

物 理

「解答上の注意」

問題に単位の指定がない場合、用いられる記号は S I (国際単位系) 単位に従っているものとする。各問いに対する解答では { } 内に記号が示されている場合は、その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は、各問いの指示に従って解答せよ。

第 1 問

図 1 に示すように、原点 O 、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。水平面から高さ h_1 の位置 $(0, h_1)$ に弾の発射台 A がある。この発射台 A から水平方向に d だけ離れた水平面から高さ h_1+h_2 の位置 (d, h_1+h_2) に物体 B が置かれている。時刻 $t=0$ に発射台 A から水平面とのなす角度 α 、初速 v_0 で物体 B に向けて弾を発射すると同時に物体 B が自由落下し始める。角度 α を調節して物体 B に弾を命中させたい。弾、物体 B ともに質点とみなせ、空気の抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。

問 1 時刻 t での弾の位置 (x, y) を求めよ。 $\{v_0, d, h_1, h_2, \alpha, g, t\}$

問 2 時刻 t での物体 B の位置 (x, y) を求めよ。 $\{v_0, d, h_1, h_2, \alpha, g, t\}$

問 3 時刻 t_1 で弾が物体 B に命中するためには、弾と物体 B の水平方向と垂直方向の位置がそれぞれ一致することが必要である。水平方向と垂直方向の条件を式で示せ。 $\{v_0, d, h_1, h_2, \alpha, g, t_1\}$

問 4 弾が物体 B に命中するために必要な $\tan \alpha$ と命中する時刻 t_1 を求めよ。
 $\{v_0, d, h_1, h_2, g\}$

図2に示すように、発射台Aに加えて、 $(3d, 0)$ の位置に発射台Cを置き、水平面とのなす角度 β 、初速 v_1 で物体Bに向けて弾を発射する。時刻 $t=0$ に発射台A、Cから弾を発射し、同時刻に初期位置 (d, h_1+h_2) から自由落下し始めた物体Bに、同時に命中させたい。

問5 発射台Cから発射された弾が物体Bに命中するために必要な $\tan \beta$ と命中する時刻 t_2 を求めよ。 $\{v_1, d, h_1, h_2, g\}$

問6 $h_1=h_2$ として、時刻 $t=0$ に発射台A、Cからそれぞれ問4と問5で求めた角度 α と β で発射された弾が物体Bに同時に命中するために必要となる v_0 と v_1 の関係を求めよ。 $\{v_0, d, h_1\}$

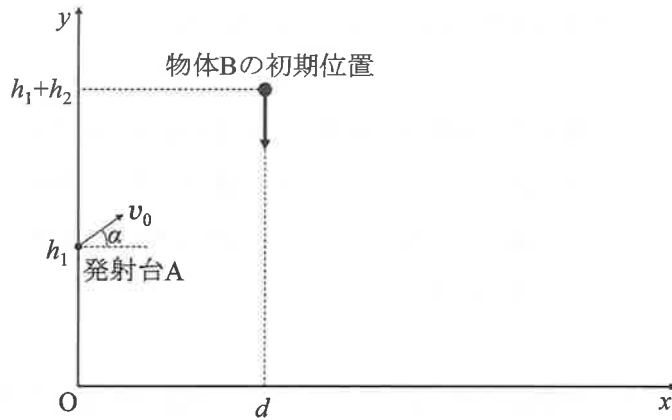


図1

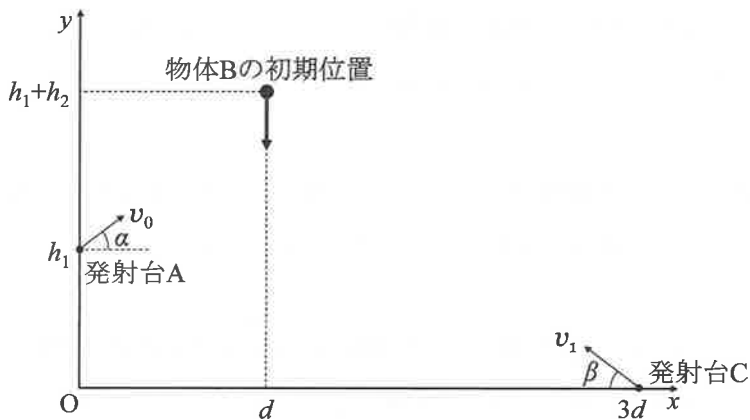


図2

第2問

図3のように、間隔 $2x$ の平行な直線 CD , EF で区切られた領域 I ~ III が平面上にある。領域 I および III に磁場はなく、領域 II には、紙面に垂直に表から裏へと向かう磁束密度 B の一様な磁場が存在する。領域 I に置かれた、辺 PQ の長さ x 、辺 PS の長さ y 、全抵抗 r の長方形コイル $PQRS$ は、速さ v で領域 I から領域 III の方向に向かって移動している。辺 QR が直線 CD を通過する瞬間を時刻 $t=0$ とし、以下の問いに答えよ。ただし、辺 QR は、直線 CD と平行であり、速度 v の向きと直交しているものとする。また、コイルは変形しないものとする。

