答し、問題 **3** と問題 **4** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

注 意 事 項

試験開始後、選択した科目の問題冊子及び解答用紙のページを確かめ、落丁、乱丁あるいは印刷が不鮮明なものがあれば新しいものと交換するので挙手すること。

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開かないこと。
2. 試験開始後は、すべての解答用紙に受験番号（2か所）・氏名を記入すること。
3. 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。
4. 解答する数字、文字、記号等は明瞭に書くこと。
5. 解答用紙は持ち出さないこと。

物 理

1 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、2本の同じ長さ L [m] の軽い糸に、それぞれ質量 M [kg] の小球 A と質量 m [kg] ($m < M$) の小球 B が、薄い板の右端 O からつるされている。小球 A は、糸と O を通る鉛直線のなす角が θ_1 [rad] ($0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$) となるところまで、糸がたるまないように持ち上げられ、小球 B は O を通る鉛直線上の位置 P に静止している。

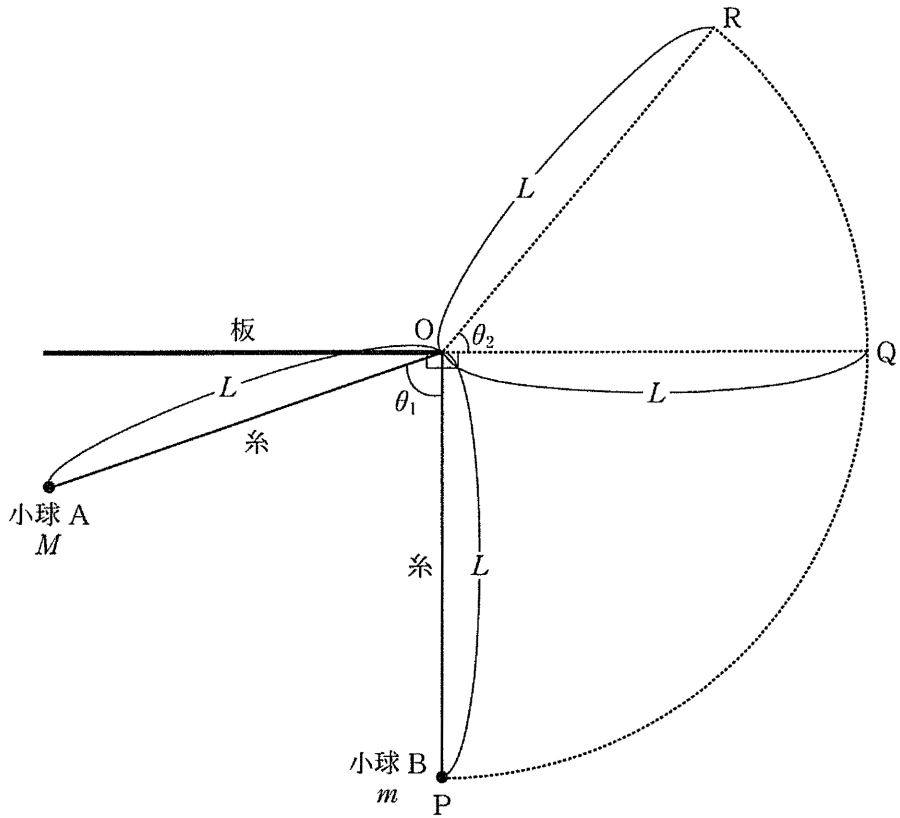


図 1

小球 A を静かにはなすと、小球 B に衝突した。なお、小球 B は小球 A の運動と同じ平面内で運動する。また、小球 A と小球 B の反発係数（はね返り係数）を e ($0 < e < 1$)、重力加速度の大きさを g [m/s^2] とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

