

令和6年度
後期日程

物 理

工学部・応用生物科学部

問 題 冊 子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は8ページからなる。解答用紙は4枚である。落丁、乱丁、印刷不鮮明などの箇所があった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は、解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 解答用紙は持ち帰らないこと。
6. 問題冊子は持ち帰ること。
7. 大問ごとに、満点に対する配点の比率を表示してある。

1 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$)

図1のように、地球の中心 O から距離 r_A [m] にある人工衛星 A と、 O から距離 r_B [m] にある人工衛星 B がともに等速円運動をしている。距離 r_A , r_B は、 $r_A < r_B$ の関係にある。人工衛星 A の質量を m_A [kg]、人工衛星 B の質量を m_B [kg]、地球の質量を M [kg]、万有引力定数を G [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$] とする。また、万有引力は地球と人工衛星の間のみ考え、地球の運動および大気の影響は無視する。

問 1 人工衛星 A の角速度 ω_A [rad/s]、人工衛星 B の角速度 ω_B [rad/s] を、 G , M , m_A , m_B , r_A , r_B から必要なものを用いて表せ。また、 ω_A , ω_B の大小関係を、不等号を用いて表せ。

次に、図2のように、人工衛星 A と人工衛星 B が、質量の無視できる伸びないワイヤーで接続され、地球の中心 O 、人工衛星 A の位置 P 、人工衛星 B の位置 Q が一直線上にある場合を考える。このとき、人工衛星 A, B は、同じ角速度 ω_1 [rad/s] で地球を中心とした等速円運動をしており、ワイヤーの張力は S [N] ($S > 0$) であった。

問 2 人工衛星 A, B の角速度 ω_1 およびワイヤーの張力 S を、 G , M , m_A , m_B , r_A , r_B から必要なものを用いて表せ。また、不等号を用いて ω_A , ω_B , ω_1 の大小関係を表せ。

続いて、図3のように、人工衛星 A と人工衛星 B を接続するワイヤーを位置 P' および位置 Q' で瞬時に切断した。その結果、人工衛星 A は位置 P' で地球から最も離れ、 O に対し位置 P' と反対側の位置 R で地球に最も近づく楕円軌道を描いた。このときの OR を r_A' [m] とする。一方、人工衛星 B は地球の重力の影響を受けない無限遠方へと遠ざかった。ただし、切断におけるワイヤーの影響はないものとする。

問 3 ケプラーの第2法則(面積速度一定の法則)を用いて、位置 R における人工衛星 A の速さ v_A' [m/s] を、 G , M , m_A , r_A , r_A' , ω_1 から必要なものを用いて表せ。

問 4 人工衛星 B が地球を周回する軌道から離脱し、無限遠方へ遠ざかるための r_B の条件を、 G , M , m_B , r_B , ω_1 から必要なものを用いて表せ。