問1 長方形コイルを貫く磁束の時間による変化を表したグラフの概形として最も適切なものを、図4の ①~⑥ より1つ選べ。また、選択した概形の縦軸の に入る式を求めよ。 $\{x, y, r, v, B\}$

問2 長方形コイルに発生する起電力の時間による変化を表したグラフの概形として最も適切なものを、図4の ①~⑥ より1つ選べ。また、選択した概形の縦軸の に入る式を求めよ。ただし、 $PQRS$ の向きに電流が流れる場合を正とする。 $\{x, y, r, v, B\}$

問3 長方形コイルの移動速度を一定に保つために、外部から加える力の時間による変化を表したグラフの概形として最も適切なものを、図4の ①~⑥ より1つ選べ。また、選択した概形の縦軸の に入る式を求めよ。ただし、 v の向きを正とする。 $\{x, y, r, v, B\}$

問4 長方形コイルが領域 II に全て入った時から、全て出るまでの間に、長方形コイルに流れる電気量を求めよ。 $\{x, y, r, v, B\}$

問5 時刻 $t=0$ から、長方形コイルが領域 II より全て出るまでの間に、長方形コイルで消費された熱エネルギーを求めよ。 $\{x, y, r, v, B\}$

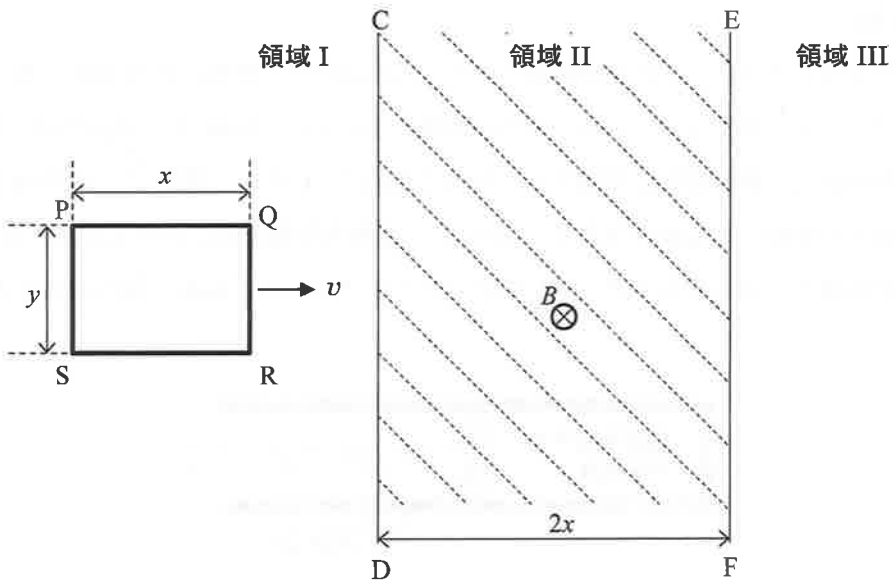


図 3

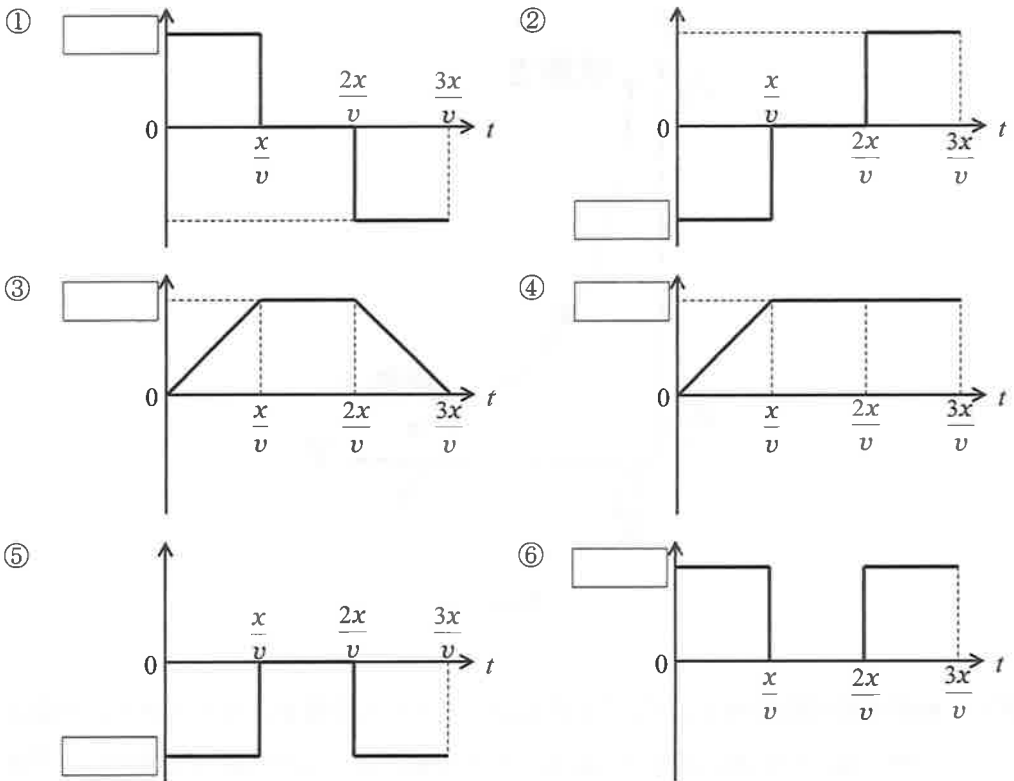


図 4

第3問

図5に示すように、1モルの単原子分子の理想気体が、断熱された容器と滑らかに動くピストンで密閉されている。初めに状態1（圧力 P_1 、体積 V_1 、絶対温度 T_1 ）にあった理想気体が断熱的に圧縮され、最後に状態2（圧力 P_2 、体積 $\frac{V_1}{8}$ 、絶対温度 T_2 ）へ変化する断熱圧縮過程を考える。図6は、この断熱圧縮過程における状態の変化を、横軸を体積 V 、縦軸を圧力 P 、として表したグラフである。なお、気体定数を R とする。

