

令和3年度医学科入学試験問題

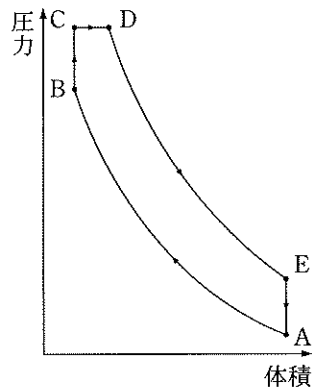
物 理

〔注意事項〕

- 1 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけない。
- 2 解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。
- 3 この問題冊子の本文は、9ページからなっている。落丁、乱丁及び印刷不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 4 この問題冊子の白紙と余白は、適宜下書きに使用してもよい。
- 5 解答は、すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
- 6 特に指示がなければ、解答欄に解答の導出過程も簡潔に記すこと。
- 7 この問題冊子は持ち帰ること。

1 以下の[1]～[3]の文中にある空欄 (1) ～ (2) に入る適切な数式または語句を答えよ。また、空欄 (A) , (B) はそれぞれの選択肢から記号で答えよ。なお、解答欄には解答のみを記せ。 a を任意の実数、 ε を絶対値が1に比べて十分に小さい実数とすると、 $(1 + \varepsilon)^a \approx 1 + a\varepsilon$ と近似できることを用いてもよい。

[1] なめらかに動くピストンがついたシリンダーに n [mol] の理想気体を封じ込め、図 1-1 のような状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A$ を 1 サイクルとする熱機関を考える。



A→B : 断熱変化
 B→C : 定積変化
 C→D : 定圧変化
 D→E : 断熱変化
 E→A : 定積変化

図 1-1

各状態 i ($i = A, B, C, D, E$) の圧力、体積、温度を、それぞれ p_i [Pa], V_i [m^3], T_i [K] とする。気体定数を R [J/(mol·K)] とする。シリンダー内の理想気体の定積モル比熱は C_v [J/(mol·K)] であり、定圧モル比熱との比である比熱比を γ (> 1) とする。理想気体の断熱変化では、関係式 (圧力) · (体積)^(比熱比) = 一定 が成り立つ。

このとき、 V_A, T_A, V_B, T_B の間には (1) の関係が成り立つ。また、状態 $B \rightarrow C$ の変化で気体が吸収する熱量 Q_1 は、絶対温度を用いた式では $Q_1 =$ (2) [J]、同様に状態 $C \rightarrow D$ の変化で気体が吸収する熱量 Q_2 は $Q_2 =$ (3) [J] である。さらに、気体が放出する熱量 Q_3 は状態

(4) → (5) の変化で放出される熱量で、 $Q_3 =$ (6) (J)

である。したがって、この熱機関の熱効率 e は、比熱比 γ と $a = \frac{p_c}{p_b}$ 、
 $b = \frac{V_A}{V_B}$ 、 $c = \frac{V_D}{V_B}$ で定義する圧力や体積の比を用いて表すと、
 $e = 1 -$ (7) となる。この式から、 b のみを変化させる場合、熱効率は (A) 。

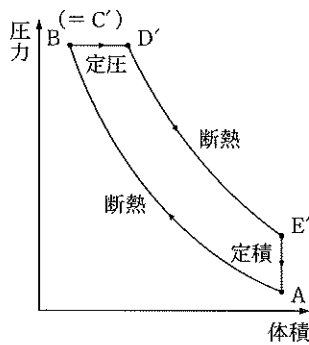


図 1-2

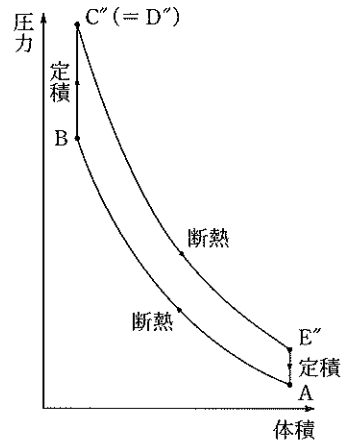


図 1-3

一方、状態 A, B は変えず、図 1-2 のように、図 1-1 のサイクルから $B \rightarrow C$ (定積変化) を無くした状態変化 $A \rightarrow B (= C') \rightarrow D' \rightarrow E' \rightarrow A$ を 1 サイクルとする熱機関を熱機関 I とする。同様に、図 1-3 のように、図 1-1 のサイクルから $C \rightarrow D$ (定圧変化) を無くした $A \rightarrow B \rightarrow C'' (= D'') \rightarrow E'' \rightarrow A$ を 1 サイクルとする熱機関を熱機関 II とする。ただし、図 1-2, 1-3 の状態間の変化の過程は、図 1-1 の対応する状態間の変化の過程と同じである。これら 2 種類の熱機関 I, II の熱効率を比較すると、(B) 。

