

「物 理」

試験時間 90 分

配点 150 点

※物理と化学から 1 科目を選択し，解答しなさい。

※選択解答する科目は，解答用紙にある「選択科目チェック欄」
にを記入しなさい。

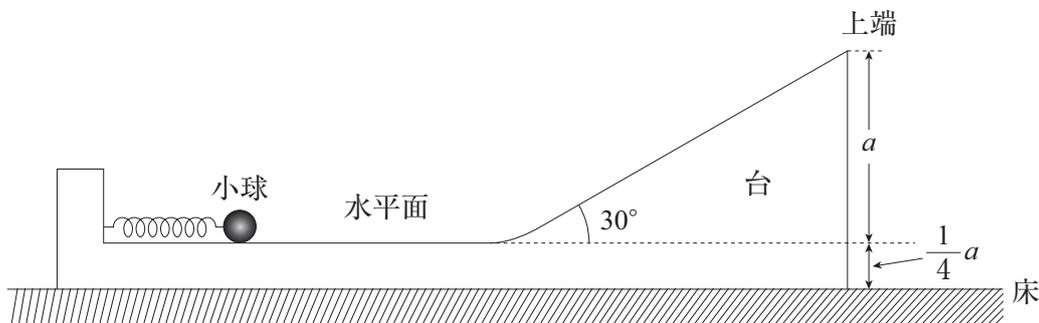
【過去問題に関する追記】

「答え」のみ記入する解答と、「グラフ」や「途中式・
考え方」を記入する解答がある。

【1】 図のように、水平面となめらかにつながった傾斜角 30° で水平面からの高さ a の斜面をもつ質量 $2m$ の台が水平な床面上に置かれている。台の水平面の床面からの高さは $\frac{1}{4}a$ であり、台の左端には質量が無視できるばねの一端が固定されている。ばねを自然の長さから a だけ縮めて、その右端に質量 m の小球を置き静かにはなした。はなす直前には、小球も台も静止させていた。重力加速度の大きさを g とし、水平面の長さはばねの自然の長さより十分長く、小球が運動する間に働く空気抵抗、台の水平面や斜面上から受ける摩擦力はすべて無視できるものとする。ばねのばね定数を $\frac{4mg}{a}$ として、以下の各問いに答えよ。

[A] 台が動かないように床に固定されている場合について考える。 a 、 m 、 g のうち必要なものを用いて、次の(1)~(3)の各問いに答えよ。

- (1) ばねを自然の長さから a だけ縮めたとき、ばねに蓄えられている弾性エネルギー U を求めよ。
- (2) 小球がばねから離れ、台の水平面上を運動しているときの小球の速さ v を求めよ。
- (3) 小球は台の斜面を上り、上端から飛び出した。飛び出す瞬間の小球の速さ v_0 を求めよ。



図

[B] 台と床の間に摩擦がなく、台が床面上を自由に動ける場合について考える。このときも小球は台の斜面の上端から飛び出した。飛び出す瞬間の床面に対する、小球の速度の水平成分、鉛直成分の大きさをそれぞれ、 v_x 、 v_y 、台の速さを V とする。次の(4)~(8)の各問いに答えよ。

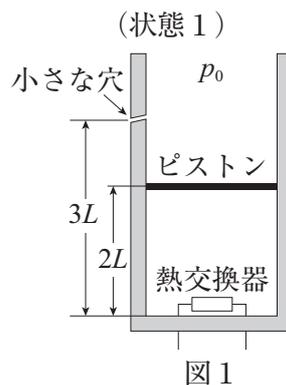
- (4) 小球と台からなる系について、力学的エネルギーは保存される。力学的エネルギー保存則を表す次の関係式の空欄に入る式を、 v_x 、 v_y 、 V を用いて表せ。

$$\frac{1}{2}m \left(\boxed{} \right) = \frac{1}{2}mv_0^2$$

ただし、 v_0 は(3)で求めた小球の速さとする。

- (5) V は v_x の何倍か求めよ。
- (6) v_y を V を用いて表せ。
- (7) 小球が台の斜面の上端から飛び出す瞬間の床面に対する小球の速さ v' を、 v_0 を用いて表せ。ただし、 v_0 は(3)で求めた小球の速さとする。
- (8) 小球が台の斜面の上端から飛び出して床面に落下するまでの間において、小球の達する最高点の床面からの高さを考える。台が動かないように床に固定されている場合の高さを h_A 、台が床面上を自由に動ける場合の高さを h_B とするとき、 h_B は h_A の何倍か求めよ。

