



選 択 科 目

(医 学 部)

— 2月2日 —

物 理
化 学
生 物

この中から1科目を選択して解答しなさい。

科 目		問 題 の ページ
物	理	1～6
化	学	7～15
生	物	17～30

選択した科目の解答用紙をビニール袋から取り出し、解答はすべて選択した科目の解答用紙に記入して提出しなさい。

1

図1のように、鉛直でなめらかな壁と水平で摩擦のある床面がある。ここに頂点をA, B, C, Dとする正方形の物体が壁に立てかけられて静止している。正方形の物体は質量 M 、一辺の長さ L であり、頂点Aで床面と接し、頂点Bで壁と接している。正方形の物体の辺ABと床面との間の角度は θ である (ただし $0 < \theta < 45^\circ$)。正方形の物体の密度は一様であり、正方形の物体の紙面内の運動だけを考えるものとする。重力加速度の大きさを g として次の各問いに答えなさい。

- (1) 正方形の物体に働く重力について、頂点Aまわりの力のモーメントの大きさを求めなさい。
- (2) 頂点Aにおいて、正方形の物体に働く床面からの摩擦力の大きさを求めなさい。

図2のように、辺CDの上において、点Dから距離 x の場所に質量 m の小物体を取り付ける。正方形の物体と小物体は静止している。

- (3) 頂点Bに接する壁から正方形の物体に働く抗力の値は、小物体がないときの値と同じだった。このときの x を M, m, g, L, θ の中から適切な記号を使って表わしなさい。

辺CDに沿って小物体の位置を設問(3)の位置から点Cの方向へゆっくり変化させる。

- (4) 正方形の物体が静止しているときの、頂点Bに接する壁から正方形の物体に働く抗力の大きさ R を求めたい。小物体がないときの頂点Bに接する壁から正方形の物体に働く抗力の大きさを R_0 としたとき、 $R - R_0$ を M, m, g, L, θ, x の中から適切な記号を使って表わしなさい。
- (5) 頂点Aと床面との間の静止摩擦係数が $\frac{1}{2}$ であるとき、 x を徐々に大きくしてゆくと、 $x = L$ となる前に正方形の物体が動きはじめた。正方形の物体が静止し続けられる、最大の x を M, m, g, L, θ の中から適切な記号を使って表わしなさい。

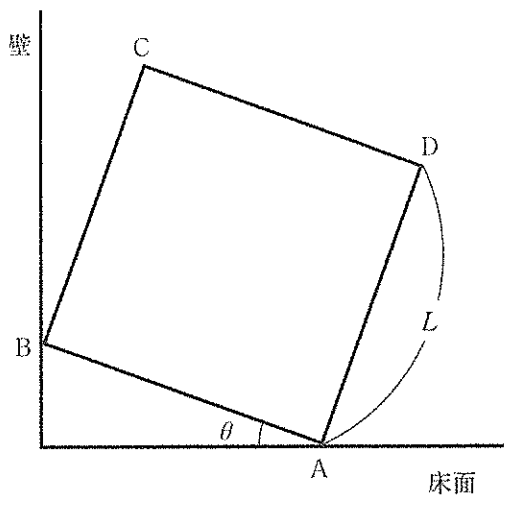


図1

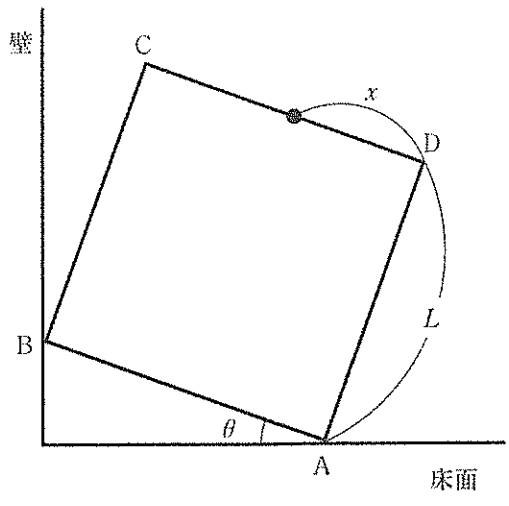
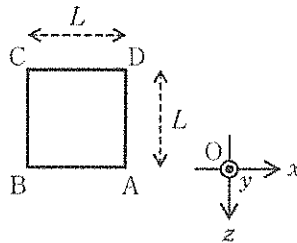