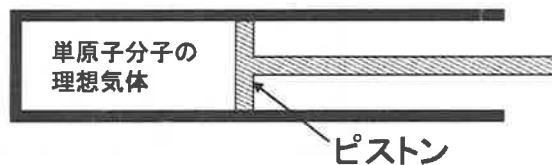


図5

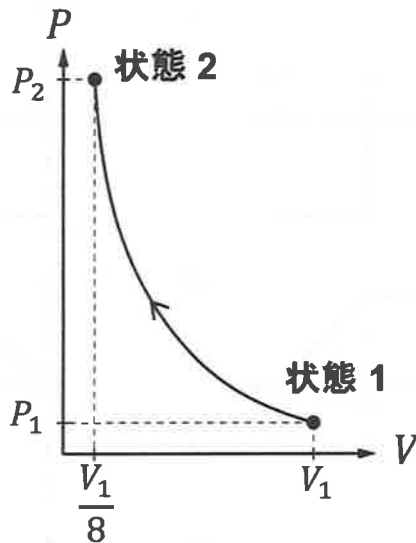


図6

問1 断熱圧縮過程の例として、「丈夫なシリンダーに空気を入れてピストンを急激に押し込んだ状況」が挙げられる。これを参考に、図6の断熱圧縮過程で理想気体の温度が上がるのか、それとも下がるのか、を答えよ。

問2 状態2の絶対温度 T_2 を求めるため、以下の問いに答えよ。

- (1) 状態1の圧力 P_1 、体積 V_1 、絶対温度 T_1 の3つの量の間になり立つ関係式を示せ。 $\{R, P_1, V_1, T_1\}$
- (2) 状態2の圧力 P_2 、体積 $\frac{V_1}{8}$ 、絶対温度 T_2 の3つの量の間になり立つ関係式を示せ。 $\{R, P_2, V_1, T_2\}$
- (3) 単原子分子の理想気体の断熱変化では、圧力 P と体積 V の間において「 $PV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ 」という関係が成り立つ。この関係式を用いて、 $P_2 = aP_1$ を満たす a の値を求めよ。
- (4) 上の(1)から(3)で求めた関係式を利用し、 $T_2 = bT_1$ を満たす b の値を求めよ。なお、(3)で定義した a を用いて答えても良い。

問3 この断熱圧縮過程で、理想気体はピストンから仕事 W をされる。単原子分子理想気体1モルの内部エネルギー U は絶対温度 T のみで定まり、 $U = \frac{3}{2} RT$ となることを用いて、理想気体がされた仕事 W を求めよ。また、導出過程も記述せよ。なお、問2(4)で定義した b を用いて答えよ。 $\{R, T_1, b\}$

