令和８年度

物理学科総合型選抜Ⅱ課題探求試験問題

物理学（100点）

令和８年１月３１日（土）　９：００-１１：３０

注意事項

(1) 指示があるまでは，問題冊子ならびに解答冊子を開かないこと。

(2) 問題冊子1部，解答冊子1部が配布されていることを確認すること。

(3) 「はじめ」の指示があったら，解答を始める前に，問題冊子の表紙に続いて問題が1Aから3Bまで6題，解答用紙が6枚あることを確認し，全ての解答用紙に受験番号を記入すること。

(4) 解答は問題ごとに所定の解答用紙に記入すること。解答に際しては，最終的な答えだけでなく，その答えに至る道筋もていねいに記述すること。

(5) 特に指定のない場合には，裏面を使って解答してもよい。下書きには，問題冊子の余白や裏面などを利用し，解答用紙の余白には下書きをしないこと。

(6) 「おわり」の指示があったら，ただちに筆記用具を置くこと。

(7) 試験終了後，解答冊子は回収するが，問題冊子は持ち帰ってよい。

問題 1 (35 点)

1A

図 1-1 のように質量 M の台車の上に質量 m の物体がのった装置があり，台車は床の上を左右に滑らかに動くことができる。$M > m$ とする。台車の上面と物体の間には摩擦力が働く。その動摩擦係数を μ とする。台車と左右の壁は完全弾性衝突をするものとする。重力加速度の大きさを g とする。はじめに台車と物体をともに速度 V_0 で右向きに動かす。以下では，物体は台車からはみ出すことはないとし，台車および物体の位置および速度は右向きを正として表すものとする。

(1) 台車が最初に右側の壁に衝突した時刻を 0 とする。この直後の時刻 t における台車の速度 $V(t)$ および物体の速度 $v(t)$ を V_0, M, m, μ, g, t のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 台車の横幅が十分大きいとき，物体はやがて台車の上で止まる。この時刻を t_1 と表す。時刻 t_1 以降は物体と台車は同じ速度 $-V_1$ で左向きに動く。この速度の大きさ V_1 を V_0, M, m を用いて表せ。ただし，時刻 t_1 以前に台車が左側の壁に到達することはないものとする。

(3) 時刻 0 から t_1 の間に物体が台車の上で動いた距離の大きさ D_1 を V_0, M, m, μ, g を用いて表せ。

(4) 時刻 t_1 から時間が経ったあと，台車は左側の壁に衝突する。その後，さらにしばらく時間が経つと，物体は再び台車の上で止まる。この時刻を t_2 と表す。時刻 t_1 から t_2 の間に物体が台車の上で動いた距離の大きさ D_2 を D_1, M, m を用いて表せ。

(5) 台車が左右の往来を繰り返すとき，時刻 0 における物体の台車の上の位置を基準として，物体の台車の上の最終的な位置 x_∞ を M, m, D_1 を用いて表せ。等比級数の和の公式 $1 + r + r^2 + \cdots = 1/(1-r)$（ただし $-1 < r < 1$ とする）を用いてよい。

(6) 最終的に物体が台車の上で移動した累積距離の大きさ D_∞ を V_0, M, m, μ, g を用いて表せ。

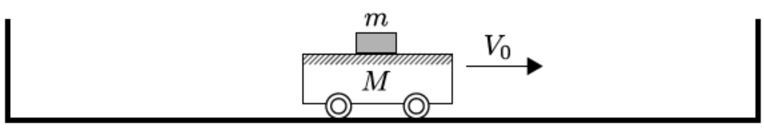

図 1-1

1B

時間的に変化しない一様な磁束密度 $\vec{B} = (0,\,0,\,B_0)$ が，図 1-2 のように z 軸の正の向きにかけられている。質量 m，電荷 $q\,(>0)$ の荷電粒子の運動を考える。荷電粒子の運動は，xy 平面上に限られているとする。時刻 t における荷電粒子の速度の x, y 成分をそれぞれ v_x, v_y と表すこととする。以下の問いに答えよ。

