

物 理

(注) 医学科の受験生は問 1 (1)から問 3 (4)までの全ての問題を, 歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 (1)から問 3 (2)までを解答せよ。

1

問 1 図 1 のように, 上面の面積 S , 高さ h の直方体が鉛直な姿勢で, 上面の位置が水面から深さ z , 下面の位置が水面から深さ $z + h$ の水中にある。大気の圧力を P_0 , 水の密度を d_w , 重力加速度の大きさを g とする。解答は, 問題文末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

- (1) 直方体の上面, 下面のそれぞれが水から受ける力の大きさを求めよ。
[d_w , g , h , P_0 , S , z]
- (2) 直方体が水から受ける合力の向き, 大きさを, 鉛直方向と水平方向に分けて理由とともに答えよ。合力の大きさが 0 の場合は, 解答欄に合力の向きを記入する必要はない。[d_w , g , h , P_0 , S , z]

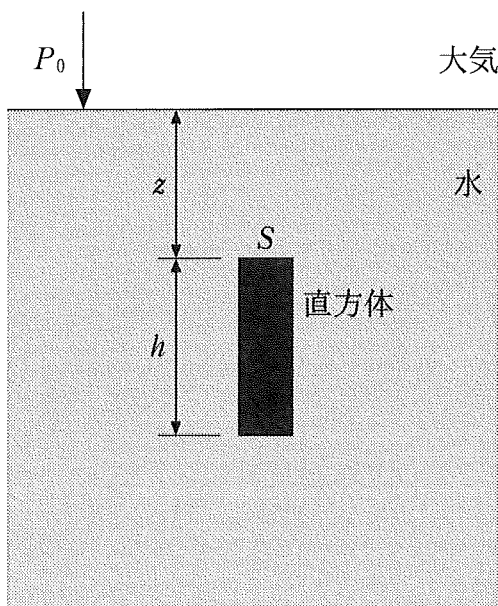
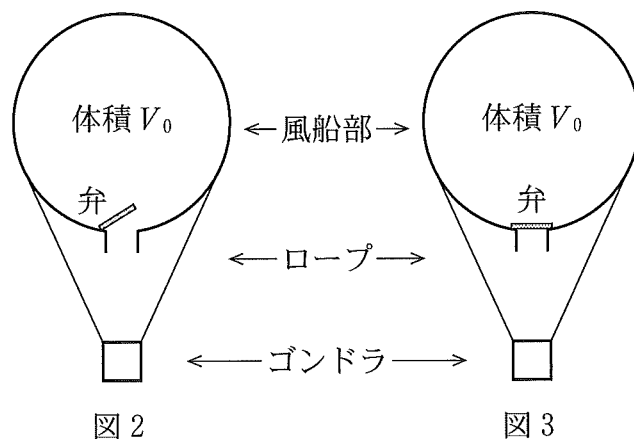


図 1

問 2 図 2 のように風船部，連結用のロープ，およびゴンドラで構成されている気球がある。風船部は断熱性の素材でできており変形せず体積は V_0 で一定である。風船部内の大気の質量を除いた気球全体(風船部 + ロープ + ゴンドラ)の質量は M である。 V_0 と比較して他の部分の体積は十分に小さく，風船部以外にかかる浮力は無視できるとする。風船部の下部には弁が備わり，問題(1)～(5)では常に弁は開いており，風船部内の圧力は周辺の大気の圧力と等しいとする。また風船部内にはヒーターがついており，風船部内の大気を均質に加熱できる。はじめ気球は地表に置かれている。地表における大気の圧力を P_0 ，温度を T_0 ，密度を d_0 とする。大気のもル質量(1 mol あたりの質量)を w ，気体定数を R ，重力加速度の大きさを g とし，大気は理想気体の状態方程式にしたがうものとする。解答は，問題文末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。



- (1) 地表における大気の密度 d_0 を求めよ。[P_0, R, T_0, w]
- (2) はじめ風船部内の大気の温度は T_0 であった。気球にはたらく浮力の大きさを求めよ。[g, P_0, R, T_0, V_0, w]
- (3) ヒーターで風船部内の大気の温度をゆっくり上げていくと，ある温度で気球が地表からはなれ浮上した。このとき，風船部内の大気の密度 d_1 を求めよ。[d_0, M, V_0]
- (4) (3)の気球が地表からはなれたときの風船部内の大気の温度 T_1 を求めよ。[d_0, d_1, T_0]

