

## 平成 28 年度・入学試験問題

# 理 科 (前)

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は 35 ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意(重要)  
「物理」、 「化学」、 「生物」のうち 2 科目を選択して解答しなさい。  
選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後、90 分で回収します。それ以後は  
選択の変更は認めません。  
全科目の解答用紙 5 枚ともに受験番号を記入しなさい。

# 物 理

## 物理問題 1

図1のように真空中(誘電率  $\epsilon_0$ )で向かいあった面積  $S$  の金属極板 A, B は平行平板コンデンサーを形成している。極板 A の質量は  $M$  である。極板 A は質量の無視できるばね定数  $k$  の導体ばねに接続されている。極板 B は固定されている。スイッチ P を閉じると導体ばねを通して電圧  $V$  が両極板間にかかる。極板 A は、極板 B と常に平行を保ちながら絶縁体の床の上を水平方向(図の左右の方向)に摩擦なく動くことができる。極板 A の変位を  $x$  であらわし、ばねが自然長のときの極板 A の位置が  $x = 0$  となるように原点を取る。  $x = 0$  のときの極板間距離は  $d$  とする。極板間距離が増大する方向を変位  $x$  の正の方向とし、常に  $x/d$  の絶対値が 1 に比べて十分に小さいものとする。極板間の電場は一様であり、電気回路のインダクタンス及び抵抗は無視できるほど小さいものとして、以下の空欄を  $\epsilon_0, V, d, x, S, k, M$  のうち必要なものを用いて埋めよ。

コンデンサーの極板間距離を  $d$  で固定しておき、スイッチ P を閉じてコンデンサーを十分長い時間充電した。その時のコンデンサーの電気容量は  であり、極板 A に蓄えられる電荷は  である。その後スイッチ P を開き、極板 A の固定を解除すると極板 A は単振動を始めた。極板 A が  $x$  の位置にあるとき、コンデンサーの電気容量は  であり、極板 A に蓄えられる電荷は  であり、静電エネルギー  $U_Q$  は  である。

極板 A に働く力として、ばねの弾性力の他に極板間に働く静電気力を考慮する必要がある。  $x$  が  $x + \Delta x$  に変化したとき、静電エネルギーの変化量は  $\Delta U_Q =$    $\times \Delta x$  になるので、極板間に働く静電気力は  となる。

極板 A が  $x$  の位置にあるときの運動方程式は、極板 A の加速度を  $a$  とすると、ばねの弾性力および静電気力の両方の力を考慮して  $Ma =$   となる。この場合の単振動の周期は  となり、振動の中心は  の位置となる。

次に、コンデンサーの極板間距離を再び  $d$  に戻して固定し、スイッチ  $P$  を閉じてコンデンサーを十分長い時間充電した。その後スイッチ  $P$  を閉じたまま、極板  $A$  の固定を解除すると極板  $A$  は単振動を始めた。極板  $A$  が  $x$  の位置にあるとき、コンデンサーの電気容量は  であり、極板  $A$  に蓄えられる電荷は  であり、静電エネルギー  $U_V$  は  である。

$x$  が  $x + \Delta x$  に変化したとき、静電エネルギー  $U_V$  の変化量  $\Delta U_V$  は   $\times \Delta x$  となる。極板間距離が増大すると静電エネルギー  $U_V$  が変化すると同時に、コンデンサーは電池に対して仕事をする。 $x$  が  $x + \Delta x$  に変化したとき、電荷の変化量  $\Delta Q$  は   $\times \Delta x$  となり、コンデンサーが電池に対してする仕事  $\Delta W_V$  は   $\times \Delta x$  となる。したがって、極板間に働く静電気力は  となる。必要に応じて  $1/[(d+x+\Delta x)(d+x)] \cong 1/(d+x)^2$  という近似式を利用せよ。

極板  $A$  が  $x$  の位置にあるときの運動方程式は、極板  $A$  の加速度を  $a'$  とすると、ばねの弾性力および上記で求めた静電気力の両者を考慮して  $Ma' =$   となる。この場合の単振動の周期は  となり、振動の中心は  となる。ただし必要に応じて  $1/(d+x)^2 \cong 1/d^2 \times (1 - 2x/d)$  という近似式を利用せよ。

