

# 理科問題紙

平成 25 年 2 月 25 日

自 13 : 50

至 15 : 50

## 答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は 1 から 21 までの 21 ページである。
2. 解答用紙は、生物 ⑦，⑧，化学 ⑨，⑩，物理 ⑪，⑫，⑬ の 7 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、円形ピストンが円筒形容器にはめこまれた装置がある。ピストンの面積は  $20 \text{ cm}^2$  とする。容器には  $0.020 \text{ mol}$  の単原子分子の理想気体が封入されている。容器内の気体のみを加熱する仕掛けがあり、この仕掛け以外から気体に出入りする熱量は無視できるほど小さいとする。必要ならば、気体定数は  $8.3 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  としなさい。次の各問に有効数字2桁の数値解で、適切な物理単位を付して答えなさい。

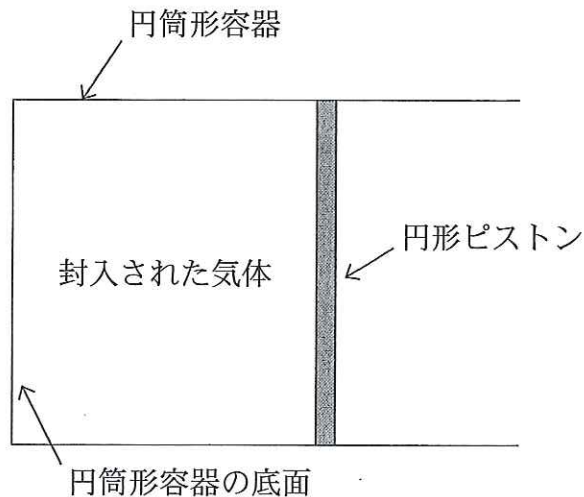


図1 装置の断面図

- 問1 容器内の気体を加熱したところ、内部の圧力は一定値  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  のままで、ピストンがしずかに  $1.0 \text{ cm}$  移動した。このとき、容器内の気体がした仕事はいくらか。ピストンと容器の間の摩擦が無視できるほど小さいとして答えなさい。

- 問2 問1の条件で、容器内の気体がいくら温度上昇したかを求めなさい。

次に、ピストンと容器の間に摩擦がある場合を考える。はじめ、容器内の気体の圧力は  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、ピストンと円筒形容器底面の距離は  $20 \text{ cm}$  であった。問 3、問 4 で、外気圧は常に  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  であり、ピストンと容器の間には全体で  $20 \text{ N}$  の垂直抗力が働いているとする。

問 3 容器内の気体を加熱して温度を  $20 \text{ K}$  上げたところ、ピストンは動かなかった。このとき、ピストンと容器の間の摩擦係数が満たす条件を答えなさい。

次に、摩擦に抗してピストンが動く場合を考える。ピストンと容器の動摩擦係数を  $0.50$  とし、摩擦による発熱が容器内の気体の温度に影響しないとする。

問 4 容器内の気体を少しずつ加熱したところ、ピストンは一方向に少しずつ動き続けて止まった。ピストンが動き始めてから止まるまでに加えた熱量を  $105 \text{ J}$  とし、その間の気体の圧力は一定と近似する。ピストンが動いた距離と、ピストンが動き始めてから止まるまでの容器内の気体の温度上昇は、それぞれいくらか。

2 広大な海域を利用して夜間の電気エネルギーを保存して、昼間に発電するシステムを考えた。このシステムでは発電装置を海に沈め、沈む時に装置の周りに発生する海水の流れを利用して発電する。そのために潜水艦のように沈む時は中に海水を取り込み、浮上するときは圧縮空気を使って排水し浮力を得て浮かぶ装置を作製した。

この装置は海水を取り込むタンク、圧縮空気を蓄えるポンペ、装置の周りに発生する海水の流れを利用して発電するためのタービンを備えている。発電した電力はケーブルを通して送電することが出来、外部からの電力を使ってポンペに圧縮空気を蓄えることが出来る。

