

2019年度

B<sub>a</sub> 物理問題

## 注意

1. 試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙はすべてHBの黒鉛筆またはHBの黒のシャープペンシルで記入することになっています。HBの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
3. この問題冊子は12ページまでとなっています。試験開始後、ただちにページ数を確認してください。なお、問題番号はⅠ～Ⅲとなっています。
4. 解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので、出席票の受験番号が、あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し、出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお、出席票は切り離さないでください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し、その他の部分には何も書いてはいけません。
6. 解答用紙を折り曲げたり、破ったり、傷つけたりしないように注意してください。
7. 計算には、この問題冊子の余白部分を使ってください。
8. この問題冊子は持ち帰ってください。

## マーク・センス法についての注意

マーク・センス法とは、鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。

1. マークは、下記の記入例のようにHBの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2. 1つのマーク欄には1つしかマークしてはいけません。
3. 訂正する場合は消しゴムでよく消し、消しきずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例：

A	1	2	3	4	5
	○	○	●	○	○

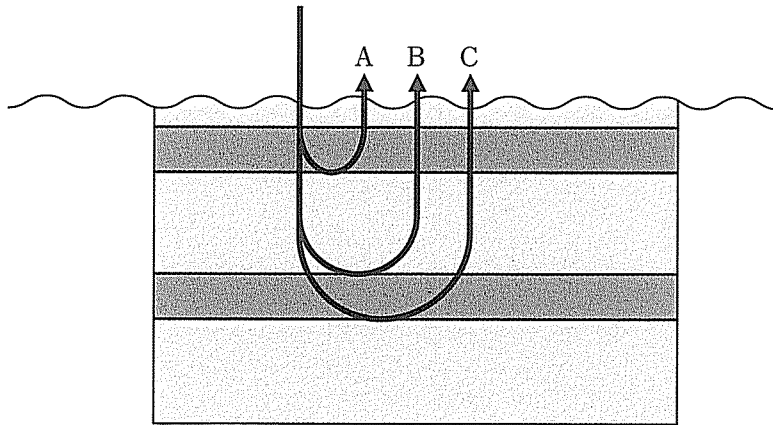
 (3と解答する場合)

I. 次の文A～Dの空所  ～  のそれぞれにあてはまる数式または数値を、解答用紙の所定欄にしるせ。

A. 質量  $m$  で電荷  $q$  を持った小球が長さ  $l$  の絶縁体の糸でつり下げられている。水平方向に一様な電場  $E$  を与えると、その小球は糸がぴんと張って鉛直方向とある角度をもって静止した。糸が張ったまま小球をその角度からすこしずらして離すと小球は振動する。振動による角度の変化が充分小さいとしてその振動の周期は  である。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

B. 正四面体の辺からなる立体的な回路があり、各辺には抵抗値  $R$  の抵抗が取り付けられている。このとき、任意の2つの頂点間の合成抵抗は  である。

C. 屈折率の異なる 2 種類の薄膜を交互に何回も重ねることで特定の波長の光を選択的に反射させることができる。今、図のように交互に重ねられた薄膜に波長 450 nm の光が垂直に入射している。2 種類の薄膜の屈折率をそれぞれ 1.2 と 1.5 とし、反射光 A, B, C のいずれもお互いに強めあうように干渉している。反射光の強度を最大にしながら薄膜をできるだけ薄くしたいとき、2 種類の薄膜のうち、薄い方の一層の厚さを有効数字 2 桁で求めると  nm である。



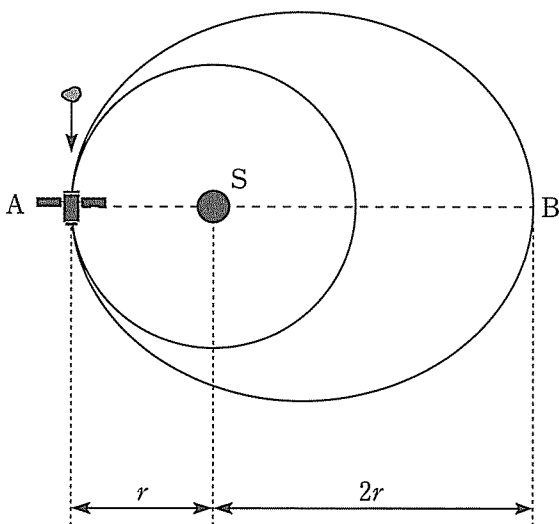
図

D. 半減期  $T$  で崩壊する不安定な原子核が、時刻  $t = 0$  において  $N_0$  個あった。その後、時刻  $t = 2T$  で崩壊せずに残った原子核の個数は  $N_1$  個であり、時刻  $t = 10T$  では  $N_2$  個であった。このとき、 $N_1/N_2 =$   である。