(1) 小球 B に衝突する直前の小球 A の速さ w_0 [m/s] を、 L 、 M 、 θ_1 、 g のうち、必要なものを用いて表せ。

(2) 小球 A と小球 B が衝突した直後の小球 B の速さ v_1 [m/s] を、 w_0 、 m 、 M 、 e を用いて表せ。

小球 B は小球 A と衝突した後、板と同じ高さの位置 Q を通り、水平線（直線 OQ）と角 θ_2 [rad] ($0 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$) をなす位置 R を速さ v_2 [m/s] (> 0) で通過した瞬間に糸は張力を失った。

(3) $\sin \theta_2$ を、 v_1 、 L 、 g のうち、必要なものを用いて表せ。

小球 B は位置 R を通過したのち、時間 T [s] 後に板の上に着地した。

(4) T の最小値を、 v_2 、 L 、 θ_2 を用いて表せ。

II 図2のように、摩擦のある水平な床の上に置かれた質量 m [kg]、長さ L [m] の密度が一様な棒の片方に重さの無視できるワイヤーをたるみの無いように結び、棒よりも右側の天井につるした滑車を介してモーターとつなぐ。棒の左端を O 端、右端を A 端、ワイヤーと鉛直線のなす角度を α [rad]、棒と床との間の静止摩擦係数を μ 、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、棒の太さや滑車の摩擦は無視できるものとする。

図2の状態より、モーターを使ってワイヤーを引っ張ると、棒は O 端を中心として回転を始める。

(5) ワイヤーに加える張力の大きさが T_0 [N] を超えると、棒の A 端が床より持ち上がる。 T_0 を μ 、 L 、 m 、 g 、 α のうち、必要なものを用いて表せ。

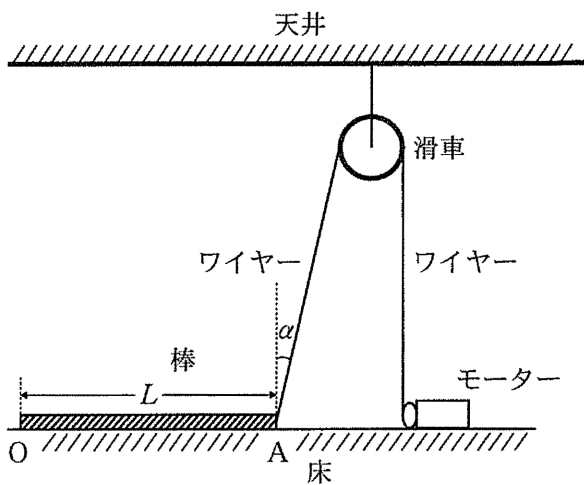


図2

- (6) 棒が右方向に滑らずに O 端を中心として回転を始めるための μ の条件を, α を用いた不等式で示せ。

さらにモーターでワイヤーを引っ張って, 図 3 のように A 端を床から持ち上げ, ワイヤーと鉛直線のなす角度が, 棒と床とのなす角度と同じ θ [rad] となったところで静止させた。

- (7) 図 3 の状態において, 棒にはたらく力をすべて解答用紙の図中に矢印 (→) で示し, あわせて力の種類 (名称) を記載せよ。ただし, 力のはたらく向きと作用点に注意すること。なお, 力の大きさは問わない。

- (8) 図 3 の状態で, ワイヤーに加わる張力の大きさを T_1 [N] としたとき, 棒にはたらく重力による O 端を中心とした時計回りの力のモーメントの大きさ M_1 [N·m] を L, m, g, θ を用いて表せ。また, 棒にはたらくワイヤーの張力による O 端を中心とした反時計回りの力のモーメントの大きさ M_2 [N·m] を T_1, L, θ を用いて表せ。

