

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SI(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には、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のように、ばね定数 k のばねが水平で滑らかな平面に置かれている。ばねの一端は固定されており、これと反対側の端に質量 M の物体が取り付けられている。ばねと物体が置かれた平面は、高さが調整可能な昇降機の上に固定されており、平面の下方には水平な床と、床から続く階段がある。質量 m の小球を平面上の物体に接するように置き、小球と物体をあわせて押し込んだ後、ばねを自然長から d だけ縮めたところで静かに解放した。小球は物体から離れた後、平面から飛び出し、物体は単振動をした。ばねの質量および空気抵抗は無視できる。また、小球および物体は、紙面内でのみ運動する。以下の問いに答えよ。

問1 小球が平面を飛び出すときの速さを求めよ。{ d, k, M, m }

問2 小球が物体から離れた後に物体が示す単振動の振幅を求めよ。{ d, M, m }

昇降機の高さを調整して平面と床との距離を h_0 とし、ばねの自然長からの縮みを d_0 としたところ、平面を飛び出した小球は床に落下して一度はね返った後、階段へ飛び出し、各段の同じ位置にあたり同じ高さだけはね上がる、規則的な落下運動をした。階段の段差は h 、幅は w で、各段で同一である。小球が床および階段の各段ではね返る直前の鉛直方向の速さを v_N とし、はね返り係数を e (ただし $e < 1$) とする。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。