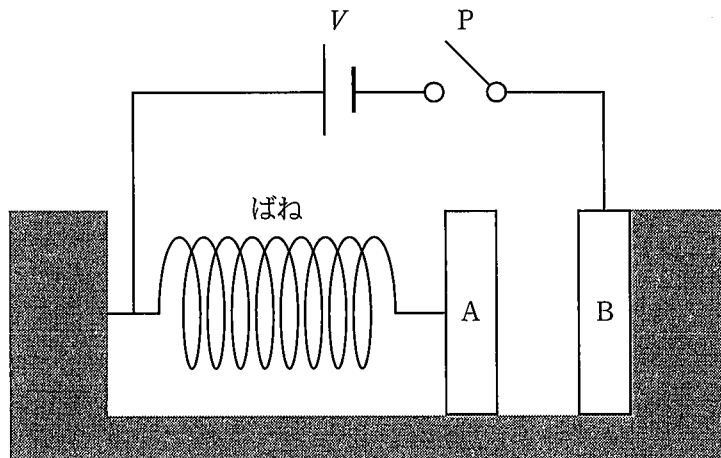


図 1

## 物理問題 2

滑らかに動くピストンを使ってシリンダー内に  $n$  (mol) の単原子分子理想気体を封じ込め、変化  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  を 1 サイクルとする熱機関 1 (図 1) と変化  $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$  を 1 サイクルとする熱機関 2 (図 2) をつくった。以下の設問に答えよ。ただし、設問(2)~(9)に関しては図の圧力  $p_a$ ,  $p_b$  と体積  $V_a$ ,  $V_d$  のうち必要なものを用いること。なお、絶対温度  $T$  におけるこの単原子分子理想気体の内部エネルギーを  $\frac{3}{2} nRT$  とする ( $R$  は気体定数)。

- (1) 熱機関 1 における 4 種類の変化 ( $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow D$ ,  $D \rightarrow A$ ) を、気体が高温熱源から熱を吸収する変化と低温熱源に熱を放出する変化に分類せよ。
- (2) 熱機関 1 に関して変化  $B \rightarrow C$  で気体が外部にした仕事  $W_{bc1}$  を求めよ。
- (3) 1 サイクルの間に高温熱源から熱機関 1 に与えられた熱量  $Q_1$  を求めよ。
- (4) 1 サイクルの間に熱機関 1 が外部に対してする仕事  $W_1$  を求めよ。
- (5) 熱機関 1 の熱効率  $e_1$  を求めよ。
- (6) 熱機関 2 に関して変化  $B \rightarrow D$  で気体が外部にする仕事  $W_{bd2}$  を求めよ。
- (7) 熱機関 2 に関して変化  $B \rightarrow D$  で気体が吸収する熱量  $Q_{bd2}$  を求めよ。
- (8) 1 サイクルの間に熱機関 2 が外部に対してする仕事  $W_2$  を求めよ。
- (9) 熱機関 2 の熱効率  $e_2$  を求めよ。ただし、 $Q_{bd2} > 0$  とする。
- (10) 熱機関 1 と 2 の熱効率の上限値はどちらが大きいのか。その理由とともに述べよ。