図2

2

図のように、鉛直下向きに z 軸を設定した直交座標系のもとで、正方形の回路 ABCD の運動について考える。ここで、回路の質量は M [kg]、回路一周の抵抗値は R [Ω]、回路の一辺の長さは L [m] である。さらに、 $z \geq 0$ の領域には、 y 軸に平行かつ一様な磁場がかけられている。はじめ回路の辺 AB は x 軸上にあり、辺 BC は z 軸と平行となるように固定してある。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。このとき、次の空欄 (1) ~ (5) に適切な数式をそれぞれ答えなさい。ただし、回路は変形・回転することなく、回路を構成する導線の太さ、回路の自己インダクタンス、および空気抵抗の影響は無視できるものとする。

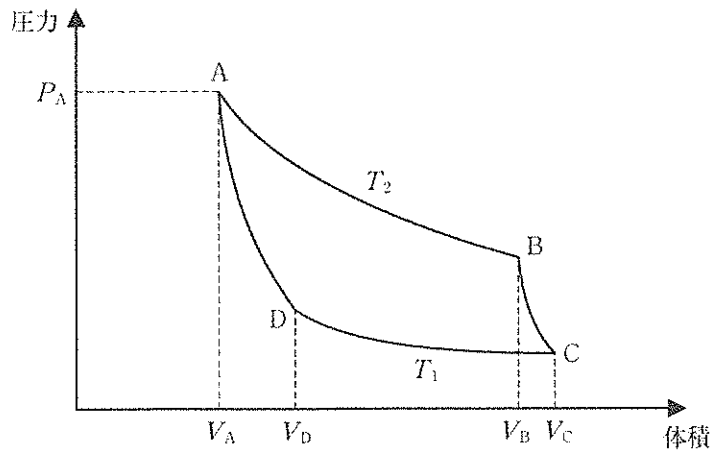


一様な磁場

図の状態から、回路の固定を静かに取り除くと回路は鉛直下向きに下降しはじめた。その後、回路全体が一様な磁場の中に入る前に、回路は一定の速さ v_1 [m/s] で運動し続けるようになった。このことから一様な磁場の磁束密度の大きさは (1) [T] であることが分かる。このとき、回路に流れている電流の大きさは (2) [A] であった。

次に回路をふたたび図の状態に戻した後、回路に一定の力を加えた。この状態で回路の固定を静かに取り除いたところ、回路は静止したままであった。この一定の力を加え続けながら、さらに回路に $+z$ 方向で大きさ v_0 [m/s] の初速度を与えたところ、回路は下降しはじめた。辺 AB の座標 z [m] が $0 < z < L$ にあり、その速さが v [m/s] であるとき、辺 AB の z 座標の微小変化 Δz と速さの微小変化 Δv との間には、比例関係 $\Delta v =$ (3) Δz が成り立つ。その後、回路は途中で停止することなく辺 AB の z 座標は $z = L$ に到達した。辺 AB の z 座標が $z = L$ に到達するためには、初速度の大きさは $v_0 \geq$ (4) の条件を満たさなければならない。また、回路全体が磁場中に入るまでに発生したジュール熱は (5) [J] であった。

3



次の文中の空欄 (1) ~ (6) について、それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。ただし、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

図のように、1モルの単原子分子理想気体を温度 T_2 [K]、圧力 P_A [Pa]、体積 V_A [m³] の状態 A から A → B → C → D → A の時計回りのサイクルでゆっくり状態変化させ、もとの状態 A へ戻した。ここで、A → B は等温変化、B → C は断熱変化、C → D は温度 T_1 [K] の等温変化、D → A は断熱変化である。等温変化 A → B では気体は外部へ $RT_2 \log_e (V_B/V_A)$ の仕事を行い、等温変化 C → D では気体は外部へ $-RT_1 \log_e (V_C/V_D)$ の仕事を行う (ただし、 $\log_e x$ は自然対数)。また、断熱変化 B → C で気体が外部へ行う仕事は $W =$ (1) [J] となるが、断熱変化 D → A で気体が外部へ行う仕事は $-W$ となる。断熱変化において、気体の温度 T [K] と体積 V [m³] の間には $TV^{\gamma-1} =$ 一定 (ただし、 $\gamma = 5/3$) の関係式が成り立つ。このサイクルを熱機関とみなした時、熱機関が外部へ行う正味の仕事は上記の断熱変化の関係式により (2) [J] と表すことができ、熱機関の熱効率は (3) となる。