(1) 荷電粒子に働く力の x, y 成分 F_x, F_y を m, q, v_x, v_y, B_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 荷電粒子は速さ v_0 で等速円運動を行う。円運動の半径 r_0 を m, q, B_0, v_0 のうち必要なものを用いて表せ。

次に，z 軸の正の向きの磁場に加えて，y 軸の正の向きの一様な電場がある場合を考える。電場の大きさは E_0 とし，時刻 $t = 0$ において，荷電粒子は原点 O に静止しているとする。

(3) 時刻 t において，荷電粒子が受ける力の x, y 成分をそれぞれ $\bar{F}_x$, $\bar{F}_y$ とする。$\bar{F}_x$ および $\bar{F}_y$ を q, v_x, v_y, E_0, B_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(4) ある速さ u で x 軸の正の向きに等速度運動する観測者から見た荷電粒子の速度 (V_x, V_y) を書け。それを用いて，荷電粒子の運動が等速円運動に見えるときの u を m, q, E_0, B_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(5) 静止した観測者から見た荷電粒子の軌跡の概形を描け。

(6) 荷電粒子の y 座標のとりうる最大値 y_{max} を m, q, E_0, B_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(7) 静止した観測者から見た場合に，$t > 0$ において最初に $y = 0$ となるときの x 座標 x_{C} は，y_{max} の定数倍となっている。その定数を求めよ。

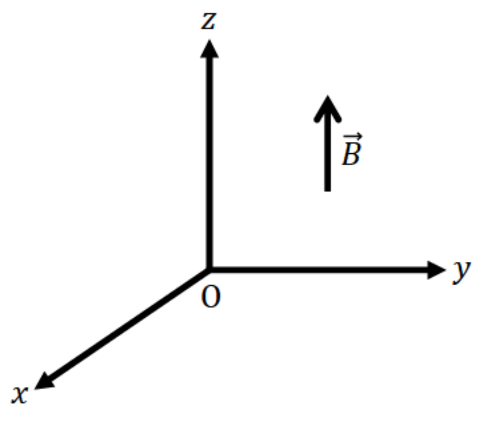

図 1-2

問題 2 (35 点)

2A

図 2-1 のように，単位体積あたりの抵抗率が ρ の金属でできた厚みのある円板を，紙面に垂直で裏から表へ向かう磁場が貫いている。磁場の大きさは，円板のすべての位置で同じ値をとる。図は円板の上底面を描いており，円板の半径は a，紙面に垂直方向の厚さは d である。磁場の強さは時間とともに大きくなっていて，磁束密度が単位時間あたり b ずつ増加している。ただし，b は正の定数である。

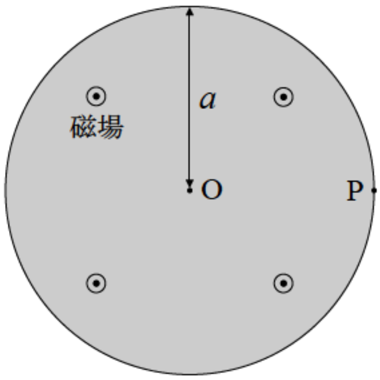

図 2-1

このとき，円板の中を流れる電流について考えたいが，その準備として，図 2-2 のように円板の中心軸からの距離が r から $r + \Delta r$ までの部分を取り出した円輪を考える。円輪の紙面に垂直方向の厚さは d である。ここでは，中心から距離 r までの領域を上記と同じ磁場が貫いているものとする。Δr は十分に小さく，円輪を流れる電流は一様であるとする。

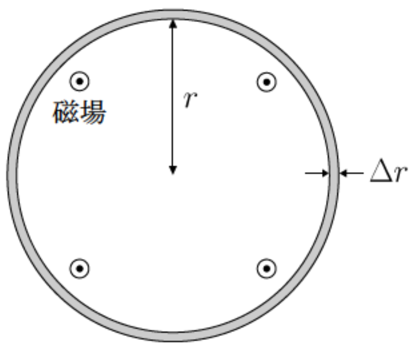

図 2-2

はじめに，図 2-2 の円輪について (1) から (3) の問いに答えよ。

(1) 円輪に生じる誘導起電力の大きさはいくらか。

(2) 円輪を流れる電流の大きさは，定数 c を用いて $cr\Delta r$ と書ける。この定数 c を求めよ。また，その向きは，図 2-2 において時計回りか反時計回りか。