第4問

図7のように、空気中において、半径 r の円形をした平面ガラス A の上に、A と同じ形状の平面ガラス B を重ね、一方の端 P に厚さ a の金属箔を挟んだ。2つのガラスは一点 O で接している。真上から波長 λ の単色光を入射し、真上から観察すると等間隔の平行な干渉縞が見えた。屈折率の小さい媒質を通過してきた光が屈折率のより大きい媒質で反射する際、位相が反転することに留意して、以下の問いに答えよ。ただし、空気の屈折率は 1.0、ガラスの屈折率は 1.5 とする。

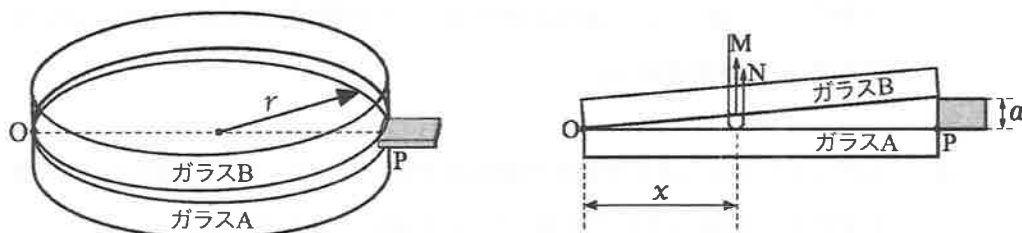


図 7

問 1 点 O から点 P に向かって距離 x の点において、ガラス A と B の間のくさび状の空気層の上面で反射する光の経路を M、空気層の下面で反射する光の経路を N としたとき、M と N の光路差を求めよ。 $\{r, a, x\}$

問 2 点 O から 2 番目に近い明線について、以下の問いに答えよ。

- (1) 点 O からの距離を求めよ。 $\{r, a, \lambda\}$
- (2) この距離を、 $r=25 \text{ mm}$ 、 $a=2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$ 、 $\lambda=6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の場合について、有効数字 2 桁で示せ。

次に、図8に示すように、ガラスBを円形の平凸レンズLに置き換えて、真上から波長 λ の単色光を入射してできる干渉縞を観察する。レンズLの上面は平面で、下面は滑らかな凸状に膨らんでおり、中央部が周辺部に対して4分の1波長 $\frac{\lambda}{4}$ だけ突き出ているとする。点Cと点Qは、それぞれ、ガラスA上面の中心点と円周上の点(CQはOPと直交)である。次の問いに答えよ。ただし、レンズの屈折率はガラスと同じとする。

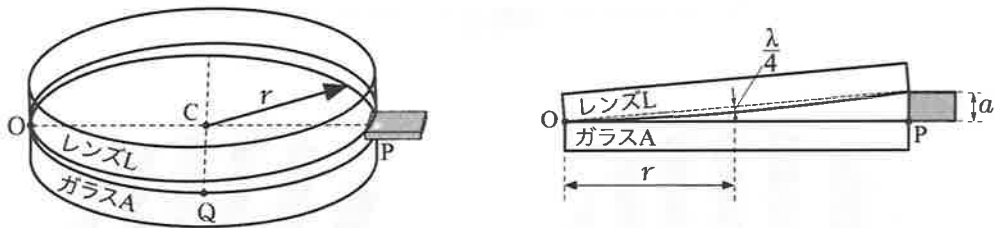
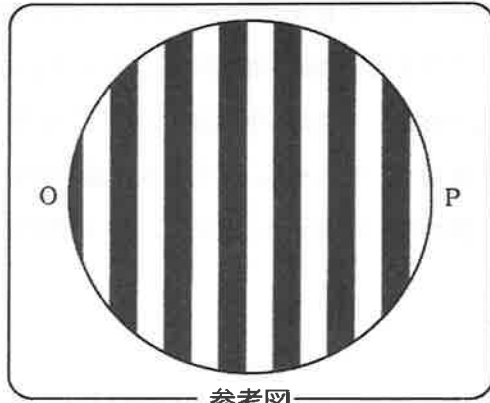


図8

問3 ガラスAとレンズLの間の空気層の上面で反射する光と空気層の下面で反射する光の光路差を点Cと点Qにおいて求めよ。金属箔の厚さ a はガラスAの半径 r に比べて十分に小さいとする。 $\{a, \lambda\}$

問4 図7のように平面ガラスBを置いたときに見えた干渉縞が、図9の参考図のようであったとする。図中の黒い部分は暗線、白い部分は明線である。図8のように平凸レンズLを置いたときに見える干渉縞として最も適切なものを図9の(イ)～(ニ)から選び、その理由を述べよ。



参考図



(イ)



(ロ)



(ハ)



(ニ)

図 9