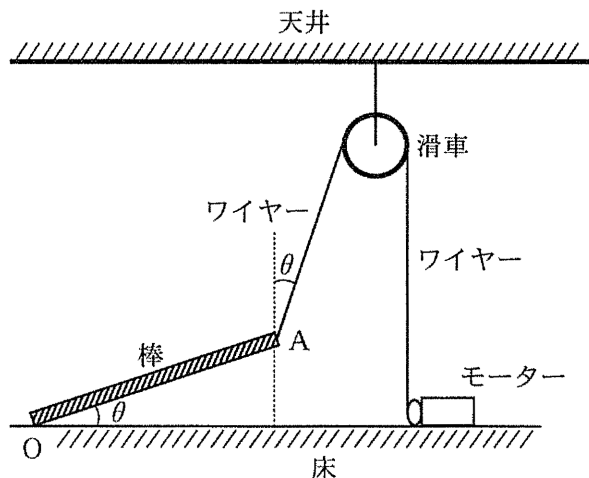


図 3

2 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

図1のような一辺の長さ w [m] の正方形の薄い金属平板2枚を用いた間隔 d [m] の2組の平行板コンデンサー C_1 , C_2 がある。平板の空間は真空（真空の誘電率 ϵ_0 [F/m]）であるが、コンデンサー C_2 には図の右側から平板と平行に x [m] だけ比誘電率 ϵ_r の誘電体をゆっくりと挿入していく。誘電体は $w \times w \times d$ [m³] の直方体で、挿入された部分は平板間に隙間なく埋まる。ただし、コンデンサーの周辺部の影響は無視できるものとする。

(ア) コンデンサー C_1 の電気容量（静電容量） C_1 [F] を w , d , x , ϵ_0 , ϵ_r のうち、必要なものを用いて表せ。

(イ) 誘電体を x だけ挿入したときのコンデンサー C_2 の電気容量 C_2 [F] を w , d , x , ϵ_0 , ϵ_r のうち、必要なものを用いて表せ。

C_1 と C_2 を図2のように並列接続する。最初に、コンデンサー C_2 に誘電体を挿入しない状態 ($x = 0$) でスイッチ S を閉じて電荷を蓄えたところ、 C_1 , C_2 ともに電荷が q_0 [C] となった。その後、スイッチ S を開いて、誘電体を挿入していく。

(ウ) C_2 に誘電体を x だけ挿入したとき、コンデンサー C_1 に蓄えられている電荷 q_1 [C] を C_1 , C_2 , q_0 を用いて表せ。

(エ) C_2 に誘電体を x だけ挿入したときのコンデンサー C_1 に蓄えられている電荷 q_1 を x の関数で表し、横軸 x , 縦軸 q_1 とした関係を表すグラフを $0 \leq x \leq w$ の範囲で作図せよ。ただし、 $\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12}$, $\epsilon_r = 5.0$, $w = 0.5$, $d = 0.1$, $q_0 = 2.0 \times 10^{-3}$ とする。グラフは概形が判別できればよいが、 $x = 0$, $x = 0.2$, $x = 0.5$ のときの q_1 の値を、点線の補助線を用いて図中に示すこと。

次に、誘電体をコンデンサーから取り出し、再びスイッチ S を閉じて 2 つのコンデンサーの電荷をそれぞれ q_0 とした。

(オ) スイッチ S を閉じた状態のままでコンデンサー C_2 に誘電体を x だけ挿入したとき、 C_1 の電荷 q_1 および C_2 の電荷 q_2 は、 q_0 と比べてそれぞれどのように変化するかを理由も含めて説明せよ。

