三重大学

2023 年度　前期日程　物理

（2 科目　150 分）

1 次の文章を読み，**問 1**〜**問 6** に答えなさい。

図 1，図 2 のように，水平な地面に大きさの無視できる質量 m〔kg〕の小球と，角度 θ〔rad〕の斜面と水平な上面を持つ高さ h〔m〕の台がある。台の斜面は地面から滑らかに接続されている。重力加速度の大きさは g〔m/s^2〕とし，各部の摩擦，空気抵抗は無視できるものとする。また運動は図に示される鉛直面のみで行われ，奥行き方向の運動はないものとする。

［Ⅰ］ 図 1 のように小球を速さ v_0〔m/s〕で打ち出す状況を考える。

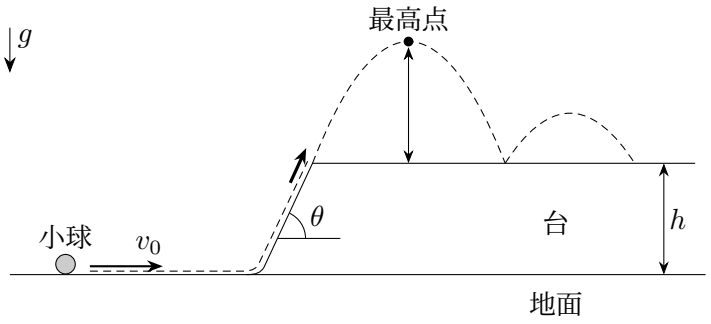


図 1

問 1　小球を台に向けて地面で速さ v_0 となるよう打ち出した。小球は地面を滑ったあと斜面を登り，ある速さで斜面上端から飛び出した。飛び出した瞬間の小球の速さ〔m/s〕を求めなさい。

問 2　小球は斜面上端から飛び出したあと，放物線を描いて運動した。この放物線の最高点の台上面からの高さ〔m〕を求めなさい。

［Ⅱ］ 図 2 のように地面にばね定数 k〔N/m〕のばねを設置する。台と逆側のばねの端は固定し，ばねが自然長の状態で斜面側に小球が接するよう配置した状況を考える。ばねの質量は無視できるものとする。

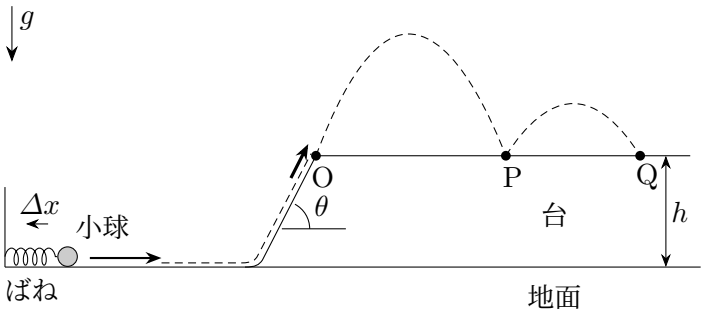


図 2

問 3　ばねで打ち出すため小球を台と逆向きに押し，ばねが自然長から $\Delta x\,(>0)$〔m〕だけ縮んだ位置で止めた。このとき縮めるのに要した仕事〔J〕を求めなさい。

問 4　その後静かに手を放すと，小球を押しながらばねは伸びた。ばねが自然長となった位置から小球はばねを離れて地面を滑った。ばねの弾性力による位置エネルギー（弾性エネルギー）がすべて小球の運動エネルギーになったとして，小球が地面を滑った速さ〔m/s〕を求めなさい。

問 5　小球は斜面上端から飛び出したあと，台に落下した。斜面上端を O とし，落下して最初に台上面に衝突した点を P とする。O から P までの距離〔m〕を求めなさい。

問 6　小球と台のはね返り係数を $e\,(0<e<1)$ とする。小球が台上面へ最初に P で衝突したあと，一度はね返って台に再度衝突した点を Q とする。斜面上端 O から Q までの距離〔m〕を求めなさい。