(A) の選択肢：

- (ア) b が大きいほど良くなる
- (イ) b が小さいほど良くなる
- (ウ) b を変えても変わらない

(B) の選択肢：

- (ア) I のほうが良い
- (イ) II のほうが良い
- (ウ) 必ずしもどちらの方が良いとはいえない

[2] 図1-4のように x 軸、 y 軸をとる。スクリーンは y 軸上にあり、格子定数 d の回折格子は、スクリーンと平行に距離 ℓ の位置にあるものとする。回折格子の溝が刻まれている方向は紙面に垂直とする。 x 軸に沿って平行光線を回折格子に当ててスクリーン上で観測する。 d は ℓ に比べて十分に小さく($\frac{d}{\ell} \ll 1$)、また、空気の屈折率を1とする。

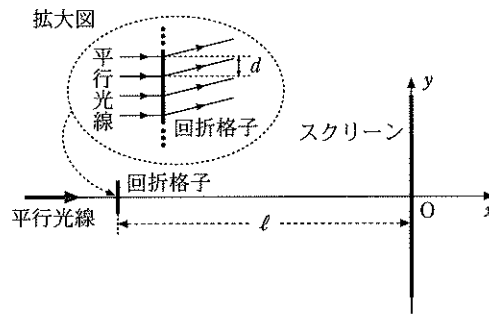


図1-4

回折格子に波長 λ の単色光を当てると、スクリーン上の位置 O には明線が現れる。 y 軸の正の向きに順に並ぶ明線を、点 O の明線を含めて点 O から近い順に m 次回折光($m = 0, 1, 2, \dots$)とよぶと、 m 次回折光は $y = \boxed{\text{(8)}}$ の位置にある。

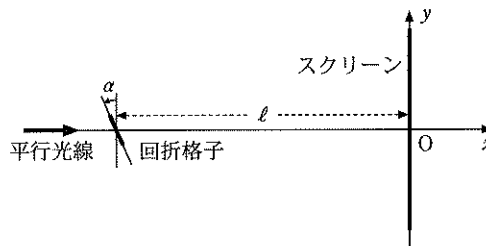


図1-5

次に、回折格子を x 軸に垂直な位置から図 1-5 のように x 軸との交点を中心に、反時計回りに角 α 回転させた。このとき、もとの 1 次回折光はスクリーン上の $y = \boxed{(9)}$ へ移動した。さらに、回折格子などの配置は変えずに入射光のみを単色光から白色光に取り換えた。白色光は波長 λ_1 (紫色) から λ_2 (赤色) のすべてを含むものとする。このとき、スクリーン上の $y = \boxed{(10)}$ には単色光での 0 次回折光に対応する白色の明線がある。これを 0 次の明線部とよび、この y 軸上の点を W とする。単色光での 1 次回折光に対応する 1 次の明線部は $\boxed{(11)} \leq y \leq \boxed{(12)}$ にあり、点 W から最も近い側が $\boxed{(13)}$ 色、最も遠い側が $\boxed{(14)}$ 色である。同様に 2 次、3 次、…の明線部をみると、 n をある自然数として、 $n - 1$ 次と n 次の間には暗線部があるが、 n 次の点 W から遠い側と $n + 1$ 次の点 W から近い側は重なっていた。すなわち、 n は $\boxed{(15)} \leq n < \boxed{(16)}$ を満たす自然数である。

[3] 放射性同位体のトリウム ${}^{230}\text{Th}$ は、 $\boxed{(17)}$ 回の α 崩壊と $\boxed{(18)}$ 回の β 崩壊を経て安定な鉛 ${}^{206}\text{Pb}$ へ放射性崩壊する。この崩壊系列に属するビスマス ${}^{210}\text{Bi}$ の半減期は 61 分で、その 64 % は $\boxed{(19)}$ 崩壊して放射性同位体のポロニウム ${}^{210}\text{Po}$ 、残りの 36 % は $\boxed{(20)}$ 崩壊して放射性同位体のタリウム ${}_{81}\text{Tl}$ になる。したがって、2.0 g のビスマス ${}^{210}\text{Bi}$ があったとすると、 $\boxed{(21)}$ 分後には 0.5 g のビスマス ${}^{210}\text{Bi}$ が残っていると考えられる。

