琉球大学

2024 年度　前期日程　物理

（2 科目　100 分）

1 以下の文章中の［①］～［⑩］に最も適切な語句，数値，数式，または選択肢の記号を記入せよ。(20 点)

問 1　図 1 － I のように，なめらかに動くピストンのついたシリンダーに理想気体が閉じ込められている。ピストンを固定したまま，気体の温度を ΔT_1 だけ変化させるとき，その内部エネルギーが ΔU_1 だけ変化するものとする。以下の過程で，気体が外部からされる仕事の大きさを W，気体に加えられる熱量を Q とする。

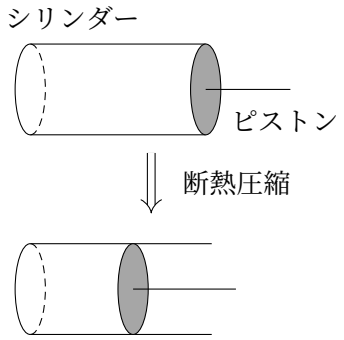

図 1 － I

静止しているピストンを動かして気体を断熱的に圧縮したところ，温度が ΔT_2 だけ上昇した。この断熱圧縮での気体の内部エネルギー変化を ΔU_2 とすると，ΔT_1，ΔT_2，ΔU_1 を用いて $\Delta U_2 =$［①］となる。

このとき W，Q は，

	(ア)	$W = 0,\ Q = \dfrac{1}{2}\Delta U_2$
	(イ)	$W = 0,\ Q = \Delta U_2$
	(ウ)	$W = 0,\ Q = 2\Delta U_2$
②	(エ)	$W = \dfrac{1}{2}\Delta U_2,\ Q = 0$
	(オ)	$W = \Delta U_2,\ Q = 0$
	(カ)	$W = 2\Delta U_2,\ Q = 0$

となる。

問 2　結晶は，図 1 － II のように，原子配列面が等間隔 d で互いに平行に積み重なったものと考えることができる。ここで，波長 λ の X 線が面 A に対し角度 θ で入射し，同じ角度で反射される場合を考える。面 A で透過する X 線は，面 B や他の原子配列面でも同じように反射する。隣り合う面 A と面 B で反射された X 線の行路差（経路差）は $\overline{\mathrm{RQ}}+\overline{\mathrm{QS}}$ であり，d と θ を用いて表すと，［ ③ ］である。面 A と面 B で反射された X 線は［ ④ ］し，この行路差が λ の整数倍になったとき強め合う（ブラッグ反射）。

ここで，波長 $\lambda = 2.0 \times 10^{-10}\,\mathrm{m}$ の X 線を結晶に当てる場合を考える。X 線を当てる方向を原子配列面に平行（$\theta = 0°$）から，しだいに傾けていき，角度 $\theta = 30°$ のときに最初の強い反射が起こった。この反射を生じた面の間隔 d は［ ⑤ ］m である。

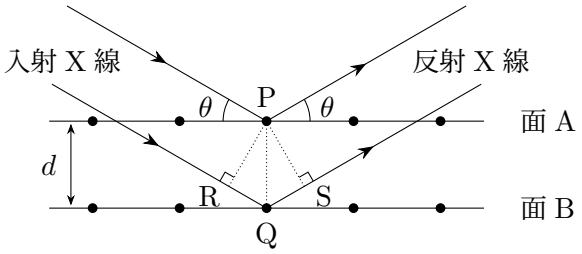

図 1 － II

問 3　原子力発電では，原子炉内の核燃料を核分裂させ，それによって生じる大きなエネルギーを利用して，電気エネルギーを生成している。核燃料として用いられるウラン元素には，$^{238}\mathrm{U}$，$^{235}\mathrm{U}$，$^{234}\mathrm{U}$ などの同位体がある。このうち，$^{235}\mathrm{U}$ に［ ⑥ ］を衝突させると，ウランの原子核は質量が半分程度の 2 つの原子核に分かれ，大きなエネルギーが放出される。

問 4　図 1 －Ⅲのような等電位線（破線）で示される電場（電界）がある。この電場中の点 A（電位 V_{A}）に電気量 q（$q > 0$），質量 m の荷電粒子を静かに置いたところ，粒子は動き始め，点 B（電位 V_{B}）を通過した。ただし，静電気力以外の荷電粒子に作用する力は無視できるものとする。