このシステムの概要は次のとおりである。

1. 装置が海面にあるときはケーブルを伝って装置に夜間余剰電力が供給され、装置内のポンペに圧縮空気が蓄えられる。
2. 電力の需要が増した時に、装置内タンクに海水を取り込み、装置の質量を増やす。そうすることで、下向きの力を得て、海中に装置が沈む。
3. 装置が沈んでいる時、装置の周りには海水の流れが生じる。それを利用して発電する。発電した電力はケーブルを伝って送電される。
4. 海面から深さ  $l$  の位置まで沈んだところで、ポンペ内の圧縮空気を使って装置内から海水を排水する。圧縮空気は一度ですべて使い切りポンペは初期状態となる。また、海水を取り込んだタンクは空になる。これによって、装置の質量を減少させ、上向きの力を得る。
5. 装置が浮かんでいく時も、沈む時と同様、装置の周りに発生する海水の流れを利用して発電する。
6. 海面まで到達したら、余剰電力によって圧縮空気が蓄えられるまで待機する。

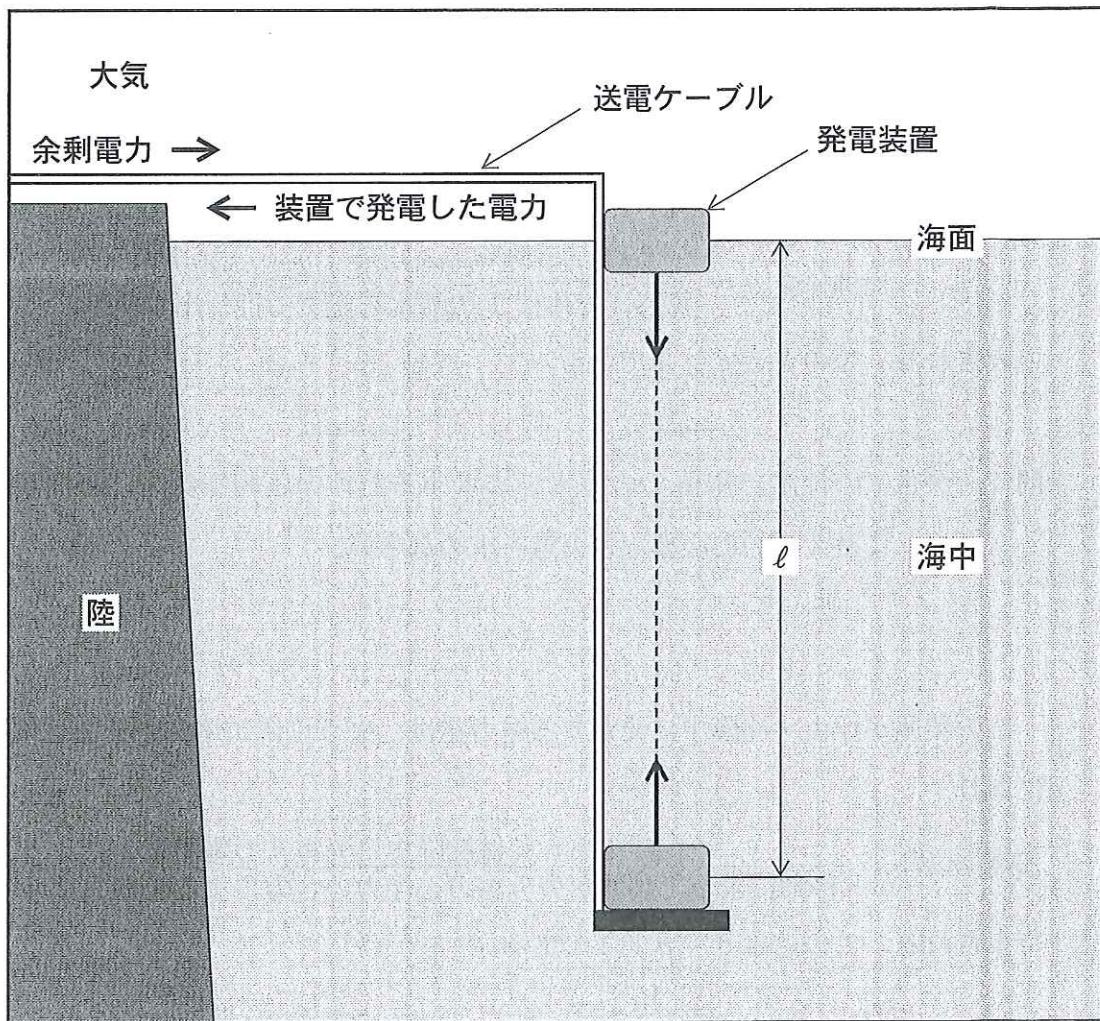


図2 装置の概要

このような装置を製作したところ、装置の体積は常に  $V$  で、タンクが空の時の装置全体の質量が  $M$  となった。タンクに取り込める海水の体積を  $T$  とする。圧縮空気の蓄積、消費による質量の変化は無視できるほど小さいものとして考えなさい。