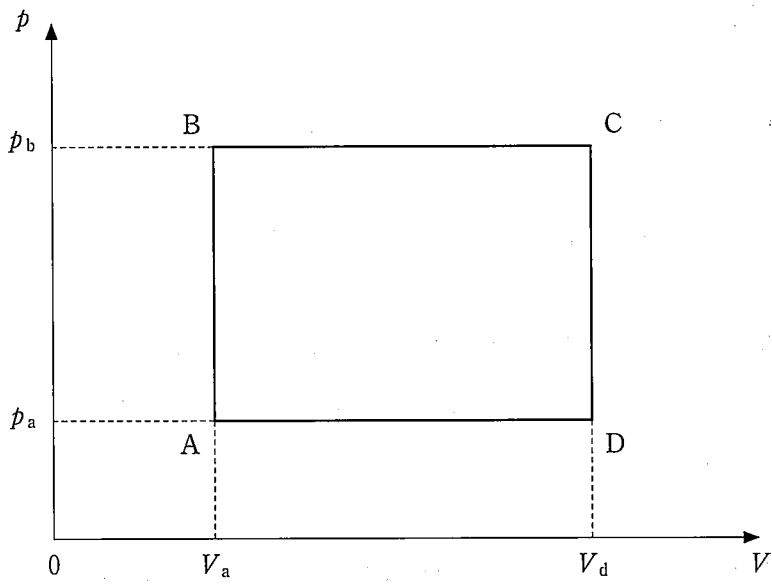


图 1

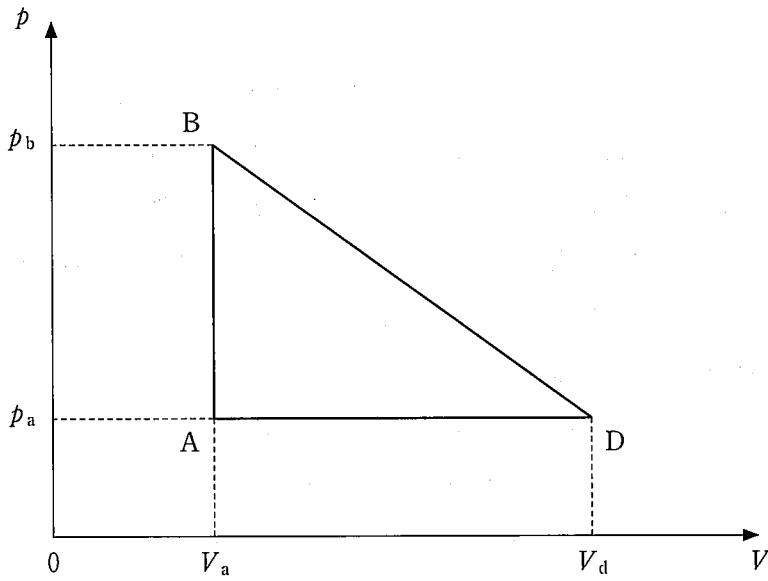


图 2

### 物理問題 3

真空中(屈折率1)に置かれた図1の光学装置を考える。光源からは位相がそろった波長 $\lambda$ の単色平行光が鏡1に向けて放射され、ハーフミラーによって鏡1に向かう光と鏡2に向かう光とに分けられる。鏡1に向かった光は、鏡1によって入射方向に反射したのち、ハーフミラーによって直角に向きを変え、スクリーンに到達する。鏡2に向かった光は、鏡2によって入射方向に反射したのち、ハーフミラーを直進してスクリーンに到達する。ハーフミラーの厚さは無視できるとする。以下の設問に答えよ。

- (1) 鏡2をスクリーンに対して平行を保ったままゆっくり近づけると、スクリーンが一様に明るくなったり暗くなったりを繰り返した。スクリーンがもっとも明るくなってから、次に再びもっとも明るくなるまでの鏡2の移動距離 $D$ を求めよ。
- (2) スクリーンがもっとも明るくなったところで鏡2を止め、反時計回り(図1参照)に微小角度 $\theta$ だけ回転させたところ、スクリーンに干渉縞が現れた。干渉縞は、明線と暗線が交互に平行に並んでおり、隣り合う明線と明線の間隔は $d$ であった。 $d$ を $\lambda$ と $\theta$ を用いて表せ。ただし、 $\theta$ は十分小さく、鏡を回転させたことによる光の進路の変化は無視できるとする。
- (3) (2)の状態から、 $\theta$ を固定したまま鏡2を一定の速さでスクリーンに近づけたところ、スクリーン上の干渉縞が一定の速さで動いた。動いた向きは左か右か(図1参照)答えよ。また、その理由を述べよ。
- (4) (3)において、鏡2の移動速度を $V$ とし、干渉縞の移動速度を $v$ とする。 $V$ を、 $\lambda$ 、 $\theta$ 、 $v$ のいずれか(もしくは全て)を用いて表せ。
- (5) (3)において、干渉縞の移動速度が $v = 1.0 \text{ mm/s}$ であったとき、鏡2の移動速度 $V$ を単位付きで有効数字2桁まで求めよ。ただし、 $\lambda = 500 \text{ nm}$ 、 $\theta = 1.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$ を用いよ。また、 $\theta$ が十分小さいので、 $\tan \theta \cong \theta$ と近似して良い。