【必要があれば、このページは計算用紙に使用してよい】

II. 次の文を読み、空所  ～  にあてはまる数式を、解答用紙の所定欄にしるせ。ただし、万有引力定数を  $G$  とする。

図のように質量  $M$  の星  $S$  の周りを、質量  $m$  の人工衛星が半径  $r$  の円軌道で周回している。あるとき、円軌道上の地点  $A$  で、人工衛星にその進行方向に対して後方から小隕石が衝突し、人工衛星が円軌道から外れてしまった。衝突後の軌道は、星  $S$  を焦点の 1 つとする楕円となり、楕円軌道上の星  $S$  から最も離れた位置（地点  $B$ ）において、星  $S$  と人工衛星の間の距離は  $2r$  であった。ただし、人工衛星の運動は、太陽の周りの惑星の運動と同様に、ケプラーの法則が成り立つものとする。



図

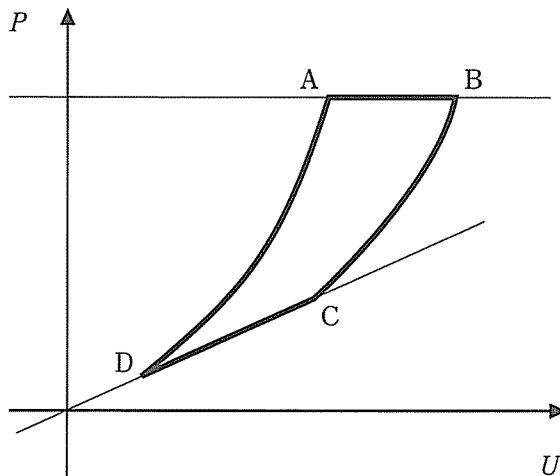
1. 小隕石が衝突する前、人工衛星は等速円運動をしており、周回周期は  である。また、ケプラーの第 3 法則を用いると、衝突後の楕円軌道の周回周期は  と求められる。
2. 衝突後の楕円軌道について、ケプラーの第 2 法則（面積速度一定）および力学的エネルギー保存則を利用すると、地点  $B$  における人工衛星の速度の大きさは  と求められる。これより、小隕石が人工衛星にした仕事の大きさは  である。
3. 人工衛星の質量のうち  $m/\sqrt{2}$  を燃料ガスが占めている。人工衛星が楕円軌道上の地点  $B$  にきた瞬間に、燃料ガス全てを進行方向の逆向きに噴射し、その反作用で加速することを考える。加速後の周回軌道を半径  $2r$  の円軌道とするために、 $B$  地点での速度を

噴射前の速度の  倍にした。このとき、ガス噴射後の、人工衛星に対する燃料ガスの相対速度の大きさは  である。

Ⅲ. 次の文を読み、下記の設問 1～5 に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

$n$  モルの単原子分子理想気体を用いて図のようなサイクル  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  を作った。図の横軸  $U$  は気体の内部エネルギーであり、気体定数を  $R$  として、気体の温度  $T$  から  $U = \frac{3}{2} nRT$  と与えられる。図の縦軸は気体の圧力  $P$  である。過程  $A \rightarrow B$  では気体の圧力は一定であり、過程  $C \rightarrow D$  では圧力  $P$  と内部エネルギー  $U$  は比例関係にあり原点を通る直線上にある。また、過程  $B \rightarrow C$  と過程  $D \rightarrow A$  では気体は断熱変化する。サイクルの各頂点  $A, B, C, D$  での内部エネルギーを  $U_A, U_B, U_C, U_D$  とし、圧力を  $P_A, P_B, P_C, P_D$  とする。このサイクル中でもっとも体積が小さい点は  である。