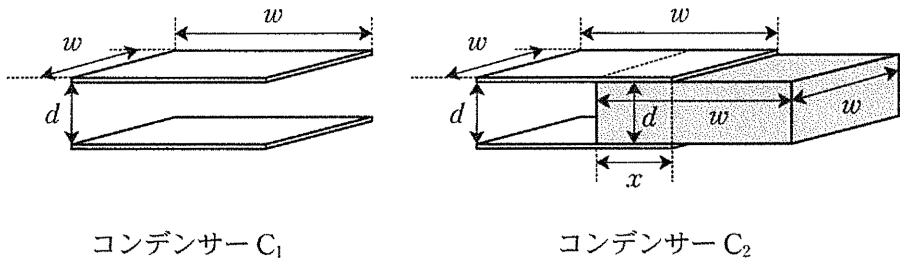


図 1

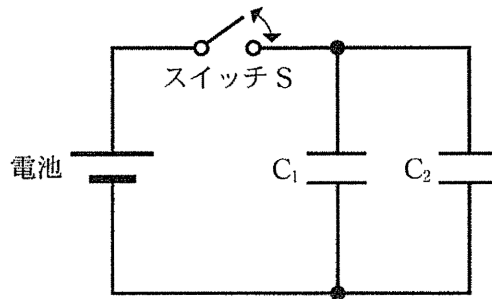


図 2

3 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、上下の最大変位の大きさがそれぞれ1 mの正弦波で表される波形が図の左から右に移動している。図には時刻 $t = 0$ sにおける波形を実線で、それから0.2 s経過した時の波形を破線で表している。この間、図にA点として示している波の山Aは1 m右方向に移動して見える。また、実線で表している $t = 0$ の時の波において変位が0となる隣り合う点の間の距離は3 mである。

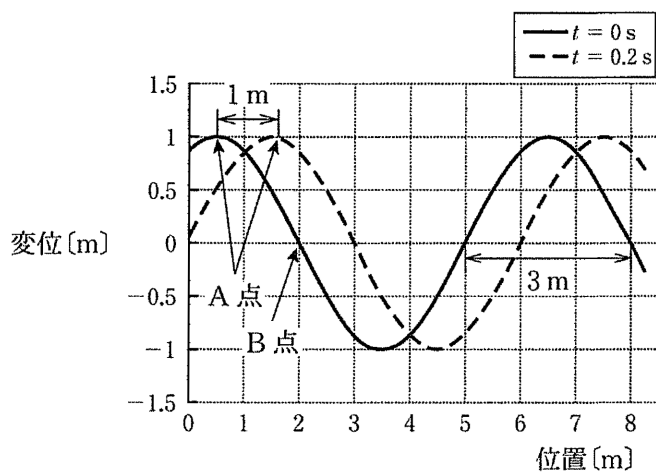


図1

- (a) 波の速さ v [m/s], 波長 λ [m], 周期 T [s], 振動数 f [Hz] の値を答えよ。
- (b) 図1のB点における媒質の上下運動について考える。縦軸に上下の変位 y [m] を取り、横軸に時間 t [s] を取った場合をグラフにした。以下の図2の(A)~(D)より適当なものを一つ選べ。