電位 V_{A} と V_{B} の関係は，⑦　(ア) $V_{\mathrm{A}} = V_{\mathrm{B}}$　(イ) $V_{\mathrm{A}} > V_{\mathrm{B}}$　(ウ) $V_{\mathrm{A}} < V_{\mathrm{B}}$ である。荷電粒子が点 B を通過する速さを v とすると，$v =$ ⑧ となる。

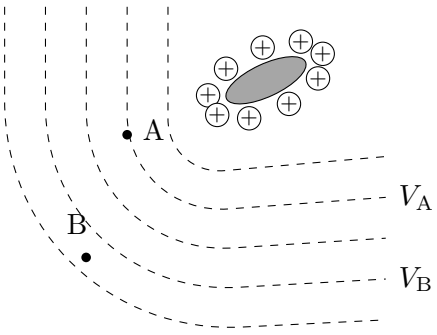

図 1 －Ⅲ

問 5　図 1 －Ⅳのように，地球（質量 M）のまわりを，人工衛星（質量 m）が地球からの万有引力を受けて公転している。ただし，地球を球とみなし，公転は半径 r の等速円運動とみなせるとする。万有引力定数を G とする。

人工衛星の速さを v とすると，$v =$ ⑨ と表される。人工衛星の公転周期を T とすると，T^2 は半径 r の ⑩ 乗に比例する。

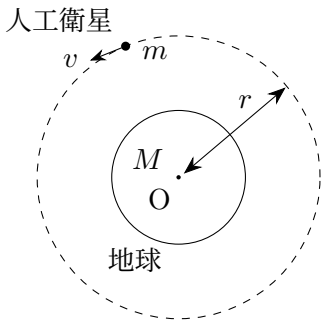

図 1 －Ⅳ

2 以下の **A**，**B** の各問に答えよ。(15 点)

A　図 2 － I のように水平な地面の上に，地面になめらかに接続する 2 つの斜面を持つ台が固定されている。左側の台を台 1，右側の台を台 2 とよぶ。台 1 の最上部の高さは h_1 であり，台 2 の最上部の高さは h_2 である。台 2 の右端の斜面と鉛直面の間の角度は θ である。図のように x 軸と y 軸および座標原点 O をとる。ただし，x 軸は水平方向で右向きを正の向きに，y 軸は鉛直方向で上向きを正の向きにする。

台 1 の最上部の高さ h_1 の位置に質量 m_1 の小球 1 を手で支えておき，さらに台 1 と台 2 の間の水平区間に質量 m_2 の小球 2 を静止させた。その後，小球 1 から手を静かに離すと小球 1 は斜面をすべりおり，小球 2 と衝突した。衝突後小球 2 は x 軸の正の向きに動き，台 2 を登り，台 2 の右端から飛び出した。小球 1 は，小球 2 と衝突後はねかえり，再び小球 2 と接触することはなかった。重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗および摩擦は無視できるものとする。

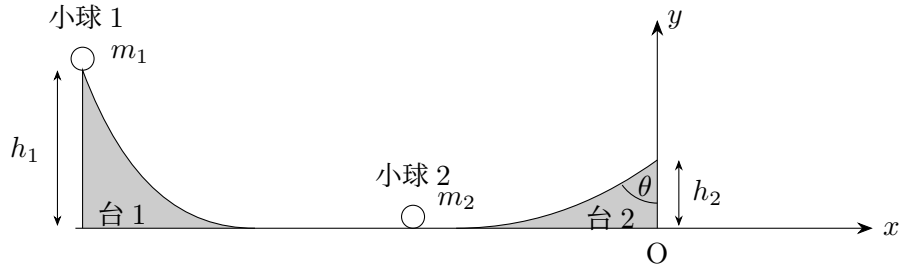

図 2 － I

問 1　小球 1 と小球 2 の間の反発係数を e_1 とする。小球 2 が台 2 の右端から飛び出した直後の小球 2 の速度の大きさ v' を求めよ。

問 2　小球 2 が台 2 を飛び出してから最初に地面に落ちるまでの時間 T を v' を用いて表せ。

問 3　小球 2 が台 2 から飛び出し，最初に地面に着く直前の小球 2 の速度の y 成分の絶対値を v_y とする。v_y を v'，T を用いて表せ。

問 4　台 2 から飛び出した小球 2 は，地面に衝突してはねかえりながら x 軸の正の向きに進んだ。地面と小球 2 の間の反発係数を e_2 とする。小球 2 の 3 回目の地面との衝突から 4 回目の地面との衝突の間に，小球 2 が到達する最高点の y 座標を H とする。H を v_y を用いて表せ。