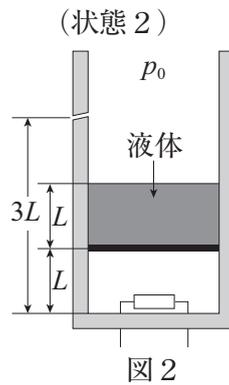
【2】 図1のように、なめらかに動く断面積 S のピストンをそなえた円筒容器が鉛直に立てられている。円筒容器の底面には封入気体の温度を調節することができる熱交換器がとりつけられており、側壁には底面より高さ $3L$ のところに小さな穴があけられている。はじめ、円筒容器内部には 1 mol の単原子分子理想気体が封入されており、ピストンは円筒容器の底面より高さが $2L$ の位置で静止している。この状態を状態1とする。外気の圧力を p_0 、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とし、ピストン、円筒容器はともに断熱材でできており、ピストンの厚さ、熱交換器の体積、および、ピストン、円筒容器、熱交換器の熱容量は全て無視できるものとして、以下の各問いに答えよ。ただし、 $2^{\frac{5}{3}} \approx 3.2$ として計算せよ。



状態1のとき、封入気体の圧力は $2p_0$ であった。

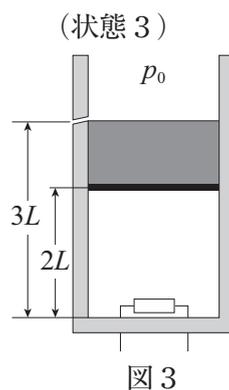
- (1) ピストンの質量 m を、 S 、 L 、 p_0 、 g 、 R のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 状態1のとき、封入気体の温度 T_1 を、 S 、 L 、 p_0 、 g 、 R のうち必要なものを用いて表せ。

次に、ピストンの上部に一定密度の液体をピストンから液面までの高さが L になるまでゆっくりそそいでいったところ、図2のように、円筒容器の底面からピストンまでの高さが L のところでピストンは静止した。この状態を状態2とする。



- (3) 状態 2 における封入気体の圧力は p_0 の何倍になるか. ただし, 断熱変化において 圧力 \times (体積) $^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ の関係があることを用いよ.
- (4) そそいだ液体の密度 ρ を, p_0, L, g を用いて表せ.
- (5) 状態 1 から状態 2 の過程において, 封入気体が外部からされた仕事 W_{12} を, p_0, S, L を用いて表せ.

そして, 状態 2 から熱交換器を用いて封入気体をゆっくりと加熱したところ, 図 3 のように, ピストンは L だけ上昇した. この状態を状態 3 とする.



- (6) 状態 2 から状態 3 の過程において, 封入気体が吸収した熱量 Q_{23} を, p_0, S, L を用いて表せ.

さらに、ピストンの位置が円筒容器の底面から $3L$ になるまで熱交換器を用いて封入気体の温度をゆっくりと調節していったところ、図4のように、液体は穴より完全に排出された。この状態を状態4とする。

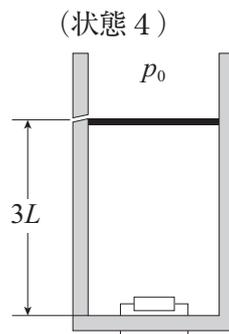
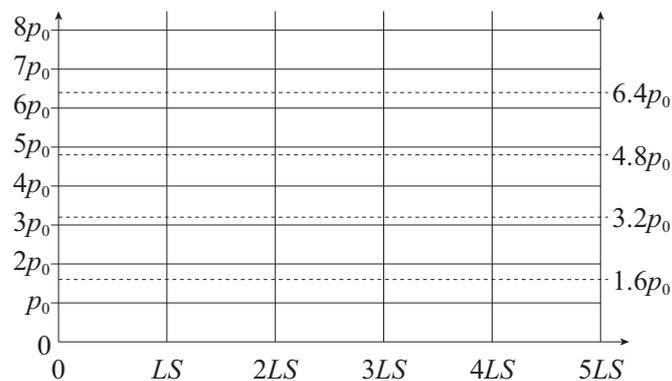