問3 小球が一度のはね返りで失う運動エネルギーを求めよ。{ e, m, v_N }

問4 小球の規則的な落下運動を考えて v_N を求めよ。{ e, g, h }

問5 小球がある段ではね返ってから次の段に達するまでの時間を求めよ。 $\{e, g, v_N\}$

問6 h_0 を求めよ。 $\{e, h\}$

問7 d_0 を求めよ。 $\{e, g, h, k, M, m, w\}$

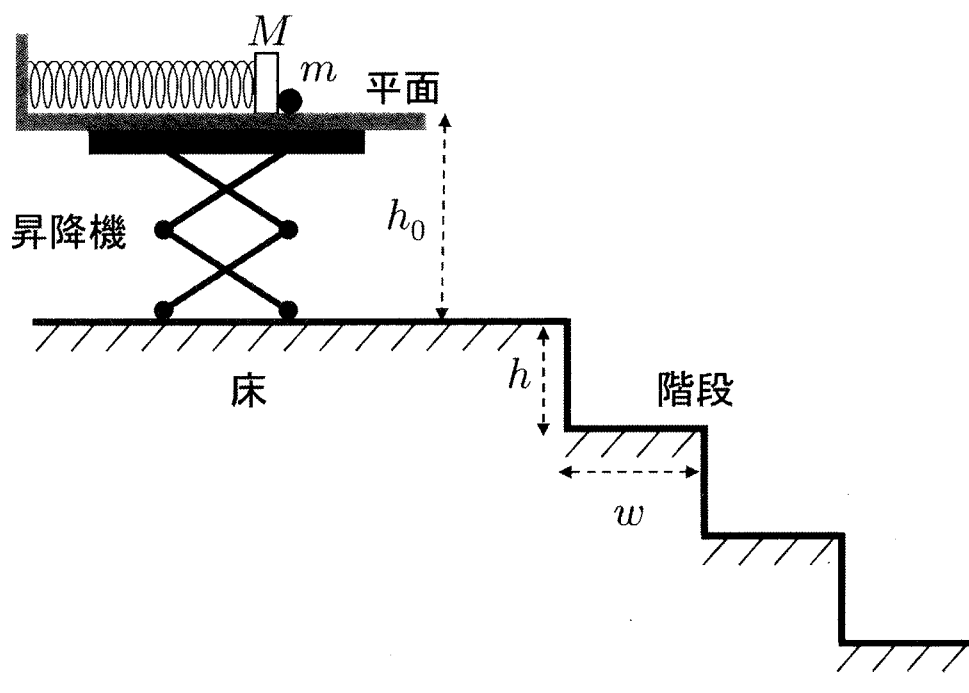


図1

第2問

図2のように、間隔 $2d$ で配置された面積 S の極板 X, Y からなり、極板間が真空の平行板コンデンサー C_1 を考える。極板と同じ面積の薄い金属板 Z を、極板間の中央に位置するように、極板 X, Y に平行に挿入する。さらに、極板 X, Y と金属板 Z に抵抗 R 、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 および電圧 V_0 の電池を接続する。最初の状態 1 は、スイッチ S_1 を閉じ、スイッチ S_2 および S_3 を開いて十分に時間が経過した状態であり、金属板 Z の電気量は 0 であるとする。真空の誘電率を ϵ_0 として、以下の問いに答えよ。ただし、極板の面積は十分に広く、極板間隔は十分に小さいものとする。

問1 極板 X, Y 間の電気容量 C を求めよ。 $\{\epsilon_0, d, S\}$

次に、スイッチ S_1 を開いた後に、スイッチ S_2 を閉じた。十分に時間が経過した後の状態を状態2とする。

問2 状態2における金属板 Z の電気量 q を求めよ。 $\{C, V_0\}$

問3 状態2における平行板コンデンサー C_1 の極板 X, Y 間の電界を図示せよ。ただし、電界の向きを表す矢印の向き、および電界の強さを表す矢印の本数密度は、図3に準拠せよ。ここで、図3は、極板の面積 S 、極板の間隔 $2d$ 、極板間が真空の平行板コンデンサー C_2 に、電圧 V_0 の電池を接続したときの極板間の電界を描いた図である。

問4 状態2において、平行板コンデンサー C_1 に蓄えられた静電エネルギー U を求めよ。 $\{C, q\}$

問5 状態1から状態2に変化する際に抵抗 R で発生した熱量 W を求めよ。 $\{C, q\}$

続いて、スイッチ S_2 を開いた後に、スイッチ S_3 を閉じた。十分に時間が経過した後の状態を状態3とする。

問6 状態3における平行板コンデンサー C_1 の極板 X, Y 間の電界を, 図3に準拠して図示せよ。

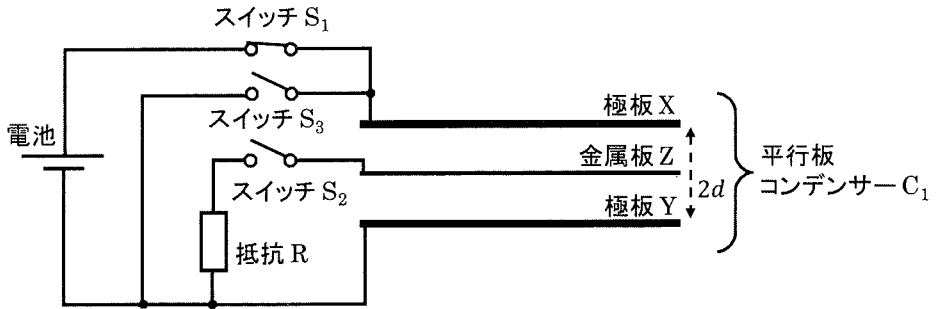


図 2

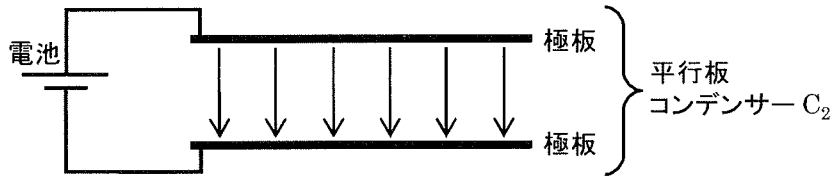


図 3

第3問

シリンダーとピストンからなる密閉容器の中に n mol の単原子分子の理想気体を封じ込め、図4のようなサイクルで状態を変化させる。各変化について、状態 A→状態 B (過程 a) は定圧変化、状態 B→状態 C (過程 b) は断熱変化、状態 C→状態 D (過程 c) は定圧変化、状態 D→状態 A (過程 d) は定積変化である。なお、状態 A の圧力は $2p_0$ 、体積は V_0 、絶対温度は T_0 である。気体定数を R 、定積モル比熱を C_v 、定圧モル比熱を C_p とし、また、比熱比を $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ として、以下の問いに答えよ。