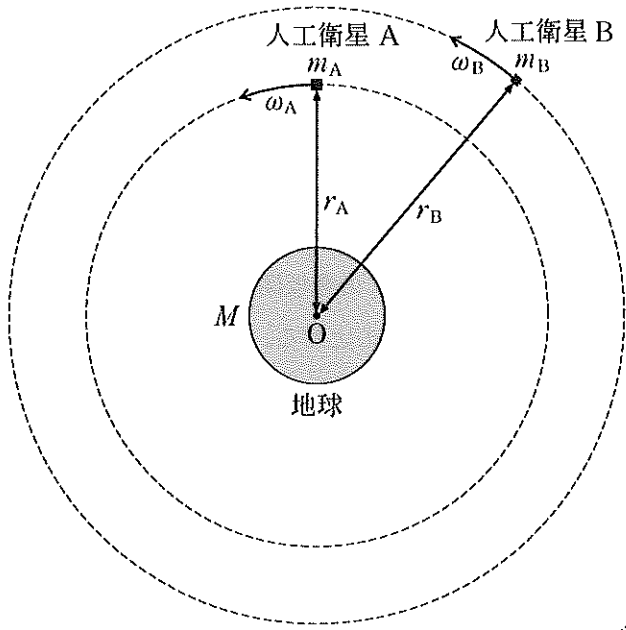


図 1

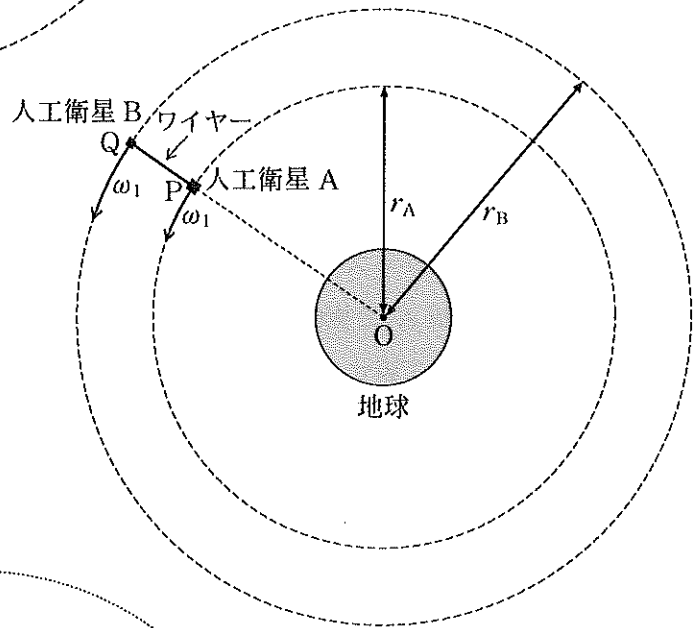


図 2

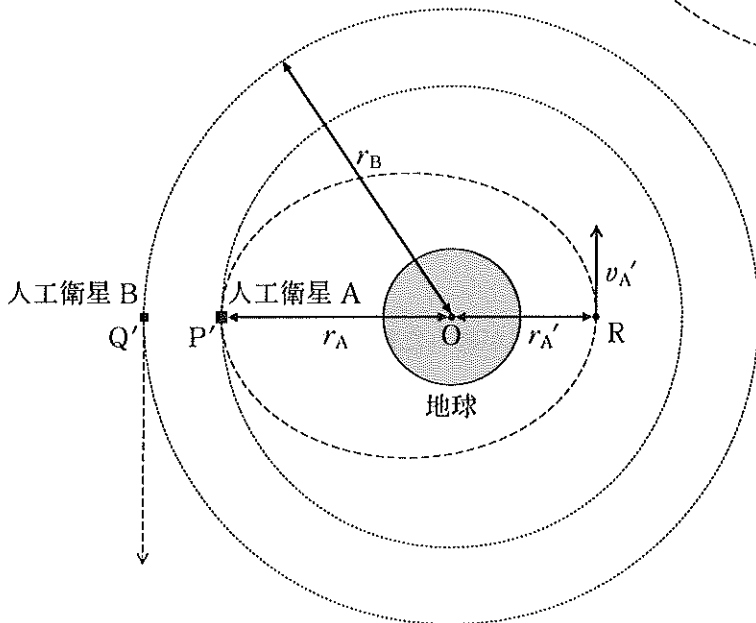


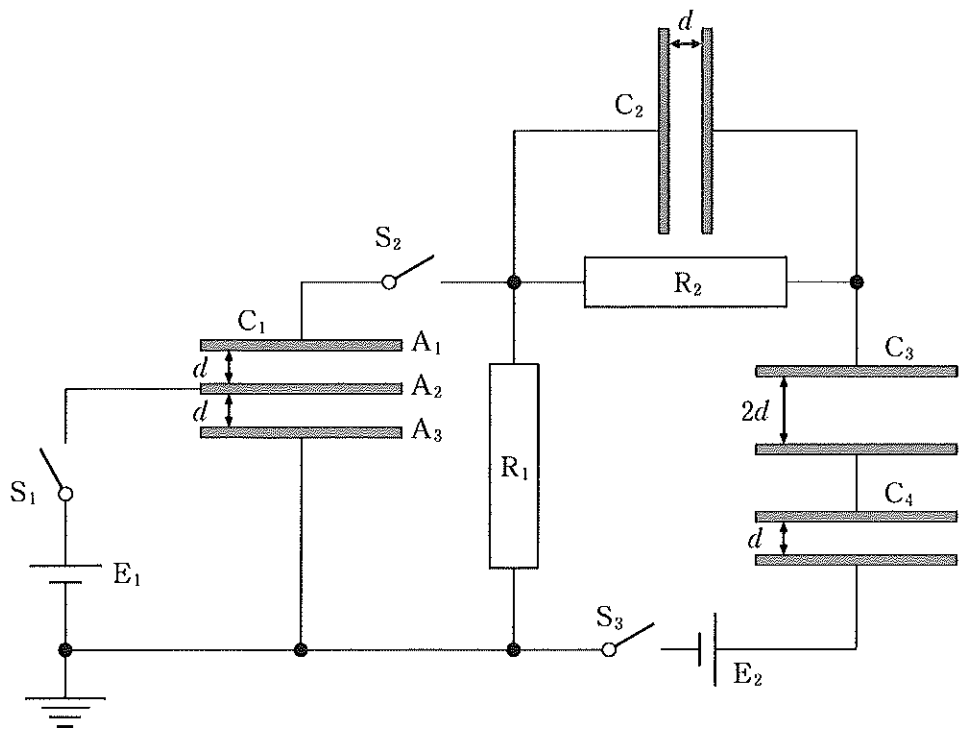
図 3

2

次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$)

図に示すような電気回路がある。 R_1 と R_2 は抵抗値 $r[\Omega]$ の抵抗、 E_1 、 E_2 はそれぞれ電圧 $V_0[V]$ 、 $2V_0$ の直流電源、 $C_1 \sim C_4$ は極板の面積が $S[m^2]$ の平行板コンデンサーである。 C_1 は3枚の極板 A_1 、 A_2 、 A_3 が重なった平行板コンデンサーであり、極板間の距離はすべて $d[m]$ 、極板 A_2 はスイッチ S_1 を経由して電源 E_1 につながっている。 C_2 、 C_3 の極板間の距離は d 、 C_3 の極板間の距離は $2d$ である。なお、極板の端の影響は無視できるものとする。回路は電源 E_1 の負の電極側で接地されている。最初、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 はすべて開いており、コンデンサーに電荷は蓄えられておらず、その内部は真空とする。回路の導線の抵抗、および電池の内部抵抗は無視できる。真空の誘電率を $\epsilon_0[F/m]$ とする。

- 問 1 スイッチ S_3 を開いたままスイッチ S_1 、 S_2 を閉じ、十分時間が経った後スイッチ S_1 を開いた。この状態で極板 A_1 、 A_2 、 A_3 に蓄えられている電気量 $Q_{A_1}[C]$ 、 $Q_{A_2}[C]$ 、 $Q_{A_3}[C]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 S の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 2 問 1 の状態からスイッチ S_2 を開き、極板 A_2 を極板 A_1 側に距離 $\Delta d[m]$ だけ平行に移動させた。極板 A_1 と極板 A_2 の電位 $V_{A_1}[V]$ 、 $V_{A_2}[V]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 Δd 、 S の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 3 問 2 の状態からスイッチ S_2 を閉じた。極板 A_1 に蓄えられた電気量 $Q'_{A_1}[C]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 Δd 、 S の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 4 問 3 の状態からスイッチ S_2 を開き、スイッチ S_3 だけを閉じた。なお、スイッチ S_1 は開いたままである。スイッチ S_3 を閉じた瞬間に抵抗 R_2 に電流は流れるか、流れないか、正しい方に○をつけ、その理由を答えよ。また、そのとき抵抗 R_1 に流れる電流 $I_1[A]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 Δd 、 S の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 5 問 4 のスイッチ S_3 を閉じた状態で十分時間が経った後のコンデンサー C_3 にかかる電位差 $V_{C_3}[V]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 Δd 、 S の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 6 問 5 の時点で、コンデンサー C_3 に蓄えられた静電エネルギー $U[J]$ を r 、 V_0 、 ϵ_0 、 d 、 Δd 、 S の中から必要なものを用いて表せ。