- (5) 気球の質量 M がある値 M_c より大きい場合、風船部内の大気の温度をどんなに上げて、も、気球が地表から浮上しなくなる。 M_c を求めよ。

$[d_0, g, V_0]$

- (6) 気球を地表に固定して、風船部の下部の弁を開いたまま風船部内の大気を加熱して温度を T_2 にし、その後、図 3 のように弁を閉じてから固定をはずした。気球はゆっくり上昇し、ある高度で静止した。上昇する間、風船部内の大気の温度は T_2 で一定とする。気球が静止した高度での大気の温度が T_3 のとき、そこでの大気の圧力を求めよ。 $[M, P_0, R, T_2, T_3, V_0, w]$

問 3 上面の面積 S 、質量 m で上端の閉じた管があり、図 4 のように、全体が水没している。管内には物質量 n 、温度 T の理想気体が封入されている。管の上面と大気との水面は距離 z 、管の上面と管内の水面は距離 h だけ離れている。はじめ管は $z = z_0$ で静止していた。大気の圧力を P_0 、水の密度を d_w 、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とする。なお、管は常に鉛直な姿勢を保ち、全系の温度は T で一定とする。管壁の厚さ、管内の気体の質量、水の蒸気圧は無視できるものとする。解答は、問題文末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

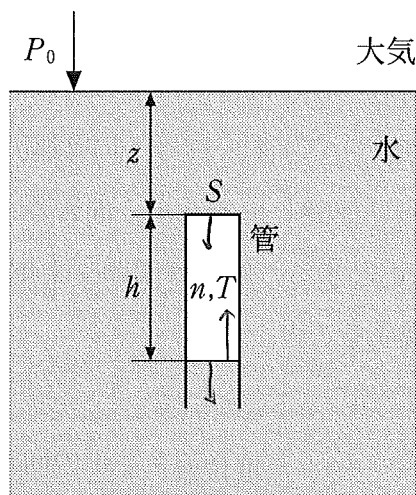


図 4

- (1) 管内の気体が管内の水面から受ける力の大きさを求めよ。[d_w , g , h , P_0 , S , z_0]
- (2) 管内の水面が管内の気体から受ける力の大きさを求めよ。[h , n , R , S , T]
- (3) z_0 を h を含まない式で答えよ。[d_w , g , m , n , P_0 , R , S , T]
- (4) P_0 が増えると、 h は増えるか、減るか、理由とともに答えよ。この h の変化は z の変化より十分速い。その後、管は浮き上がるか、沈むか、理由とともに答えよ。

(注) 医学科，歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は全ての問題を解答せよ。

- 2 円柱型の抵抗器(長さ L ，断面積 S ，自由電子の数密度 n)，内部抵抗の無い電池(電圧 V)，スイッチを図1のように接続する。スイッチを入れると，電池は抵抗器内に一様な電場をつくり，自由電子(質量 m ，電荷 $-e$ ，ただし e は電気素量)が抵抗器の中を運動し電流が流れる。自由電子の運動について以下の仮定をおく。(i)円柱の中心軸に平行な方向にのみ動く。(ii)自由電子の受ける力は，電池が抵抗器中に作る電場による力と，抵抗器中の陽イオンなどによる抵抗力の2種類のみである。(iii)抵抗力の向きは自由電子の速度と逆方向である。一個の自由電子に対する抵抗力の大きさは自由電子の速さに比例し，正の比例定数 k を用いて $k \times (\text{自由電子の速さ})$ で与えられる。(iv)導線の抵抗は考えなくてよい。

以下の問題に符号に注意して答えよ。向きをもつ量(速度・加速度・電場・電流など)は右向きを正とする。解答は問題文末尾にある[]内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