B　図 2 － II のように台車の上に，斜面を有する台を固定して設置した。x 軸と y 軸は地面に固定されており，x' 軸と y' 軸は台の左下端を原点として台車に固定された座標軸である。x 軸と x' 軸は水平方向で右向きを正の向きに，y 軸と y' 軸は鉛直方向で上向きを正の向きにする。質量 m の小球を手で持ち，台の斜面の最上部 $y' = h$ の位置で小球から手を静かに離し，同時に台車を x 軸の正の向きに加速度 $\dfrac{3}{4}g$ で等加速度運動をさせた。ただし，g は重力加速度の大きさであり，空気抵抗および摩擦は無視できるものとする。

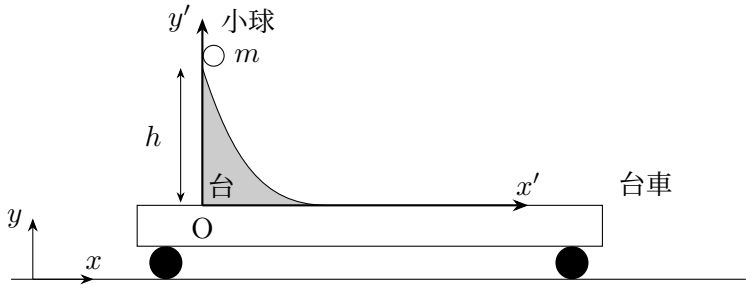

図 2 － II

問 5　台車が等加速度運動をしているので，台車に固定された x' 軸および y' 軸の座標系で小球の運動を考える場合，小球に作用する慣性力ベクトル $\vec{F}$ を考慮する必要がある。$\vec{F}$ の x' 成分 $F_{x'}$ を求めよ。

問 6　台車が等加速度運動を継続する間，台車に対して静止した人から小球の運動を見る。斜面は十分急であり，小球は台をすべりおりて $y' = 0$ の水平面に到達した。さらに，小球は x' 軸の正の向きに進んだが，その後 x' 軸の負の向きに戻る運動をした。このとき，小球が到達した x' 座標の最大値 x'_a を求めよ。

3 以下の **A**，**B** の各問に答えよ。(15 点)

A　図 3 － I のように，内部抵抗が無視できる起電力 E [V] の電池，抵抗値 R [Ω] および R_0 [Ω] の抵抗，電気容量（静電容量）C [F] のコンデンサー，抵抗の無い自己インダクタンス L [H] のコイル，スイッチ S_1，S_2 からなる回路がある。また，図に示すように，電流 I_1 [A]，I_2 [A] の大きさと正の向きを定める。はじめに全てのスイッチは開いているものとし，コンデンサーの内部に電荷は蓄えられていないものとする。

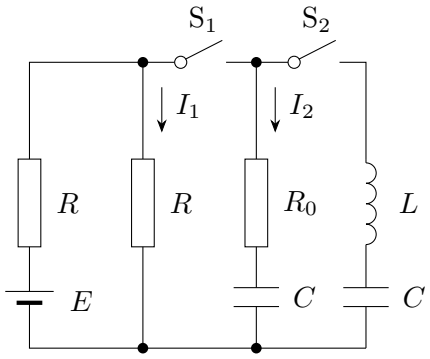

図 3 － I

問 1　電流の大きさ I_1 を E と R を用いて表せ。

問 2　時刻 $t = t_0$ [s] でスイッチ S_1 を閉じたとき，電流 I_2 の時間変化を表す最も適切なグラフを次の図 3 － II (ア)〜(カ) の中から 1 つ選び，その記号で答えよ。