☒

3 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$)

図1のような加熱器、冷却器とピストン、シリンダーで構成された熱機関がある。シリンダー内には、 n (mol)の単原子分子の理想気体が封入されている。シリンダー、ピストンは断熱材でできているとする。ピストンの質量は無視でき、シリンダー内を滑らかに動くとする。この熱機関は、図2に示すように状態 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ のサイクルを繰り返す。状態 A では、加熱器、冷却器は停止しており、シリンダー内の気体は体積 V_1 (m^3)、温度 T_1 (K)、圧力 p_1 (Pa) であった。各サイクルの変化は次のようであった。

過程1：加熱器を稼働し、シリンダー内の気体を圧力一定のもとでゆっくりと加熱した。シリンダー内の気体はゆっくりと膨張し、体積 V_2 (m^3)、温度 T_2 (K)、圧力 p_1 の状態 B となった。

過程2：次に加熱器を停止した。シリンダー内の気体はゆっくりと膨張し、体積 V_3 (m^3)、温度 T_3 (K)、圧力 p_2 (Pa) の状態 C となった。

過程3：次にピストンを固定し、冷却器を稼働し、シリンダー内の気体をゆっくりと冷却した。シリンダー内の気体は体積 V_3 、温度 T_4 (K)、圧力 p_3 (Pa) の状態 D となった。

過程4：次に冷却器を停止し、ピストンの固定を解除した。シリンダー内の気体はゆっくりと収縮し、体積 V_1 、温度 T_1 、圧力 p_1 の状態 A となった。

気体定数を R ($\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$)、定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ とする。

問1 過程1で、気体に外部から供給された熱量 Q_1 (J)と気体が外部にした仕事 W_1 (J)を、 T_1 、 T_2 、 n 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

問2 過程2で、気体に外部から供給された熱量 Q_2 (J)と気体が外部にした仕事 W_2 (J)を、 T_2 、 T_3 、 n 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

問3 過程3で、気体に外部から供給された熱量 Q_3 (J)と気体が外部にした仕事 W_3 (J)を、 T_3 、 T_4 、 n 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

問4 過程4で、気体に外部から供給された熱量 Q_4 (J)と気体が外部にした仕事 W_4 (J)を、 T_1 、 T_4 、 n 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

問5 この熱機関の熱効率 e を、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 を用いて表せ。

問 6 シリンダー内の温度 T_1 と T_2 , T_3 と T_4 の大小関係を答え、なぜそうなるのか、問 5 の結果に熱力学の第 2 法則を関連づけて、理由を説明せよ。

