立教大学 物理学科
生命理学科

2019年度

Bb 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～Ⅳ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，消しくずはきれいに取り除いてください。

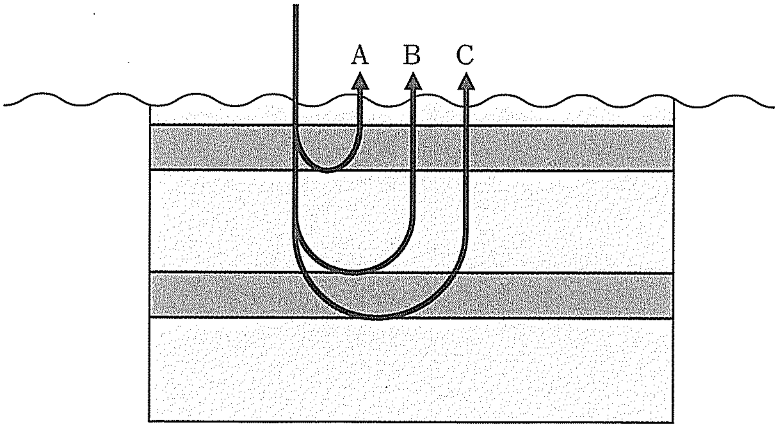
マーク記入例： | A | 1 ○ 2 ○ 3 ● 4 ○ 5 ○ | （3と解答する場合）

I．次の文A～Dの空所 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{え}}$ 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 $\boxed{\text{あ}}$ 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 $\boxed{\text{い}}$ 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 $\boxed{\text{う}}$ nm である。



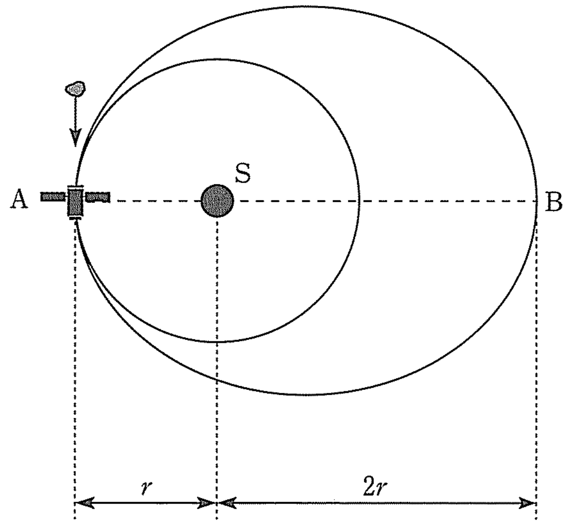
図

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，$N_1/N_2=$ $\boxed{\text{え}}$ 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 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{か}}$ 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 $\boxed{\text{あ}}$ 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 $\boxed{\text{い}}$ 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 $\boxed{\text{う}}$ 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 $\boxed{\text{え}}$ である。

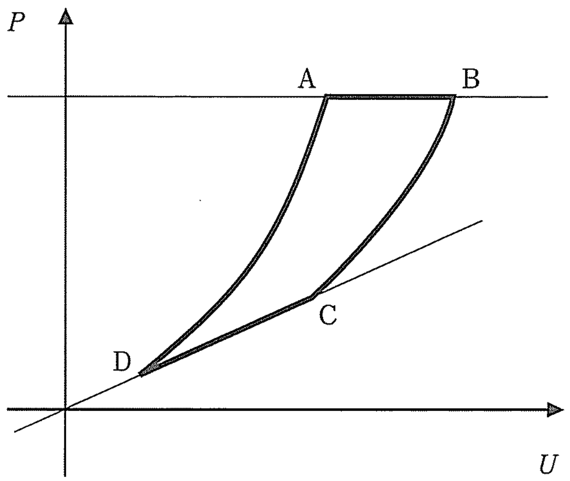
3．人工衛星の質量のうち $m/\sqrt{2}$ を燃料ガスが占めている。人工衛星が楕円軌道上の地点Bにきた瞬間に，燃料ガス全てを進行方向の逆向きに噴射し，その反作用で加速することを考える。加速後の周回軌道を半径 $2r$ の円軌道とするために，B地点での速度を