2 次の [I], [II] に答えよ。なお、解答欄には解答のみを記せ。

[I] 次の(1)~(6)の文中にある空欄 (ア) ~ (キ) に入る適切な数値を有効数字 2 桁で答えよ。また、空欄 (A) ~ (G) に入る適切な単位をひとつの単位記号で答えよ。ただし、円周率は $\pi = 3.14$ とする。

(1) 極板の間隔が 2.0 mm の平行板コンデンサーに電圧 3.0 V を加えたとき、極板間の電場の強さは (ア) [(A) /C] である。

(2) 真空中でのクーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ とするとき、真空の誘電率は (イ) [(B) /m] である。

(3) 磁束密度 1.0 T の一様な磁場を考える。透磁率を $1.2 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$ とすると、磁場の強さは (ウ) [N/ (C)] である。また、この一様な磁場中を、磁場に対して垂直な向きに速さ 2.0 m/s で運動する電気量 2.0 C の粒子が受ける力の大きさは (エ) [(D)] である。

(4) 10 回巻きコイルを貫く磁束が毎秒 (オ) [(E)] だけ変化した。このときコイルの両端に生じる誘導起電力の大きさは 20 V である。

(5) 自己インダクタンス (カ) [(F)] のコイルに流れる電流が毎秒 2.0 A 増加した。このとき生じる誘導起電力の大きさは 1.0 V である。

(6) 抵抗値 9.5Ω の抵抗と電気容量 $8.5 \times 10^{-4} \text{ F}$ のコンデンサーを直列につないだ回路に周波数 60 Hz の交流電圧を加えた。この回路のインピーダンスは (キ) [(G)] である。

[II] 図2-1のように、起電力 V の直流電源装置、抵抗値がそれぞれ R_1 , R_2 の抵抗 R_1 , R_2 , 電気容量がそれぞれ C_1 , C_2 のコンデンサー C_1 , C_2 , コイル L , スイッチ $S_1 \sim S_4$ を接続した。直流電源装置の内部抵抗は無視できるものとする。コイル L は透磁率 μ の鉄芯が入った長さ l , 巻数 N , 断面積 S のソレノイドである。初め、スイッチは S_1 のみが閉じられており、コンデンサー C_1 , C_2 に電荷は蓄えられていないものとする。以下の文中にある空欄 (1) ~ (11) に入る適切な数式または記号を答えよ。

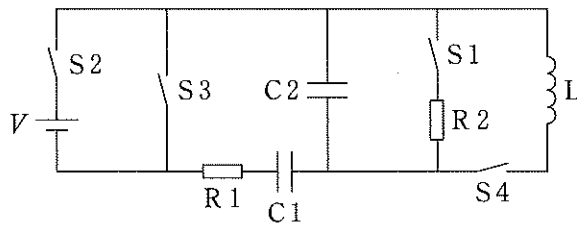
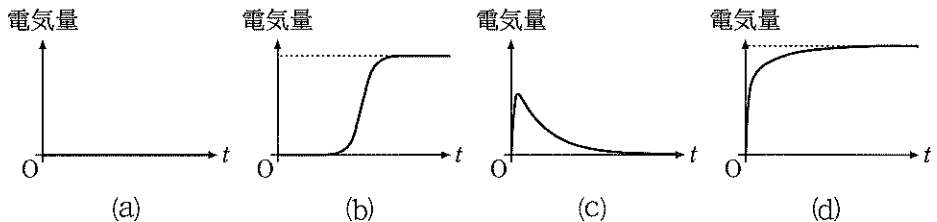


図2-1

時刻 $t=0$ にスイッチ S_2 を閉じた。この直後にコンデンサー C_1 , C_2 に流れ込む電流の大きさは、それぞれ (1), (2) である。その後、電流が安定するまでの間のコンデンサー C_1 , C_2 に蓄えられた電気量を表す最も適切なグラフは、それぞれ以下の (3), (4) である。