このサイクルの熱効率を求めるために、それぞれの過程で気体が外部にした仕事と気体が吸収した熱量を求める。ただし、以下では気体が熱を放出する時は吸収した熱量が負であると定める。過程  $A \rightarrow B$  では、内部エネルギーの変化は  であり、気体が吸収した熱量は  である。過程  $B \rightarrow C$  では、気体は断熱変化するので、外部にした仕事は  である。過程  $C \rightarrow D$  では、内部エネルギーの変化は  であり、気体が吸収した熱量は  である。過程  $D \rightarrow A$  では、気体は断熱変化するので、外部にした仕事は  である。よって、このサイクルの熱効率は  と計算される。



図

微小な断熱変化において単原子分子理想気体の内部エネルギーの変化を  $\Delta U$  とする。気体が体積  $V$  から  $V + \Delta V$  まで  $\Delta V$  だけ微小に膨張する際に外部にする仕事  $W$  を計算す

ると、微小な断熱変化では圧力  $P$  の変化は無視でき、 $W = P\Delta V$  で与えられる。これより、微小な断熱変化では、単原子分子理想気体の内部エネルギーの微小変化は体積の微小変化に比例して  $\frac{\Delta U}{U} = \boxed{\text{い}} \times \frac{\Delta V}{V}$  になる。この考え方を一般化することによって、単原子分子理想気体の断熱変化では  $UV^{\frac{2}{3}} = \text{一定}$  という関係式が成り立つことが知られている。この関係式を利用すると、このサイクルの熱効率を2つの圧力比  $x = \frac{P_B}{P_D}$ ,  $y = \frac{P_C}{P_D}$  を用いてあらわすことができ  $1 - \frac{3}{5}x^k \frac{1-y}{1-y^{\frac{5}{3}}}$  となる。ここで  $k = \boxed{\text{う}}$  である。

1. 文中の空所  $\boxed{\text{イ}}$  にあてはまるものとしてもっとも適当なものを、次の a ~ e から1つ選び、その記号をマークせよ。

- a. A      b. B      c. C      d. D      e. A, B, C, D以外の点

2. 文中の空所  $\boxed{\text{ロ}}$  ~  $\boxed{\text{ト}}$  それぞれにあてはまる数式としてもっとも適当なものを、次の a ~ f から1つずつ選び、その記号をマークせよ。

$\boxed{\text{ロ}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_A - U_B)$     b.  $\frac{2}{3}(U_B - U_A)$     c.  $U_A - U_B$   
           d.  $U_B - U_A$             e.  $\frac{5}{3}(U_A - U_B)$     f.  $\frac{5}{3}(U_B - U_A)$

$\boxed{\text{ハ}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_A - U_B)$     b.  $\frac{2}{3}(U_B - U_A)$     c.  $U_A - U_B$   
           d.  $U_B - U_A$             e.  $\frac{5}{3}(U_A - U_B)$     f.  $\frac{5}{3}(U_B - U_A)$

$\boxed{\text{ニ}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_B - U_C)$     b.  $\frac{2}{3}(U_C - U_B)$     c.  $U_B - U_C$   
           d.  $U_C - U_B$             e.  $\frac{5}{3}(U_B - U_C)$     f.  $\frac{5}{3}(U_C - U_B)$

$\boxed{\text{ホ}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_C - U_D)$     b.  $\frac{2}{3}(U_D - U_C)$     c.  $U_C - U_D$   
           d.  $U_D - U_C$             e.  $\frac{5}{3}(U_C - U_D)$     f.  $\frac{5}{3}(U_D - U_C)$

$\boxed{\text{ヘ}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_C - U_D)$     b.  $\frac{2}{3}(U_D - U_C)$     c.  $U_C - U_D$   
           d.  $U_D - U_C$             e.  $\frac{5}{3}(U_C - U_D)$     f.  $\frac{5}{3}(U_D - U_C)$

$\boxed{\text{ト}}$     a.  $\frac{2}{3}(U_D - U_A)$     b.  $\frac{2}{3}(U_A - U_D)$     c.  $U_D - U_A$   
           d.  $U_A - U_D$             e.  $\frac{5}{3}(U_D - U_A)$     f.  $\frac{5}{3}(U_A - U_D)$



3. 文中の空所  にあてはまる数式を  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $U_D$  を用いてしるせ。
4. 文中の空所  にあてはまる数をしるせ。
5. 文中の空所  にあてはまる数をしるせ。

【以下余白】