2 次の文章中の (i) 〜 (iv) に適切な数式を記入し，(v) には選択肢の番号を記入しなさい。なお，重力加速度の大きさは g〔m/s^2〕とする。

図 1 に示すような硬くて変形しない物体がある。この物体の形は，一辺の長さが a〔m〕の正方形を底面とする高さ $2a$〔m〕の四角柱である。水の密度を ρ〔kg/m^3〕とすると，この物体の密度は 2ρ〔kg/m^3〕である。十分な広さがあり，深さが $3a$〔m〕の水槽内に，この物体を置き，横から加える力 F〔N〕を徐々に大きくしていき，物体が滑りだす様子を観察した。物体を縦向きに置く場合（図 2(a)，図 3(a)），物体が滑りだすときの力を F_1〔N〕とする。また，物体を横向きに置く場合（図 2(b)，図 3(b)），物体が滑りだすときの力を F_2〔N〕とする。ここで，水槽の底面と物体との間の静止摩擦係数は μ である。

水槽に水が入っていない場合（図 2），F_1 は (i) 〔N〕と表される。また F_1 と F_2 の関係を表す式は (ii) となる。

次に，水槽に水を注入し，水深 h〔m〕を変化させた。このとき，物体と水槽の底面の間には，水がしみ込むが，静止摩擦係数は μ のままで変化しないものとする。図 3 のように h が $0 < h < a$ の範囲にあるとき，F_1，F_2 はそれぞれ，(iii) 〔N〕，(iv) 〔N〕と表される。

水深 h が $0 \leqq h \leqq 3a$ の範囲で変化するとき，水深 h と F_1，F_2 との関係を表す図として正しいものは，図 4 の (1)〜(8) のうち (v) である。