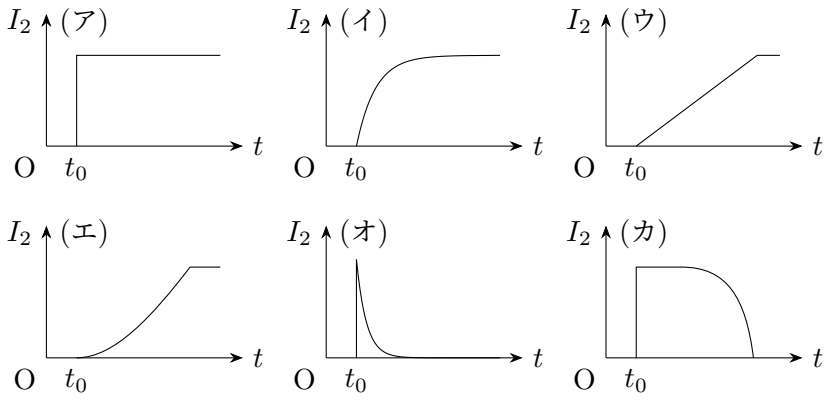

図 3 － II

スイッチ S_1 を閉じてから十分長い時間が経過したあと，スイッチ S_1 を開いてスイッチ S_2 を閉じたところ電気振動が起きた。

問 3　抵抗値が $R_0 = 0\,\Omega$ であるとき，電気振動の周期 T [s] を以下の選択肢 (ア)〜(カ) の中から 1 つ選び，その記号で答えよ。

(ア) $2\pi\sqrt{2LC}$　　(イ) $2\pi\sqrt{LC}$　　(ウ) $2\pi\sqrt{\dfrac{LC}{2}}$　　(エ) $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}$

(オ) $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$　　(カ) $\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{2}{LC}}$

問 4　抵抗値が $R_0 > 0\,\Omega$ であるとき，電気振動は時間の経過とともに減衰し，十分な時間が経過すると電流が 0 A となる。このとき，抵抗値 R_0 の抵抗において消費されたエネルギー U [J] を E，R，R_0，C，L の中から必要なものを用いて表せ。

B　図 3 －Ⅲのように，1 辺の長さが L の正方形のコイル abcd が，コイルの面に対し垂直な磁場（磁界）を横切る。コイルの置かれている面を xy 平面（紙面）とし，面に垂直な裏から表向きを z 軸の正の向きとする。コイルは辺 ad と辺 bc を x 軸と平行に保ちながら，x 軸の正の向きに一定の速さ v で進むとする。紙面に垂直な磁場の磁束密度ベクトルの z 成分を，$0 \leqq x \leqq L$ の範囲では B，$L < x \leqq 2L$ の範囲では B' とし，B と B' の値はそれぞれの領域で一定であるとする。B と B' の値が正の場合 z 軸の正の向きの磁場を表すとし，$B > 0$ とする。コイルは変形しないものとし，コイルの抵抗を R とする。また，コイルに流れる電流から生じる磁場は無視できるものとする。

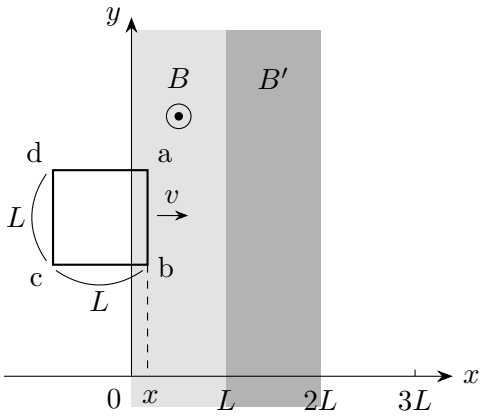

図 3 －Ⅲ

問 5　コイルの辺 ab が $0 \leqq x \leqq L$ の範囲を運動するとき，コイルを流れる電流 I の大きさを求めよ。

問 6　コイルの辺 ab が $L < x \leqq 2L$ の範囲を運動するとき，コイルの adcb の向き（コイルを z 軸の正の側から見て反時計回り）に大きさ I の電流が流れたとする。このときコイル全体に働く力の大きさを求めよ。また，この力の向きを以下の選択肢 (ア)〜(カ) の中から 1 つ選び，その記号で答えよ。

(ア) x 軸の正の向き　(イ) x 軸の負の向き　(ウ) y 軸の正の向き

(エ) y 軸の負の向き　(オ) z 軸の正の向き　(カ) z 軸の負の向き

問 7　コイルの辺 ab が $0 \leqq x \leqq 3L$ の範囲を運動する場合（コイルの全体が磁場の領域を通過する場合）を考える。B' が $-2B \leqq B' \leqq 2B$ の範囲のある一定の値をとるとき，以下の選択肢 (ア)〜(オ) にある B' の値の中で，コイルで発生するジュール熱が最も大きくなるのはどれか。選択肢の中から 1 つ選び，その記号で答えよ。

(ア) $B' = 2B$　(イ) $B' = B$　(ウ) $B' = 0$　(エ) $B' = -B$

(オ) $B' = -2B$