- 問1 過程 a, b, c, d のうち、気体が熱を吸収する過程はどれか。また、気体が熱を放出する過程はどれか。解答欄に、それぞれ該当する過程の記号をすべて丸で囲め。
- 問2 断熱変化では、圧力 p と体積 V の間にポアソンの式 $pV^\gamma = \text{一定}$ が成り立つ。この関係を用いて、状態 C の体積 V_C を求めよ。{ γ, V_0 }
- 問3 このサイクルの p - V グラフ (圧力-体積グラフ) を描け。ただし、縦軸を p 、横軸を V とし、状態 A, B, C, D を明記するとともに、各状態における圧力と体積も示せ。また、状態間の変化が直線の場合は破線矢印 ($-\rightarrow-$) で描き、曲線の場合は実線矢印 (\longrightarrow) で描け。
- 問4 状態 B, C, D の絶対温度 T_B, T_C, T_D をそれぞれ求めよ。{ γ, T_0 }
- 問5 過程 a, b, c, d について、それぞれ気体が吸収した熱量 Q_a, Q_b, Q_c, Q_d を求めよ。
{ C_v, γ, n, T_0 }
- 問6 このサイクルの外部へなす仕事 W を Q_a, Q_b, Q_c, Q_d のうちから、必要なものを用いて表せ。また、このサイクルの熱効率 e を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $\gamma = \frac{5}{3}$ とし、 $2^{\frac{1}{3}}$ の値を 1.5 として答えよ。

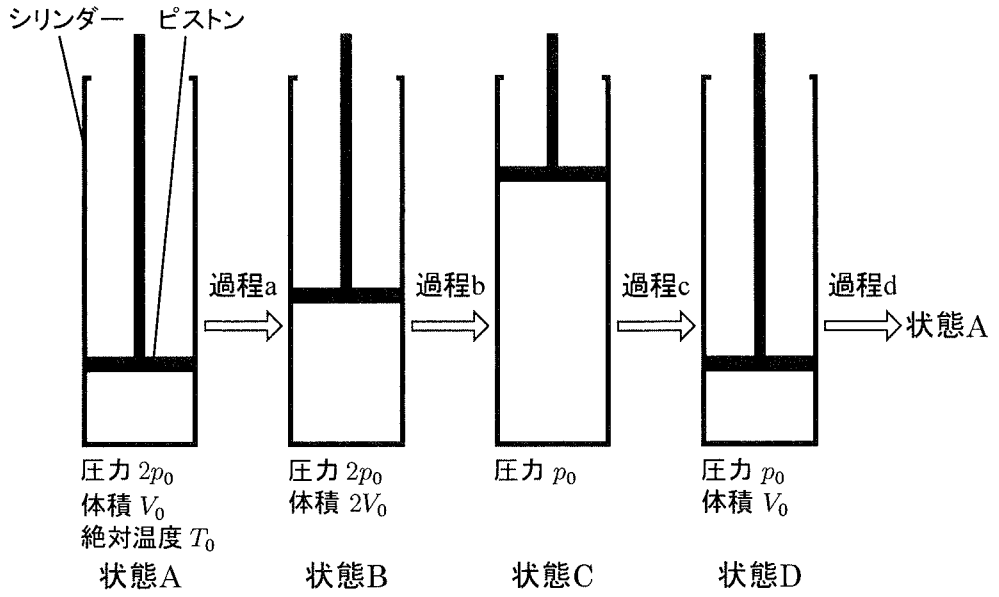


図 4

第4問

図5のように、速さ v で動く物体の進行方向の延長上の地点 A に装置を置く。装置から振動数 f の波を発生させ、物体で反射されて戻ってきた波の振動数を測定すると、 f' であった。波の速さを $V (> v)$ として、以下の問いに答えよ。