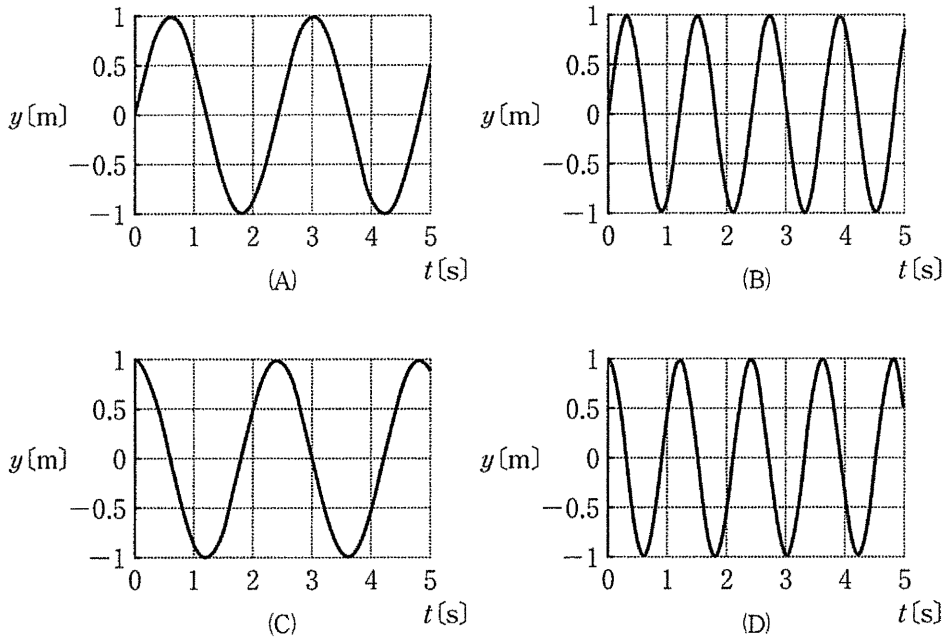


図 2

(c) (b)の運動を数式で示す。以下の(A)~(D)より適当なものを一つ選べ。

(A) $y = \sin \frac{v\pi}{\lambda} t$

(B) $y = \sin \frac{2v\pi}{\lambda} t$

(C) $y = \cos \frac{v\pi}{\lambda} t$

(D) $y = \cos \frac{2v\pi}{\lambda} t$

(d) B点の上下運動における最大の速さのうち、以下の(A)~(D)より最も適当なものを一つ選べ。

(A) 1.3 m/s

(B) 2.6 m/s

(C) 5.2 m/s

(D) 10.4 m/s

II 真空中に置かれた真つぐな円柱状のガラス内部を、光（単色光）が全反射を繰り返しながら減衰せずに伝わる様子を考える。ガラスの両端は、ガラスの中心軸に垂直な平面で切り取られており、その断面の半径を r [m]、ガラスの絶対屈折率を n とする。図 3 に示すように、光は、角 θ [rad] でガラス左端の断面の中心点 O を通って入射した後、ある角度で屈折してガラス内部を伝わり、境界上の点 P で全反射した。なお、真空中を伝わる光の速さを c [m/s] とする。

(e) ガラス中を伝わる光の速さを、 n と c を用いて表せ。

(f) OP 間の距離を、 n , r , θ を用いて表せ。さらに、光が OP 間を進むのに要する時間を、 c , n , r , θ を用いて表せ。

(g) 中心軸に沿ったガラス内部の長さが L [m] であるとき、光がガラス内部を通過するのに要する時間を、 L , c , n , θ を用いて表せ。ただし、光は、ガラスの右端では全反射せず外に出るものとする。

(h) 光の全反射の性質が利用されている器具として、最も当てはまるものを、以下の【選択群】から一つ選べ。

【選択群】 凸レンズ, クインケ管, 光ファイバー,
偏光板, 発光ダイオード, 誘導コイル

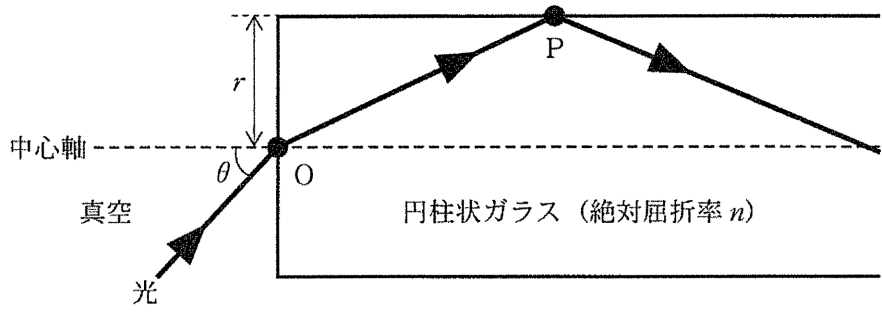


図 3

問題 4, 5 は選択問題である。いずれかを選択して解答し、選択した問題番号の解答用紙のマーク欄に○を記入すること。両方にマークしたり、マークしていない解答は無効となる。