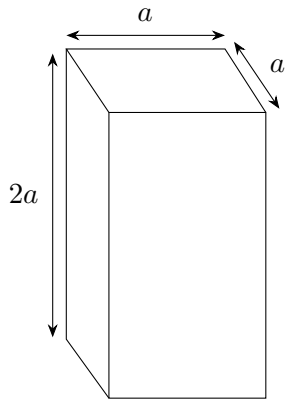


図 1

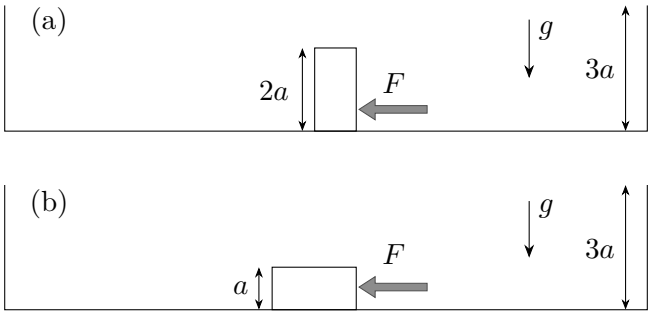


図 2

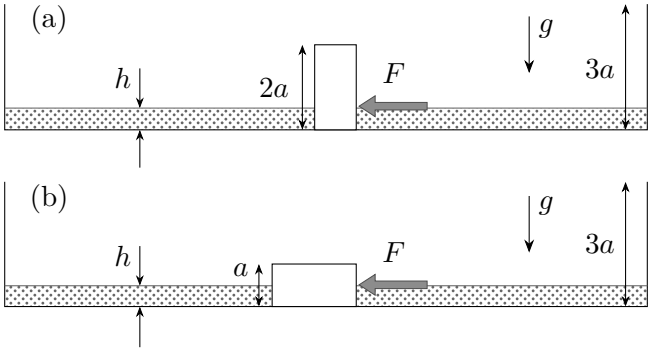


図 3

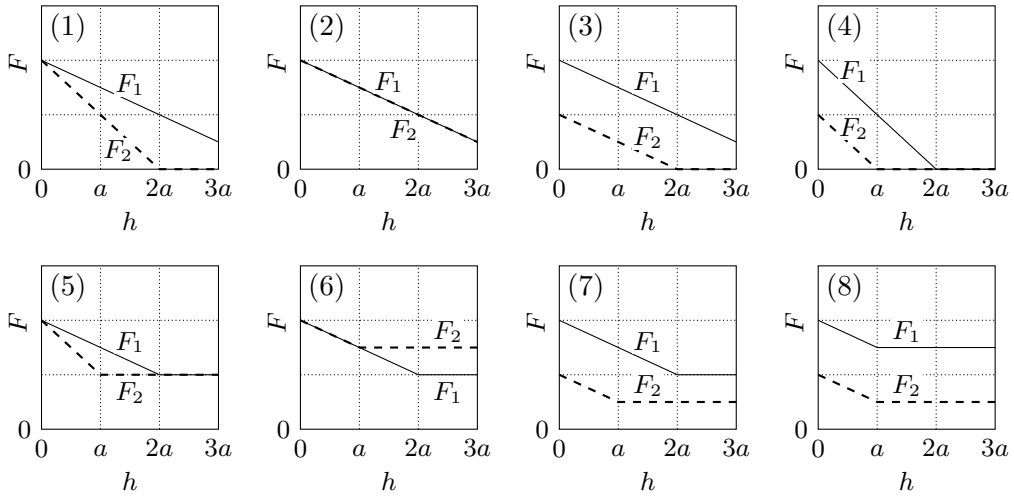


図 4

3 図 1 に示されるように，2 つの同じ直径 D〔m〕の円柱形シリンダ 1，2 が，互いに開口部を向けあい，同一のピストン（直径，長さ，密度がそれぞれ D，L〔m〕，ρ〔kg/m^3〕の円柱）の端の片方ずつを差し込んだ状態で，それぞれ台に固定される。それぞれのシリンダは外とつながる栓を持ち，どちらの栓も開放されている。また，シリンダ 1，2 の底面（図を参照）とピストンの端面の間の距離がそれぞれ L_1〔m〕，L_2〔m〕となるような位置にピストンが置かれて，この状態が十分長い時間保たれている。ここで，シリンダの外部の気体は理想気体であり，圧力，比熱比はそれぞれ p_0〔Pa〕，γ で，密度はピストンの密度より十分に小さいとする。

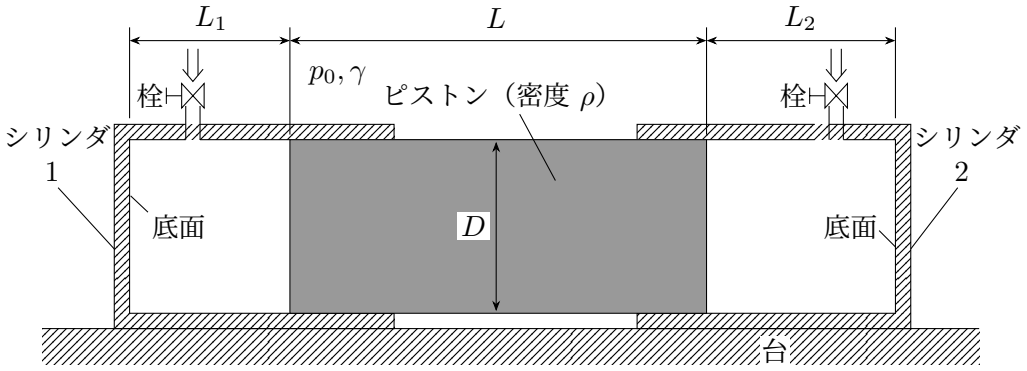


図 1

その後，栓は両方とも閉鎖された。この状態で各シリンダ内の気体と熱は出入りしない。また，シリンダと栓をつなぐパイプ内部の体積は無視できる。さらに，ピストンと各シリンダの間の摩擦は無視できるとして，以下の問に答えなさい。

［Ⅰ］ シリンダ 1 から 2 へ向かう方向に x〔m〕軸をとり，図 2 のようにピストンを図 1 の位置から x 軸の正の向きに $\Delta x\,(>0)$〔m〕だけ移動させた。