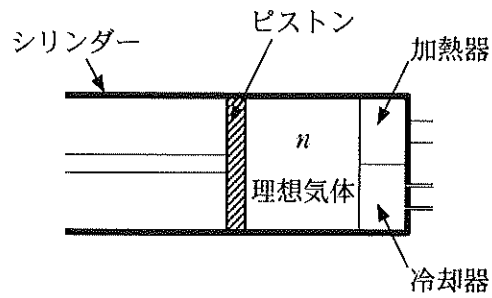


図 1

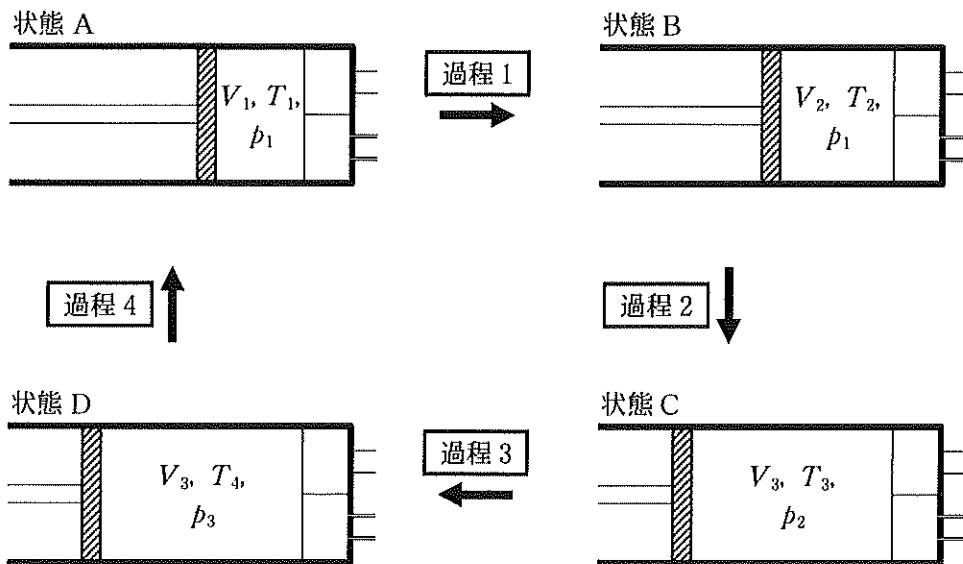


図 2

4 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$)

光が通過する際に、屈折率の異なる物質の境界では、反射や屈折が起こる。いま、空気に対する屈折率が $n_A (> 1)$ である液体 A を、両面の平行性および平面性のよい厚みのある透明なプラスチック板でできた直方体の水槽に入れた。この水槽に単色光を空気中からある入射角で液体 A に入射させたところ、図 1 のように屈折した。図 1 は、水槽を真横から見たものである。空気中の光の速さ、波長、振動数を、それぞれ c (m/s)、 λ (m)、 f (Hz) とする。

問 1 境界付近で屈折するようすを拡大すると図 2 のようになる。単色光が入射角 θ (rad) で液体 A に入射し、屈折角が θ_A (rad) になったとする。PQ は入射波の波面である。波面 PQ が P'Q' へ移動する時間を Δt (s) とし、液体 A 中での光の速さを c_A (m/s) とする。波面の進行を考慮して、 $\frac{c}{c_A}$ を、 θ 、 θ_A を用いて表せ。その際に、解答用紙の図に θ と θ_A を明示すること。

問 2 液体 A 中での光の速さ c_A 、波長 λ_A (m)、振動数 f_A (Hz) を、 n_A 、 c 、 λ から必要なものを用いてそれぞれ表せ。

次に図 3 のように、液体 A で満たした水槽の側面 CD から、幅の非常に狭い単色光を入射させた。図 3 は水槽を上から見たものである。空気に対するプラスチックの屈折率を $n_P (< n_A)$ とせよ。

問 3 単色光は、入射角 θ でプラスチック壁内に入射して屈折する(屈折角 θ_P (rad))。次に、入射角 θ_P でプラスチック壁内から液体 A 内に入射し屈折した(屈折角 θ_A)。 $\sin \theta_A$ を、 n_A 、 n_P 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 問 3 の入射角 θ を $\frac{\pi}{2}$ rad (= 90°) からだんだんと小さくしていくと、ある角度になったときに、液体 A への入射光が内側の側面(液体 A とプラスチック壁の境界面) DE で全反射した。この全反射を起こす空気からプラスチック壁 CD に入射する際の入射角を θ_0 (rad) とし、 $\sin \theta_0$ を、 n_A 、 n_P を用いて表せ。その際、解答用紙の図を利用してよい。

図 3 の単色光の代わりに、図 4 に示すように幅の広い白色光を水槽に入射させた。入射角を適当に調整したところ、液体 A を通過後に側面 DE から空気中に光が射出された。すると E から側面 DE に垂直においたスクリーン EG 上には、透過した光の両端に色がついていた。このとき、その色は、E に近い方の端が紫で、白色を挟んで反対側が赤であった。

問 5 白色の両端に色がつく理由を，解答用紙の図を利用して考えてみよう。

(1) もし白色光の幅が非常に狭い場合には，紫と赤の光はどのように進むであろうか。紫と赤の光路を，解答用紙の図に作図せよ。

(2) このように光が振動数(または波長)の違いによって分かれる現象を何とよいか，答えよ。

(3) 図 4 のように幅の広い白色光が入射した場合，その両端の紫と赤の間が白色光になる理由を解答用紙に記述した 10 字に続いて，40 字以内で述べよ。