図4

- (7) 状態1 → 状態2 → 状態3 → 状態4 の気体の状態変化の過程を次の P-V 図に示せ。

その際に、状態1, 2, 3, 4 にあたる点に黒丸を記し、変化の方向を矢印で表せ。



- (8) 状態3 から状態4 の過程において、封入気体が外部にした仕事 W_{34} を、 p_0 , S , L を用いて表せ。

【3】 図1のように、面積 S の 2 枚の金属極板を間隔 d で平行に配置した平行板コンデンサー C_1 に大きさが同じで符号が異なる電気量 $+Q$ ($Q>0$), $-Q$ の電荷を蓄えた。極板間の誘電率を ϵ_0 として、以下の各問いに答えよ。ただし、極板の面積 S は十分大きく、極板間の電場は一様とみなせ極板の端の電場の乱れは無視できるものとする。

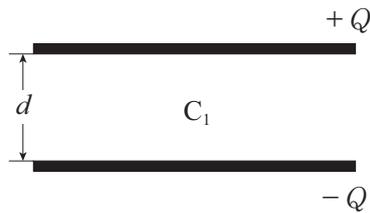


図1

- (1) 平行板コンデンサー C_1 の電気容量を求めよ。なお、答えは、 S , d , Q , ϵ_0 のうち必要なものを用いよ。
- (2) 平行板コンデンサー C_1 の極板間の電場の強さ E を求めよ。なお、答えは、 S , d , Q , ϵ_0 のうち必要なものを用いよ。
- (3) 平行板コンデンサー C_1 に蓄えられている静電エネルギー U を求めよ。なお、答えは、 S , d , Q , ϵ_0 のうち必要なものを用いよ。
- (4) 平行板コンデンサー C_1 に蓄えられている電気量を Q のままの状態、極板間距離を Δd だけゆっくり増加させる。このときの静電エネルギーの増加分 ΔU は、両極板が引き合う電気力にさかからって極板間距離を Δd だけ増加させるのに必要な仕事に等しい。この関係を用いて、電気量 Q が蓄えられている状態のときに両極板が引き合う電気力の大きさ F と、 Q , E の関係を導出せよ。

次に、平行板コンデンサー C_1 の極板間隔を d に戻した後、図 2 のように、 C_1 と同一の極板面積 S をもち極板間の誘電率が ϵ_0 の平行板コンデンサー C_2 、抵抗 R 、スイッチ S からなる回路を形成する。ただし、 C_1 の極板間隔は d のまま固定されているが、 C_2 の上の極板は絶縁体でできたばね定数 k のばねにより鉛直方向になめらかに動くことができ、下の極板は絶縁体の支柱により位置が固定されている。ばねの上端は絶縁物に固定し、ばねや極板の質量、導線の電気抵抗および極板の厚さは無視できる。また、導線は極板の動きに影響しないものとする。はじめ、スイッチ S が開いている状態ではばねは自然長であり、平行板コンデンサー C_2 は帯電しておらず極板間隔は d であったが、スイッチ S を閉じ十分時間が経過した後は $\frac{1}{2}d$ に変化した。

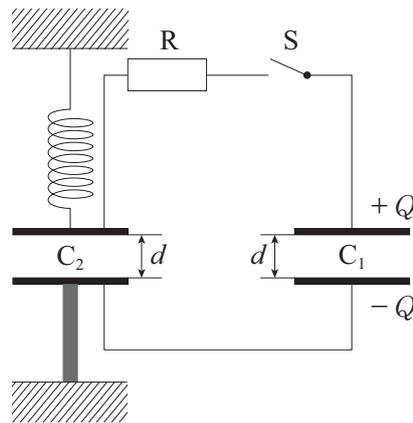


図 2

- (5) 以下の空欄 (a) ~ (e) に適切な数式を入れて文章を完成させよ。
 なお、答えは、 S , d , Q , ϵ_0 のうち必要なものを用いよ。数値は既約分数で表せ。

このとき、平行板コンデンサー C_2 に蓄えられている電気量は (a) になり、 C_2 の極板間の電位差は (b) となる。したがって、 C_2 の両極板間が引き合う電気力の大きさは (c) になるから、ばね定数 k は、 $k =$ (d) と求めることができる。

また、平行板コンデンサー C_1 , C_2 に蓄えられている静電エネルギーをそれぞれ U_1 , U_2 、ばねの弾性エネルギーを U_e とすると、 $U_1 + U_2 + U_e =$ (e) となる。

- (6) 抵抗 R で発生するジュール熱となって、外部に放出されたエネルギー H を求めよ。なお、答えは、 S , d , Q , ε_0 のうち必要なものを用いよ。数値は既約分数で表せ。