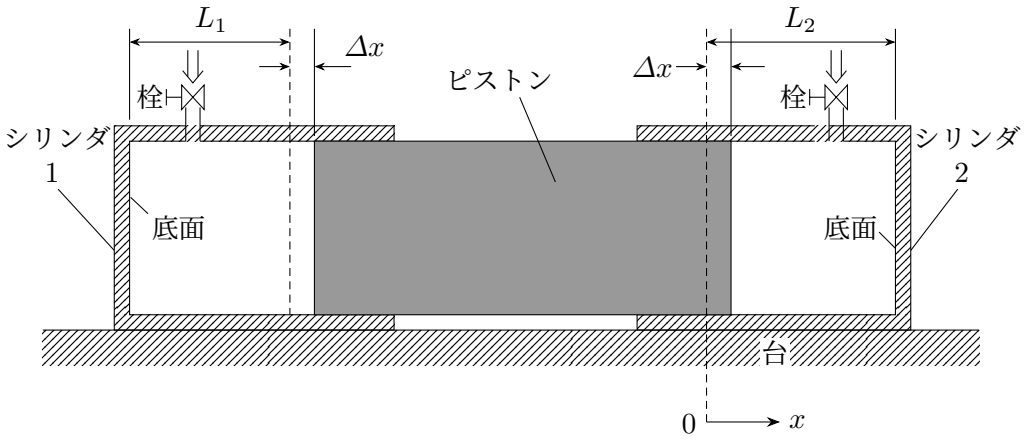


図 2

問 1　シリンダ 1 内の圧力〔Pa〕を求めなさい。

問 2　シリンダ 2 内の圧力〔Pa〕を求めなさい。

問 3　このピストンの位置を維持するのに必要な x 軸の正の方向の力〔N〕を求めなさい。

［Ⅱ］ 図 2 の状態からピストンを静かに放したら，ピストンは x 軸と平行に振動した。ピストンの運動中，瞬間ごとのシリンダ内の圧力・温度は，各シリンダ内について一様であるとみなせる。また，初期のピストンの変位 Δx が L_1，L_2 より十分に小さく，ピストンの運動は単振動であると近似できるとする。ただし，実数 α，δ に対して，$|\delta|$ が 1 にくらべて十分に小さい場合，$(1+\delta)^\alpha \fallingdotseq 1+\alpha\delta$ が成り立つことを用いてよい。

問 4　ピストンの運動を単一のばねによる単振動に近似し，対応するばね定数〔N/m〕を求めなさい。

問 5　変位 x におけるピストンの加速度〔m/s^2〕を求めなさい。

問 6　ピストンの運動の周期〔s〕を求めなさい。

4 以下の文章中の (あ) ～ (え) に適切な数式を記入しなさい。

図 1 のように空気中に円柱状の媒質 I がある。その端面は中心軸に垂直であり，側面は媒質 II で囲まれている。図 2 のように，円柱の端面の中心 O を通り，外側から媒質 I に入射角 θ_0〔rad〕で入った光を考える。ただし $0 \leqq \theta_0 < \dfrac{\pi}{2}$ とする。媒質 I および II の絶対屈折率はそれぞれ n_1，n_2 である。外側の空気の絶対屈折率を n_0 とし，$n_0 < n_2 < n_1 < \sqrt{2}\, n_0$ とする。