以下では，図 2-2 の円輪を流れる電流の大きさを $cr\Delta r$ として解答せよ。

(3) 円輪の単位体積あたりに発生するジュール熱は単位時間あたりいくらか。

次に，図 2-1 の円板について (4) から (5) の問いに答えよ。

(4) 円板の上底面の中心 O と下底面の中心を結ぶ線分（長さ d）と図 2-1 の上底面上の線分 OP（長さ a）を二辺とする長方形の断面を考える。この断面を通過する電流の総量はいくらか。

(5) 電流が流れはじめてから十分に時間がたつと，円板中の場所によって温度が異なるようになり，円板中に熱の流れが生じる。この流れの向きについて説明せよ。

2B

抵抗値が R と R' の 2 つの抵抗（それぞれ抵抗 R と R' とする）およびインダクタンスが L と L' の 2 つのコイル（それぞれコイル L と L' とする）を含む図 2-3 のような回路を考える。はじめはスイッチ S は開いた状態とする。抵抗 R を P_1 から P_2 の方向に流れる電流 I が，正の定数 A と角周波数 ω を用いて $I = A\sin(\omega t)$ と表されるとする。以下では，P_i を基準とした P_j における電位を V_{ji} と表す（$i, j = 1, 2, \ldots, 5$）。

(1) 抵抗 R の両端にかかる電圧 V_{12} の振幅の大きさを A_R とすると，$V_{12} = A_R \sin(\omega t)$ と表せる。A_R を A, R, L, ω のうち必要なものを用いて表せ。

(2) コイル L の両端にかかる電圧 V_{23} の振幅の大きさを A_L とすると，$V_{23} = A_L \cos(\omega t)$ と表せる。A_L を A, R, L, ω のうち必要なものを用いて表せ。ただし，電流 I の微小時間 Δt における変化率は $\Delta I/\Delta t = A\omega\cos(\omega t)$ で与えられることを用いよ。

(3) 電圧 V_{13} の振幅の大きさを A_V とすると，位相のずれ α を用いて $V_{13} = A_V \sin(\omega t + \alpha)$ と表せる。$\sin\alpha$ および $\cos\alpha$ を A_R, A_L, A_V のうち必要なものを用いて表せ。また，$A_V^2 = A_R^2 + A_L^2$ を示せ。公式 $\sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$ を用いよ。

(4) 振幅比 $Q_R = A_R/A_V$ および $Q_L = A_L/A_V$ を ω, L, R を用いて表せ。また，Q_R および Q_L を角周波数 ω に関する関数として表すグラフとして最も適切なものをそれぞれ図 2-4 の (a)–(f) の中から選べ。

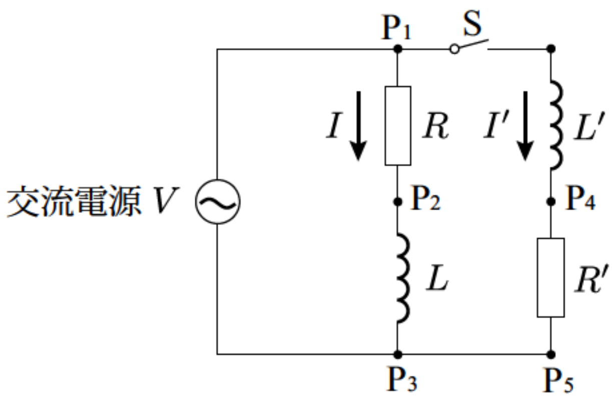

図 2-3

次に，スイッチ S を閉じる。コイル L' を P_1 から P_4 の方向に流れる電流を I' と表す。

(5) 正の定数 A' と位相のずれ β を用いて電流 I' を $I' = A'\sin(\omega t + \beta)$ と表すと，電圧 V_{15} は位相のずれ α' を用いて $V_{15} = A_V \sin(\omega t + \beta + \alpha')$ と表せる。A' を A, R, R', L, L', ω を用いて表せ。