4 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

図1のように、断熱材で覆われた円筒容器が鉛直に置かれている。容器内部の
高さは h [m] である。この容器内には、内部をなめらかに動く断面積 S [m²] のピ
ストンが備わっており、ピストン下部の斜線の空間は、質量 m [g] の物質 A からな
る液体ですき間なく満たされている。ピストン下部の空間は、底面に設置された
小型の熱交換器を用いて加熱もしくは冷却することができる。ピストンは断熱材
でできており、ピストンの厚みと質量は無視できる。大気圧を p_0 [Pa]、大気圧の
もとでの物質 A の沸点を T_b [K] とし、物質 A の気体は単原子分子理想気体とし
てふるまうものとする。重力加速度の大きさを g [m/s²] として、次の問いに答え
よ。

(a) ピストン下部の物質 A (液体) をゆっくりと加熱すると、図2のように、
すべてが温度 T_b [K] の気体へと変化した。加熱前の物質 A (液体) の温度を
 t [K] ($< T_b$)、物質 A (液体) の比熱を c [J/(g·K)]、蒸発熱を q [J/g] とした
とき、物質 A (液体) がすべて温度 T_b [K] の気体になるあいだに吸収した熱
量 Q_1 [J] を、 S , h , m , p_0 , T_b , t , g , c , q のうち、必要なものを用いて表せ。

ピストン下部の物質 A (液体) がすべて気体になった直後、ピストン上部に
一定の密度 ρ [kg/m³] の液体 F をピストンから高さ l [m] ($< h$) のところまで注
いだ。同時に、熱交換器を用いてピストン内をゆっくりと冷却したところ、図3
のように、気体はすべて液体へと変化した。物質 A (液体) の体積と液体 F の
蒸発は無視できるものとする。

(い) 図3の状態から加熱によってふたたびすべての物質A(液体)を蒸発させたとき、図4のように、ピストンは底面からちょうど $\frac{1}{5}h$ [m]の位置にあった。再び物質Aが蒸発を始めてから終わるまでに、物質Aがピストンにした仕事 W_1 [J]を、 $S, h, m, p_0, T_0, t, g, \rho, l$ のうち、必要なものを用いて表せ。

(う) さらに加熱して物質A(気体)を膨張させたところ、図5のように、ピストンは底面からちょうど $\frac{4}{5}h$ [m]の位置に移動した。図4の状態から図5の状態に変化する間に、物質A(気体)が吸収した熱量 Q_2 [J]を、 $S, h, m, p_0, T_0, t, g, \rho, l$ のうち、必要なものを用いて表せ。

図5の状態から加熱を止め熱交換器の機能を停止させたあと、さらに液体Fをゆっくりと注ぎ、容器上部を液体Fで満たし、図6のような状態となった。このとき、液体Fの高さは $\frac{9}{10}h$ [m]となった。

(え) 図5から図6にかけての体積変化にともない、物質A(気体)の圧力は何倍になるか。ただし、断熱変化における物質A(気体)の圧力 p と体積 V の関係は、ポアソンの法則($pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$)に従うものとする。