問1 速さ v で動く物体を観測者とみなし、この観測者が観測する波の振動数 f_R について考える。

- (1) 波の波長 λ を求めよ。 $\{f, V\}$
- (2) 時間 t の間に観測者が受ける波の個数を、 λ を用いて表せ。ここで、1波長分の波を1個と数える。 $\{\lambda, v, V, t\}$
- (3) 振動数 f_R を求めよ。 $\{f, v, V\}$

問2 速さ v で動く物体を、振動数 f_R の波を発生する発信源とみなし、地点 A の装置で測定される波の振動数 f' について考える。

- (1) 時間 t の間に波が進む距離および発信源が進む距離を求めよ。 $\{v, V, t\}$
- (2) 地点 A で観測される波の波長を求めよ。 $\{f_R, v, V\}$
- (3) 振動数 f' を求めよ。 $\{f_R, v, V\}$

問3 物体の速さ v を、 f' を用いて表せ。 $\{f, f', V\}$

次に、図6のように、速さ v で動く物体の進行方向と角 θ をなす方向の地点 B に装置を置いた。装置から振動数 f の波を発生させ、物体で反射されて戻ってきた波の振動数を測定すると、 f'' であった。なお、この配置における波の反射を考える際には、物体が、その速度の地点 B 方向への成分で、地点 B に近づいているとみなしてよい。

問4 物体の速さ v を、 f'' を用いて表せ。 $\{f, f'', V, \theta\}$

問5 スピードガンは、物体に超音波や電磁波を当てて反射波の振動数を測定することで、物体の速さを算出する。いま、実際には角 θ の方向（地点 B）から測定

したにもかかわらず，正面（地点 A）から測定したと仮定して速さを算出してしまった。このとき算出した速さ（ $v_{\text{測}}$ ）は実際の速さ（ $v_{\text{真}}$ ）と比べて大きいか小さいかを理由と共に述べよ。また，相対誤差の大きさを求めよ。

ここで，相対誤差の大きさは $\frac{|v_{\text{測}} - v_{\text{真}}|}{v_{\text{真}}}$ で定義される。 $\{f, V, \theta\}$

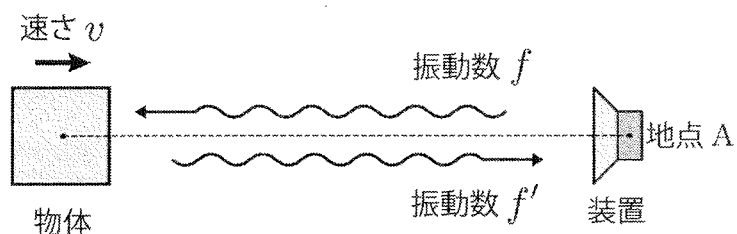


図5

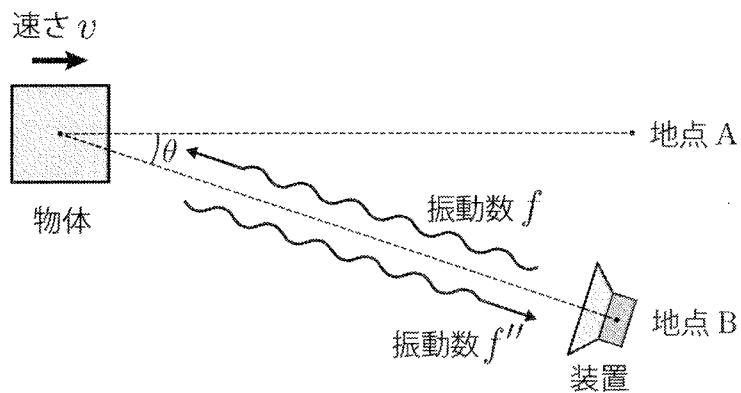


図6