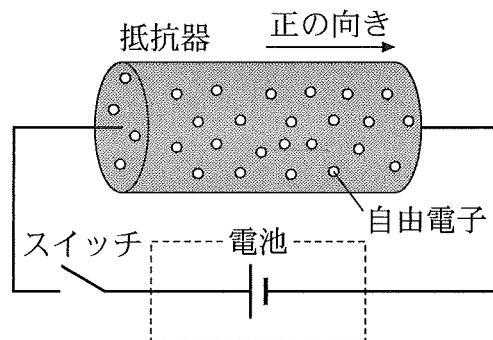


図1

- (1) スイッチを入れている間，電池が抵抗器中に作る電場を求めよ。右向きを正とする。[L , S , n , V]
- (2) 抵抗力の比例定数 k のもつ単位を， m (メートル)， kg (キログラム)， s (秒)， A (アンペア)を用いて $m^{-1} kg^2 s^{1/2} A^{-1/3}$ のように表せ。指数が0や1の場合にも省略せず記すこと。

スイッチを入れて十分な時間がたつと、自由電子の速度や電流が一定値に落ち着く(定常状態)。問題(3)から(10)は、定常状態について解答せよ。

- (3) 抵抗器内の自由電子の速度 v_s を求めよ。右向きを正とする。[L, S, n, V, m, e, k]
- (4) 円柱の中心軸に垂直な断面を考える。微小時間 Δt の間にこの断面を通過する自由電子の数 ΔN を求めよ。ただし断面を左から右に通過する場合を正の量、逆方向を負の量であらわすこと。[$S, L, n, v_s, \Delta t$]
- (5) 抵抗器を流れる電流 I を求めよ。右向きを正とする。[$e, \Delta t, \Delta N$]
- (6) 抵抗器の抵抗値 R を求めよ。[L, S, n, m, e, k]
- (7) 抵抗器の体積を一定に保ちつつ、抵抗値 $R' = R/10$ の円柱型抵抗器を作る。その長さ L' と断面積 S' を求めよ。[L, S]
- (8) この抵抗器の長さ L は 3.1 mm 、断面の円の直径は 2.0 mm 、抵抗値 R は $2.0 \times 10^{-2} \Omega$ である。また、この抵抗器の自由電子数密度 n は $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ である。 k の値を有効数字 2 桁で求めよ。単位は、問題(2)の解答と同じにすること。 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

現実の電池には図 2 のように内部抵抗がある。電池の電圧を V 、内部抵抗を r として問題(9)、(10)に答えよ。また問題(9)、(10)では断面積 S を保ったまま抵抗器の長さ L を自由に変えられ、それによって抵抗値 R も自由に変えられるものとする。

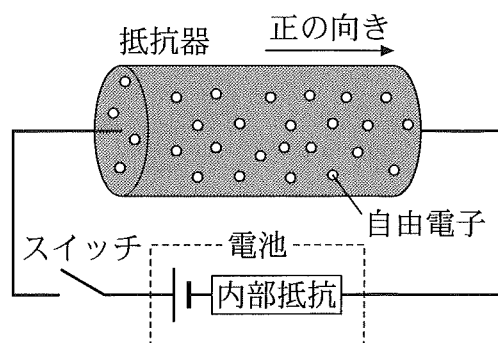


図 2

(9) 抵抗器の消費電力 P を求めよ。また、 P を R の関数として解答用紙中のグラフに示せ。[V, R, r]

(10) 抵抗器の消費電力を最大にする L を求めよ。[S, n, m, e, k, r]

以下では、図1の回路において、スイッチが切れている状態から、時刻 $t = 0$ にスイッチを入れた後の自由電子の運動について考える。スイッチを入れた瞬間に自由電子は静止しているものとする。また、スイッチを入れている間、電池は抵抗器内に問題(1)で求めたような電場をつくるものとする。

(11) スwitchを入れた後の、自由電子の運動方程式を記せ。ただし自由電子の加速度を a 、速度を v とする。右向きを正とする。[m, v, a, k, e, V, L]

(12) 問題(11)の運動方程式を t の関数として解くと、 $v(t) = Ae^{-Bt} + C$ の形になることが知られている。ただし $e = 2.718\cdots$ は自然対数の底(ネイピア数)であり、 A, B, C は定数である。加速度 $a(t)$ が速度 $v(t)$ の時間微分であることを使って、定数 A, B, C を求めよ。[m, k, e, V, L]