次の各問に文字式で答えなさい。ただし、海面からの深さに関わらず、海水の密度は  $\rho$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。また、温度や海流の影響はないものとして考え、送電ケーブルは装置の運動には影響しないものとする。

問1 装置がこのような動作をするための条件を、 $\rho$ 、 $M$ 、 $V$ 、 $T$  を用いて表しなさい。取り込む水の量と重力・浮力の関係から考えなさい。

次に浮上するために必要なエネルギー(電力量)を考える。浮上するためのエネルギーは海面で初期状態のタンクに圧縮空気を作ることで装置に蓄えられる。必要な圧縮空気を蓄えるために使われる電力量と、海水をタンクからすべて排水するための仕事は比例関係にあり、

$$\text{比例係数 } \beta = \frac{\text{必要な圧縮空気を蓄えるための電力量}}{\text{深さ } l \text{ で体積 } T \text{ の海水を空気で押し出す仕事}}$$

で表される。このとき  $\beta > 1$  である。

問 2 深さ  $l$  の位置で体積  $T$  の海水を排水するための圧縮空気を、初期状態のタンクに蓄えるのに必要な電力量を求めなさい。

この装置が浮上・沈降中に発電する電力量は、失う位置エネルギーと比例関係にあり、

$$\text{発電効率 } \alpha = \frac{\text{浮上もしくは沈降中に発電する電力量}}{\text{移動によって装置が失う重力と浮力の合力による位置エネルギー}}$$

で表される。このとき  $0 < \alpha < 1$  である。

問 3 深さ  $l$  の位置から海面に浮上する間に発電する電力量を求めなさい。

いま、装置は海面に浮上していてポンベは初期状態であったとする。電気が供給され圧縮空気が必要なだけ蓄えられ、その後、海水をタンク内に取り込み、重くなった装置は、発電しつつ、深さ  $l$  まで沈んだ。深さ  $l$  の位置でタンク内の海水を空にした。そして軽くなることによって、上向きの力を得て、海面まで発電しつつ浮上した。

問 4 このとき、装置に供給された電力量と装置で発電された電力量の差を求めなさい。さらに供給と発電のどちらの電力量が大きいかを答えなさい。

3 今、初期状態で、真空中に2個の点電荷 A と B が距離  $L$  の位置に固定され、静止している。その点電荷の大きさの絶対値はともに素電荷  $e$  である。それらの質量と電荷の符号は、それぞれ、A が  $M$  で正、B が  $m$  で負である。時刻  $t = 0$  に、点電荷 B の固定が解かれて、運動を開始した。

ここで、A の点電荷が座標の原点にあり動かないものとして考えなさい。また、これら2個の点電荷の質量から生ずる万有引力は、静電気力に比べて、無視できるほど小さいものとする。

次の各問に、問1、問2は文字式で、問3、問4は数値で答えなさい。数値計算は有効数字2桁として、必要ならば、クーロンの法則の比例定数として  $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$  を、電子の質量として  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  を用いなさい。なお、点電荷 B が無限遠の時の静電気力による位置エネルギーを0とする。

問1 点電荷 B が動き出し、2個の点電荷間の距離が  $R$  になった。その時の、静電気力による位置エネルギーは、初期の値の何倍か？

問2 その2個の点電荷間の距離が  $\frac{L}{101}$  になった瞬間の点電荷 B の速さはいくらか？

問3 今、B が電子として、 $L = 1.0 \text{ m}$  の場合、上記問2の電子が、 $\frac{L}{101}$  の点を通る瞬間の速さを求めなさい。

問4 A が陽子、B が電子として、上記の運動の後、十分な時間が経過したとして、A と B は中性の1個の水素原子を形成し、B は A を中心に円運動した。この時、電子の軌道半径を  $0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$  として、その静電気力による位置エネルギーの値を、電子ボルト単位で求めなさい。