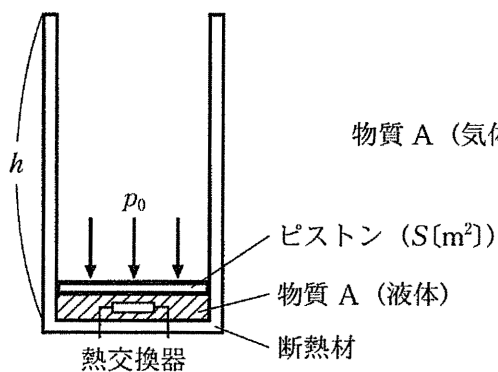


図 1

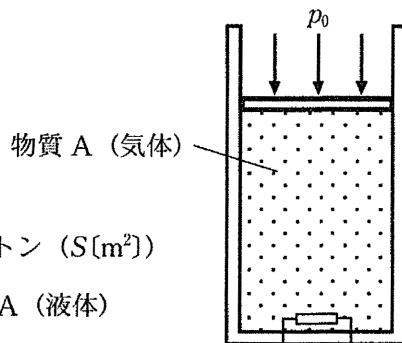


図 2

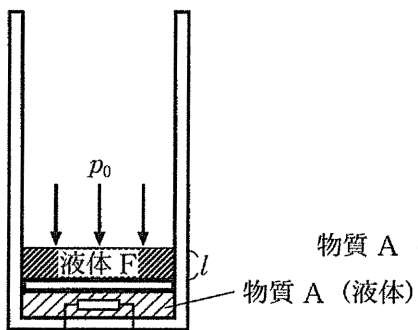


図 3

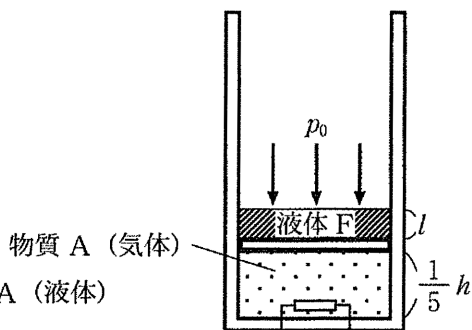


図 4

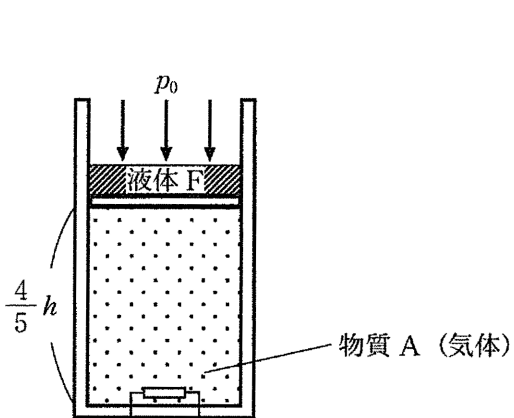


図 5

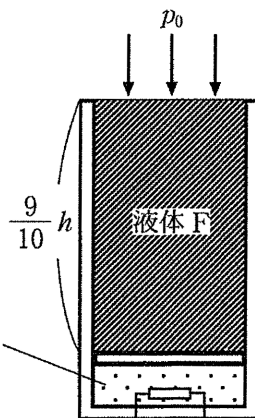


図 6

問題 4, 5 は選択問題である。いずれかを選択して解答し、選択した問題番号の解答用紙のマーク欄に○を記入すること。両方にマークしたり、マークしていない解答は無効となる。

5 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

セシウム 137 は半減期 30 年の放射性同位体である。天然に存在する同位体ではないが、近年では 2011 年 3 月の福島第一原発事故で原子炉から漏洩し環境中へ拡散された。このセシウム 137 の原子核の数と放射能について考える。ただし、1 年は 3.15×10^7 s とし、計算の過程において必要ならば $2 \approx 1.26^3$ を用いてよい。

- (A) 初めに存在したセシウム 137 の原子核の数を N_0 としたとき、任意の時間 t [s] が経過した後のセシウム 137 の原子核の数 N を、 N_0 , t を用いて表せ。
- (B) 環境省によると、福島第一原発事故で放出されたセシウム 137 の原子核の数は 2.00×10^{25} 個^{*}である。事故から 10 年経過した時点のセシウム 137 の原子核の数はいくつか、有効数字 3 桁で答えよ。ただし、事故で放出されたセシウム 137 は時間経過によってのみ減少するものとする。
- (C) 放射能の強さ [Bq] は 1 秒間に崩壊する原子核の数として定義され、原子核の数に比例する。またこの際の比例定数は半減期を T [s] とした場合 $0.693 \times T^{-1}$ で与えられる。事故から 10 年経過した時点のセシウム 137 の放射能の強さを求めよ。

※ 環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」より改変