次に1モルの単原子分子理想気体を、状態 A から上記のサイクルと異なる経路 A → B' → C' → D → A の時計回りのサイクルでゆっくり状態変化をさせ、もとの状態 A へ戻した。ここで、A → B' は温度 T_2 の等温変化、B' → C' は断熱変化、C' → D は温度 T_1 の等温変化、D → A は断熱変化であり、このサイクルを熱機関とみなした時の熱効率も (3) である。この A → B' → C' → D → A のサイクルが外部へ行う正味の仕事 [J] は、A → B → C → D → A のサイクルの2倍であると仮定すると、状態 B' の体積は (4) [m³] となり、状態 B' の圧力は (5) [Pa] となる。断熱変化の関係式 $TV^{\gamma-1} =$ 一定を用いると、状態 C' の体積は (6) [m³] となる。

〔解答群〕

(1) ア. $R(T_2 - T_1)$ イ. $\frac{R(T_2 - T_1)}{2}$ ウ. $\frac{3R(T_2 - T_1)}{2}$ エ. $\frac{5R(T_2 - T_1)}{2}$
 オ. $\frac{7R(T_2 - T_1)}{2}$

(2) ア. $R(T_2 - T_1) \log_e \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ イ. $R(T_2 + T_1) \log_e \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ ウ. $RT_2 \log_e \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$
 エ. $RT_1 \log_e \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ オ. 0

(3) ア. $1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2$ イ. $1 - \frac{T_1}{T_2}$ ウ. $\frac{T_1}{T_2}$ エ. $\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 - 1$ オ. $\frac{T_2}{T_1} - 1$

(4) ア. V_B イ. $2V_B$ ウ. $\frac{5V_B}{3}$ エ. $V_B + V_A$ オ. $\frac{V_B^2}{V_A}$

(5) ア. $P_A \frac{2V_A}{V_B}$ イ. $P_A \sqrt{\frac{V_A}{V_B}}$ ウ. $P_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{3/2}$ エ. $P_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^2$ オ. $P_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{5/2}$

(6) ア. $\frac{V_B^2}{V_A} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ イ. $\frac{V_B^2}{V_A} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2}$ ウ. $\frac{V_B^2}{V_A} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2$ エ. $\frac{V_B^2}{V_A} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{5/2}$
 オ. $\frac{V_B^2}{V_A} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{7/2}$

4

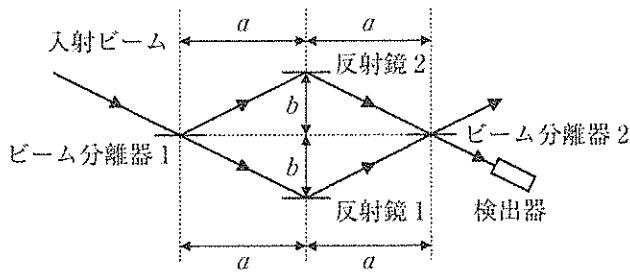


図 1

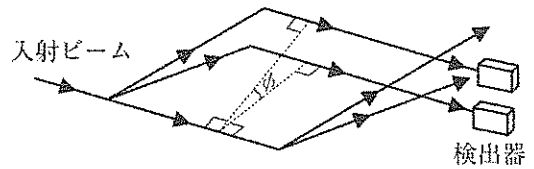


図 2

本問題では、中性子ビームの量子干渉の実験を単純化して考察していく。図1のようなビーム分離器1、ビーム分離器2、反射鏡1、反射鏡2、検出器からなる干渉計を考え、この装置に中性子からなるビームを入射することを考える。ビーム分離器1でビームは透過するビームと反射するビームに分離し、透過したビームは反射鏡1で反射してビーム分離器2に到達し、反射したビームは反射鏡2で反射してビーム分離器2に到達する。さらに、ビーム分離器2において、反射鏡1で反射したビームが反射され、また反射鏡2で反射したビームが透過することで、二つの経路を通ったビームが合成される。この合成されたビームが検出器に入射することで、二つの経路を通ったビームが干渉し合ったビームの強さが検出される。ビーム分離器1からビーム分離器2へ至る二つの経路は全体としてひし形をなし、ひし形の対角線の長さを図1のように $2a$ [m]、 $2b$ [m]とする。ただし、ビーム分離器1、2でビームが分離するときや反射鏡で反射するときには、中性子の物質波の位相や波長は変化しないものとする。この干渉計は図2のように入射中性子ビームの軸に対して回転でき、その回転角を ϕ [rad]とする。 $\phi = 0$ のときに干渉計は水平面上にある。また、回転しても中性子ビームがたどるひし形の経路の形は変わらないものとする。次の各問いについて、それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。ただし、中性子の質量を m [kg]、重力加速度の大きさを g [m/s²]、プランク定数を h [J・s]、入射する中性子の物質波の波長を λ_0 [m]、円周率を π とする。