電流が安定するまでの間に直流電源装置が行った仕事は (5) である。電流が安定するまでの間のある時刻 t_1 に、抵抗 R_1 、 R_2 を流れた電流の大きさをそれぞれ I_1 、 I_2 とすると、時刻 t_1 から十分に短い時間 Δt の間に抵抗 R_1 、 R_2 で発生するジュール熱の合計は (6) である。時刻 $t = 0$ から電流が安定するまでの間に抵抗 R_1 、 R_2 で発生したジュール熱の合計は (7) となる。電流が安定した状態で、スイッチ S_1 、 S_2 を開き、スイッチ S_3 を閉じた。その後、電流が安定するまでの間に抵抗 R_1 ではジュール熱が (8) だけ発生した。

次に、スイッチ S_3 を開き、スイッチ S_4 を閉じたところ、コイル内部の鉄芯を貫く磁束は周期的に変化した。コイルの自己インダクタンスは (9) であり、コイル内部の磁場の強さの最大値は (10) である。また、磁場の強さが最大になった瞬間から次に最大に達するまでの時間は (11) である。

3

図 3-1 のように、水平な床の面を x 軸にとり、床の上に質量 M の一様な台が置かれている。台の辺 OP を y 軸にとる。台と床との間の静止摩擦係数を μ とする。台の底辺 QO の長さを L とする。台の辺 OP と辺 QO とは直交しており、頂点 O を x 軸と y 軸の原点とする。 $\angle PQO$ の大きさを θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) とする。

質量 m の小球が、点 Q から台のなめらかな斜面 PQ 上を速さ v で上り始め、台の頂点 P から飛び出した。台は静止したままであった。すべての運動は xy 平面内に限られているものとする。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとして次の問いに答えよ。

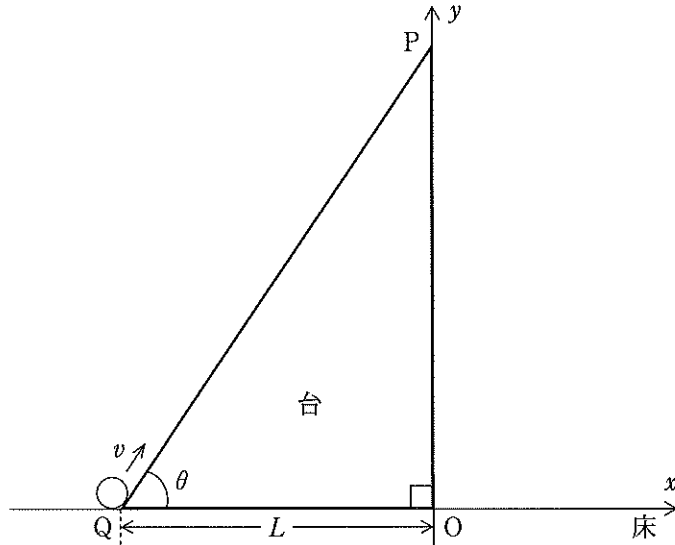


図 3-1

- 問 1 小球が頂点 P から飛び出すための速さ v の満たす条件を求めよ。
- 問 2 小球が頂点 P から飛び出した後、到達できる y 座標の最大値を求めよ。
- 問 3 小球が斜面 PQ 上を運動している間に台が x 軸方向に動かないための静止摩擦係数 μ の満たす条件を求めよ。
- 問 4 小球が斜面 PQ 上を運動している間に台が点 O のまわりに回転しないための台の質量 M の満たす条件を求めよ。

つぎに、台との静止摩擦係数が μ_0 である水平な床にかえる。はじめと同様に、質量 m の小球が点 Q から台の斜面 PQ 上を速さ v で上り始めたところ、台も動き始めた。その後、台は回転することなく、小球は台の斜面 PQ に沿って運動した後、台の頂点 P から飛び出した。台と床との間の動摩擦係数を μ' ($\mu' < \mu_0$) とする。

問 5 小球が斜面 PQ 上を運動しているとき、小球が受ける台からの垂直抗力の大きさを求めよ。

問 6 小球が斜面 PQ 上を運動しているとき、台上で静止した観測者から見た小球の斜面 PQ 方向の加速度を求めよ。ただし、加速度の正の向きを斜面 PQ に沿った上向きとする。

問 7 小球が斜面 PQ 上を運動しているとき、床の上で静止した観測者から見た台の加速度の x 成分の値は負にならないことを示せ。