(6) (4) の結果を用いて，電圧 V_{24} の振幅の大きさ A_{24} と電源 V にかかる電圧の振幅 A_V の振幅比 $Q = A_{24}/A_V$ を角周波数 ω に関する関数として表すグラフとして最も適切なものを図 2-5 の (g)–(l) の中から選べ。答えのみでよい。$R/L < R'/L'$ とする。

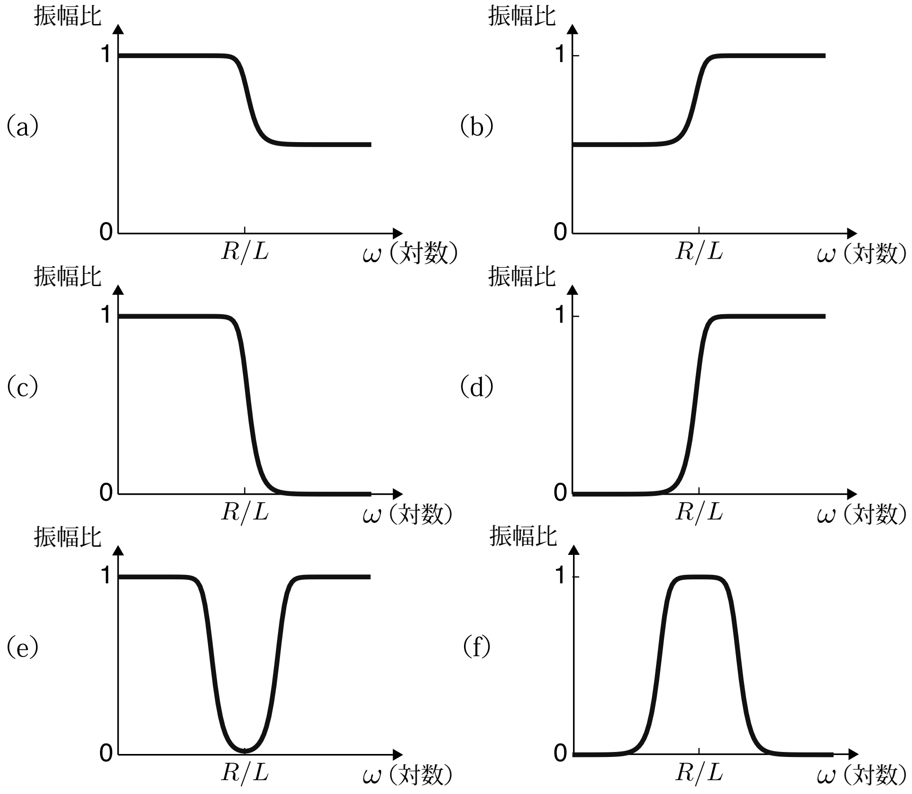

図 2-4

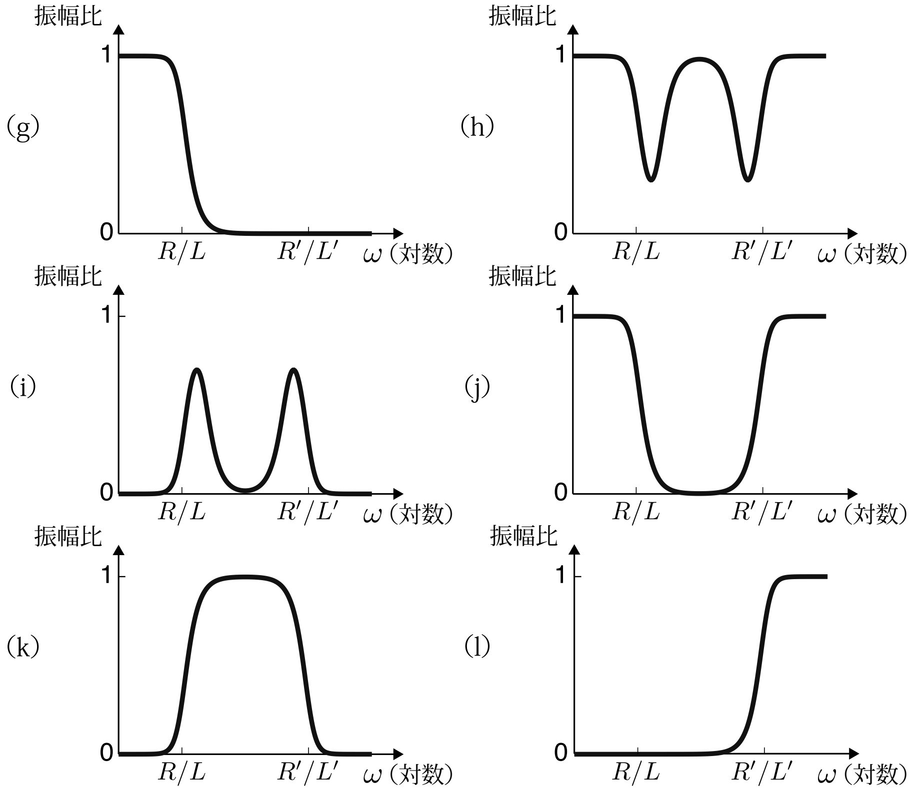

図 2-5

問題 3 (30 点)

3A

図 3-1 のように，厚さ d の真空層が屈折率 n_1 の媒質中に挿入されている。その下層には屈折率 n_2 の媒質があり，真空層の下にある屈折率 n_1 の媒質の厚さは d である。この多層膜に単色で平行な光束が図のように入射している。真空中の光の波長を λ，光の入射角を θ，それぞれの層への屈折角を ϕ, α とする。

(1) θ と ϕ の関係を求めよ。

(2) θ と α の関係を求めよ。

(3) 境界 1 で反射した光と真空層に入り境界 2 で反射した光の光路差は,