- (1) 回転角が ϕ のとき、中性子ビームが検出器へ入る位置の水平面からの高さ [m] を求めなさい。
- (2) 回転角が ϕ のとき、検出器に入射する中性子の物質波の波長 [m] を求めなさい。
- (3) 回転角が ϕ のとき、二つの経路をたどる中性子ビームの位相の差の絶対値 [rad] を求めなさい。ただし、本小問(3)及び小問(4)、(5)では、入射中性子ビームの波長と検出器に入射する中性子ビームの波長との差は充分小さいものとし、

$$(1+x)^a \approx 1+ax \quad (|x| \ll 1)$$

という近似式を用いて答えなさい。

- (4) 回転角を $\phi = 0$ から徐々に大きくしていくと、検出器で検出される中性子ビームの強さはだんだんと弱くなり、ある角度からまた強くなりはじめた。水平面から回転させたとき、強さの最小値をとる最初の角度を ϕ_1 としたとき、 $\sin \phi_1$ を求めなさい。

- (5) 回転角を $\phi = 0$ から大きくすると、検出器で検出される中性子ビームの強さは強→弱→強→弱…を繰り返した。 $\phi = 0$ から $\phi = \frac{\pi}{2}$ まで角度を変化させたとき、中性子ビームの強さは何回最大値をとるか求めなさい。ただし、正の実数 d に対して、 d 以下の最大の整数を $|d|$ と表すものとする。

[解答群]

(1) ア. $a \sin \phi$ イ. $\sqrt{a^2+b^2} \sin \phi$ ウ. $\frac{ab \sin \phi}{\sqrt{a^2+b^2}}$ エ. $\frac{2ab \sin \phi}{\sqrt{a^2+b^2}}$ オ. $\frac{a^2 \sin \phi}{\sqrt{a^2+b^2}}$
 カ. $\frac{2a^2 \sin \phi}{\sqrt{a^2+b^2}}$

(2) ア. $\lambda_0 \sqrt{1 - \frac{4m^2 g a \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2}}$ イ. $\frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \frac{4m^2 g a \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2}}}$ ウ. $\lambda_0 \sqrt{1 - \frac{4m^2 g \sqrt{a^2+b^2} \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2}}$

エ. $\frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \frac{4m^2 g \sqrt{a^2+b^2} \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2}}}$ オ. $\lambda_0 \sqrt{1 - \frac{4m^2 g a b \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2 \sqrt{a^2+b^2}}}$ カ. $\frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \frac{4m^2 g a b \lambda_0^2 \sin \phi}{h^2 \sqrt{a^2+b^2}}}}$

(3) ア. $\frac{2\pi m^2 g a b \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$ イ. $\frac{4\pi m^2 g a b \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$ ウ. $\frac{8\pi m^2 g a b \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$

エ. $\frac{2\pi m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$ オ. $\frac{4\pi m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$ カ. $\frac{8\pi m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0 \sin \phi}{h^2}$

(4) ア. $\frac{h^2}{4m^2 g a b \lambda_0}$ イ. $\frac{h^2}{2m^2 g a b \lambda_0}$ ウ. $\frac{h^2}{m^2 g a b \lambda_0}$ エ. $\frac{h^2}{4m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}$

オ. $\frac{h^2}{2m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}$ カ. $\frac{h^2}{m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}$

(5) ア. $\left\lfloor \frac{m^2 g a b \lambda_0}{2h^2} \right\rfloor + 1$ イ. $\left\lfloor \frac{m^2 g a b \lambda_0}{h^2} \right\rfloor + 1$ ウ. $\left\lfloor \frac{2m^2 g a b \lambda_0}{h^2} \right\rfloor + 1$ エ. $\left\lfloor \frac{m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}{2h^2} \right\rfloor + 1$

オ. $\left\lfloor \frac{m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}{h^2} \right\rfloor + 1$ カ. $\left\lfloor \frac{2m^2 g (a^2+b^2) \lambda_0}{h^2} \right\rfloor + 1$