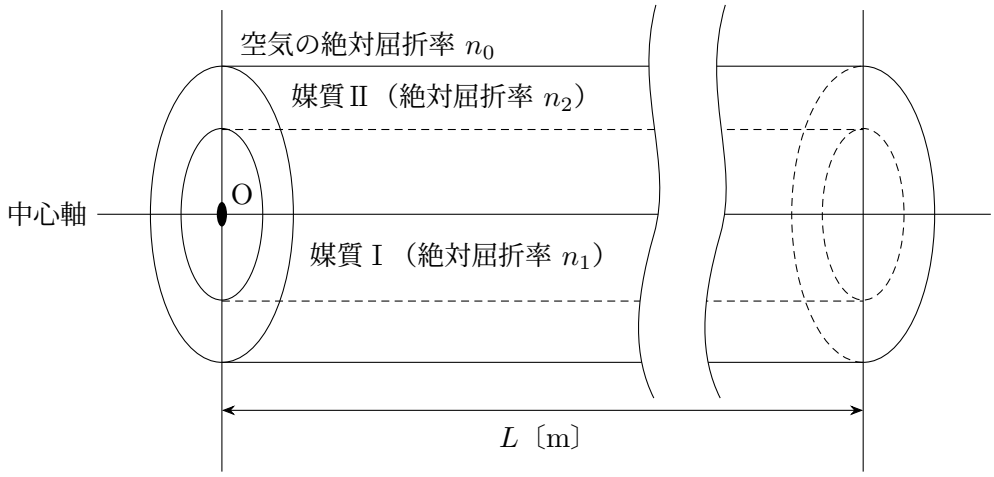


図 1

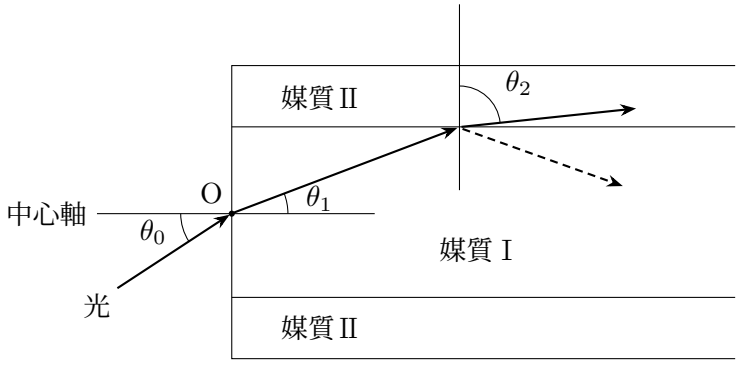


図 2

問 1　端面から媒質 I に入った光の一部は媒質 II との境界で反射し，また一部は媒質 II に進む。図 2 のように端面において媒質 I に入った光の屈折角を θ_1〔rad〕，さらに媒質 II に入った光の屈折角を θ_2

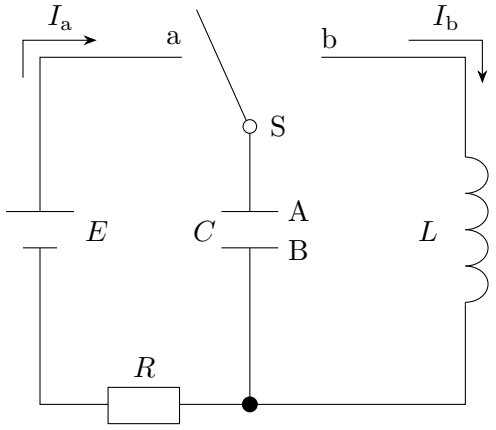
〔rad〕とすると，$\sin\theta_2$ は θ_1，n_1，n_2 を用いて［ (あ) ］と表される。

問 2　媒質Ⅰから媒質Ⅱに光が入射するときに境界面で全反射が起こる臨界角を θ_c〔rad〕とすると，$\sin\theta_c$ は屈折率 n_1，n_2 を用いて［ (い) ］と表される。

問 3　光が媒質Ⅱの中に進まずに媒質Ⅰ内を進んでいくためには，媒質Ⅰと媒質Ⅱの境界面で全反射を繰り返す必要がある。そのための光の入射角 θ_0 が満たす条件は n_0, n_1, n_2 を用いて $0 \leqq \sin\theta_0 <$［ (う) ］と表される。

問 4　円柱の全長を L〔m〕，真空中での光の速さを c〔m/s〕とする。光が媒質Ⅱの中に進まずに媒質Ⅰ内を進んで，円柱の他端に到達するまでに要する時間は c，n_0，n_1，L，θ_0 を用いて［ (え) ］〔s〕と表される。

5 電池（起電力 E〔V〕），抵抗（抵抗値 R〔Ω〕），コンデンサー（電気容量 C〔F〕，極板 A，B），コイル（自己インダクタンス L〔H〕），スイッチ S からなる図の回路がある。電池の内部抵抗やコイル，導線などの電気抵抗は無視する。以下の問に答えなさい。



図

［Ⅰ］　コンデンサーに蓄えられた電気量が 0 の状態でスイッチ S を a 側に接続する。

問 1　接続した直後に回路に流れる電流 I_0〔A〕を求めなさい。

問 2　回路に電流 I_a〔A〕が流れているとき $(0 < I_a < I_0)$，それまでにコンデンサーに蓄えられた電気量 q〔C〕を求めなさい。

問 3　十分長い時間が経過した後，コンデンサーに蓄えられた電気量 Q〔C〕を求めなさい。

［Ⅱ］　スイッチ S を a 側に接続し十分長い時間が経過した後，スイッチ S を b 側に接続した。このときの時刻を $t = 0\,\mathrm{s}$ とする。

問 4　回路に流れる電流 I_b〔A〕は時間とともに変化する。電流 I_b の最大値 I_m〔A〕を求めなさい。

問 5　最初にコンデンサー極板 B に蓄えられた電気量が正で最大となる時刻 t_1〔s〕を求めなさい。

問 6　時刻 t_1 の後，最初にコンデンサーの電圧が 0 V となる時刻 t_2〔s〕を求めなさい。