- (6) (2)において、鏡2を回転させることで、実際にはスクリーンに投影される光の位置が $d'$ だけ右にずれる。 $d'$ は干渉縞の間隔 $d$ と比べて大きいか小さいか答えよ。また、その理由を述べよ。ただし、鏡2とスクリーンの距離を $H = 10\text{ cm}$ とし、それ以外の物理量は(5)で与えた値を用いること。

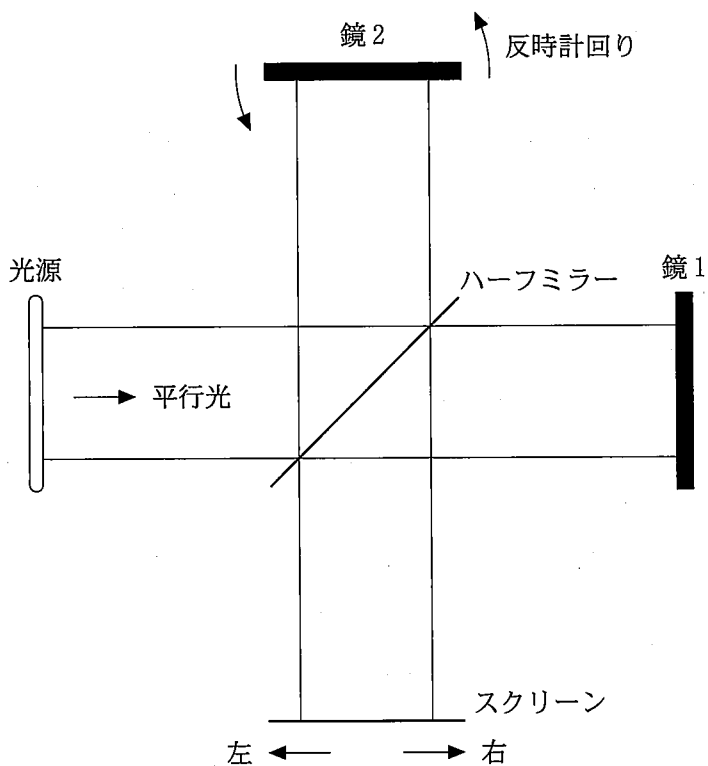
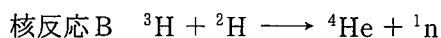
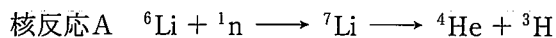


図1

## 物理問題 4

原子炉中の一連の核反応 A, B について以下の設問に答えよ。



ただし、結合エネルギーを、 ${}^2\text{H}$ : 2.2 MeV,  ${}^3\text{H}$ : 8.5 MeV,  ${}^4\text{He}$ : 28.3 MeV,  ${}^6\text{Li}$ : 32.0 MeV とする。解答は MeV の単位で小数点以下第一位まで求めよ。

- (1) 核反応 A により生じるエネルギーの値を求めよ。ただし、 ${}^6\text{Li}$  と  ${}^1_0\text{n}$  は静止しているとみなすことができるとする。
- (2) 核反応 A で生じたエネルギーが全て生成された原子核の運動エネルギーとなった場合、 ${}^3\text{H}$  の運動エネルギーの値を求めよ。原子核の質量は、 ${}^1_0\text{n}$ : 1.0 u,  ${}^3\text{H}$ : 3.0 u,  ${}^4\text{He}$ : 4.0 u を用いよ。
- (3) 続く核反応 B において、(2) で求めた運動エネルギーを持った  ${}^3\text{H}$  が静止した  ${}^2\text{H}$  と衝突・核反応した結果生じる運動エネルギーの和を求めよ。ただし、核反応で生じたエネルギーは全て生成された  ${}^4\text{He}$  と  ${}^1_0\text{n}$  の運動エネルギーになるものとする。
- (4) (3) において、 ${}^3\text{H}$  の進行方向と直角に  ${}^1_0\text{n}$  が発射されたときの  ${}^1_0\text{n}$  の運動エネルギーの値を求めよ。また、導出過程も示すこと。原子核の質量は、 ${}^1_0\text{n}$ : 1.0 u,  ${}^3\text{H}$ : 3.0 u,  ${}^4\text{He}$ : 4.0 u を用いよ。