噴射前の速度の $\boxed{\text{お}}$ 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 $\boxed{\text{か}}$ 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→B→C→D→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→Bでは気体の圧力は一定であり，過程C→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→Cと過程D→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 $\boxed{\text{イ}}$ 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→Bでは，内部エネルギーの変化は $\boxed{\text{ロ}}$ であり，気体が吸収した熱量は $\boxed{\text{ハ}}$ である。過程B→Cでは，気体は断熱変化するので，外部にした仕事は $\boxed{\text{ニ}}$ である。過程C→Dでは，内部エネルギーの変化は $\boxed{\text{ホ}}$ であり，気体が吸収した熱量は $\boxed{\text{ヘ}}$ である。過程D→Aでは，気体は断熱変化するので，外部にした仕事は $\boxed{\text{ト}}$ である。よって，このサイクルの熱効率は $\boxed{\text{あ}}$ 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 ΔU とする。気体が体積 V から $V+\Delta V$ まで ΔV 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 $\dfrac{\Delta U}{U} = \boxed{\text{い}} \times \dfrac{\Delta V}{V}$ 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 $UV^{\frac{2}{3}} =$ 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 $x = \dfrac{P_B}{P_D}$，$y = \dfrac{P_C}{P_D}$ を用いてあらわすことができ $1 - \dfrac{3}{5} x^k \dfrac{1-y}{1-y^{\frac{3}{5}}}$ 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 $\boxed{\text{あ}}$ 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 $\boxed{\text{い}}$ にあてはまる数をしるせ。

5．文中の空所 $\boxed{\text{う}}$ にあてはまる数をしるせ。

Ⅳ．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。

波長 λ のＸ線を物質に照射すると，散乱されたＸ線には入射Ｘ線とは異なる波長 λ' をもつ成分が含まれる。この現象は，Ｘ線を光子と考え，光子が運動量をもつ粒子として電子と弾性衝突する現象として説明できる。

いま，散乱前の電子は静止しているものとし，この電子に波長 λ の光子が衝突すると，散乱後の光子の運動量と入射光子の運動量とのなす角は θ となり，波長は λ' となった。一方，電子の運動量の大きさは p_e となった。ここで，プランク定数を h，光の速さを c，電子の質量を m とする。

散乱前と散乱後の光子の波長の変化を求めたい。まず，入射光子の運動量の大きさ p_γ は $p_\gamma = \boxed{\text{あ}}$ である。次に，散乱前後のエネルギー保存則より，散乱後の電子の運動エネルギー T は $T = \boxed{\text{い}}$ となる。一方，散乱前後の運動量保存則より，散乱後の電子の運動量の大きさの２乗 p_e^2 は $p_e^2 = \boxed{\text{う}}$ となる。以上の結果から，散乱前と散乱後の光子の波長の差は $\lambda' - \lambda = \boxed{\text{え}}$ となる。ここで，波長の差 $\lambda' - \lambda$ は λ と比べて充分小さいものとし，$\lambda'/\lambda + \lambda/\lambda' \fallingdotseq 2$ と近似できるものとする。同じ条件のもとで，ある一定の波長 λ の入射光子に対して散乱電子のエネルギーが最大になるときを考えると，光子の波長の変化は $\lambda' - \lambda = \boxed{\text{お}}$ である。

1．文中の空所 $\boxed{\text{あ}}$ にあてはまる数式を，h と λ を用いてしるせ。
2．文中の空所 $\boxed{\text{い}}$ にあてはまる数式を，λ，λ'，h，c を用いてしるせ。
3．文中の空所 $\boxed{\text{う}}$ にあてはまる数式を，λ，λ'，h，$\cos\theta$ を用いてしるせ。
4．文中の空所 $\boxed{\text{え}}$ にあてはまる数式を，h，c，$\cos\theta$，m を用いてしるせ。
5．文中の空所 $\boxed{\text{お}}$ にあてはまる数式を，m，c，h を用いてしるせ。

【以下余白】