$$2d\sqrt{1 - n_1^2 \sin^2\theta}$$

となる。これを導出せよ。

(4) 屈折率 $n_2\,(< n_1)$ の媒質で光は完全に反射した。このようなことが起きるための条件を $\sin\theta$, n_1, n_2 を用いて表せ。

(5) 境界 1 と境界 3 で反射した光が干渉して強め合う条件を，n_1, d, λ, θ と整数 m を用いて表せ。

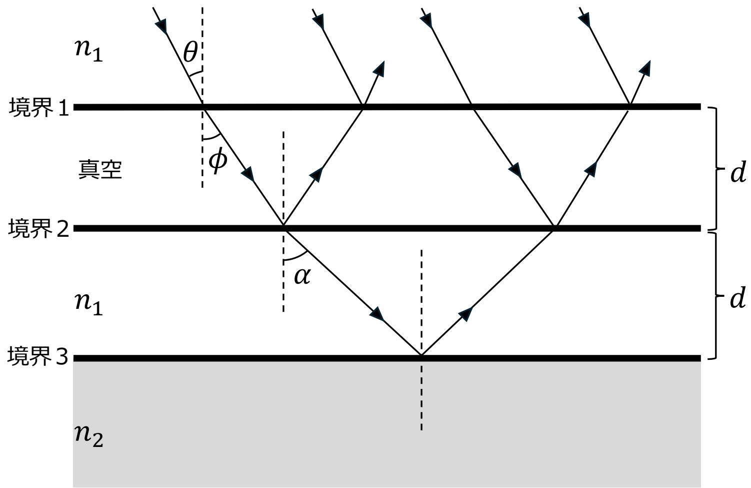

図 3-1

3B

図 3-2 のように，一定容積 V の容器とピストンによって容積を変えることのできるシリンダーを細い管で連結した装置がある。ピストンは気密性がよく，シリンダーの中を滑らかに動くことができる。連結管は弁によって開閉することができる。装置のすべての部分は断熱材料でできており，連結管の容積は無視できる。

はじめに，容器を真空にして弁を閉じ，シリンダーに単原子分子の理想気体を閉じ込めピストンの位置を固定した。図 3-2 は，このときの様子を示している。閉じ込められた気体の圧力は p_0, 体積は V_0, 温度は T_0 であった。

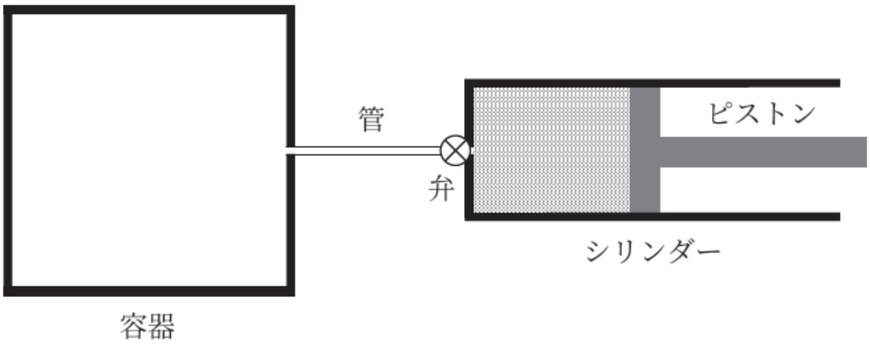

図 3-2

次に，弁を開いてシリンダーから容器に気体を送り込んだ。このとき，気体はゆっくりと移動し，シリンダー内の気体の圧力はピストンを動かしながら一定の値 p_0 に保った。V は V_0 より十分大きく，気体はすべて容器に移り，図 3-3 のようになった。

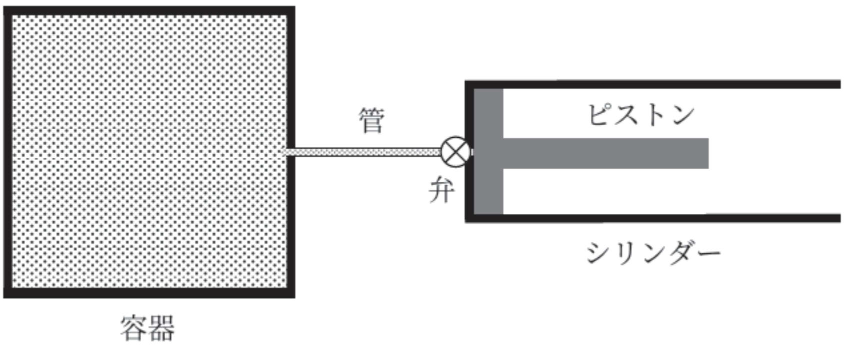

図 3-3

(1) 気体の移動が始まってから終わるまでに，気体に対してなされた仕事はいくらか。p_0, V_0, T_0, V のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 気体がすべて容器に移った後に弁を閉じた。弁を閉じてから十分に時間がたったときの容器内の気体の圧力と温度はいくらか。p_0, V_0, T_0, V のうち必要なものを用いて表せ。

以下では，図 3-3 のように容器内に集められてから十分に時間がたった気体に対して操作を行う。(2) で求めた容器内の気体の圧力と温度を p および T として解答せよ。

(3) まず，弁を閉じたままピストンを動かして，シリンダー内の容積が V_1 となったところでピストンを固定した。このとき，シリンダー内は真空となっていた。次に，弁を開いて容器からシリンダーに気体を移動させた。弁を開いてから十分に時間がたつと，容器内の気体とシリンダー内の気体の圧力と温度が等しくなった。この圧力と温度はいくらか。p, V, T, V_1 のうち必要なものを用いて表せ。

(4) (3) とは別の操作で，図 3-3 の容器内に集めた気体をシリンダーに移動させることを考える。シリンダー内の容積が 0 のときに弁を開き，ピストンを動かしながら容器からシリンダーに気体を移動させた。ただし，容器内の気体とシリンダー内の気体の圧力と温度が常に等しくなるように，気体はゆっくりと移動し，気体の圧力と体積の間には常に

$$(\text{圧力}) \times (\text{体積})^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$$

という関係が成り立つ。ピストンの移動を止めて操作を終了したところ，容器とシリンダー内の容積の合計が V_2 となっていた。このとき，気体の圧力と温度はいくらか。p, V, T, V_2 のうち必要なものを用いて表せ。

(5) (4) の操作で，気体の体積が V から V_2 に変化するまでに，気体が外部に対してした仕事はいくらか。p, V, V_2 のうち必要なものを用いて表せ。