

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注 意 事 項

1. 問題冊子は1ページから7ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後、ページの落丁、乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば、手をあげて試験監督者に申し出てください。
2. 問題は3問あります。すべての問題に解答してください。それぞれに解答用紙が1枚ずつ、合計3枚あります。3枚の解答用紙のすべてに受験番号を必ず記入してください。
3. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。途中の計算は、計算欄にできるだけ記入してください。
4. 問題冊子の余白は、下書きに使用してください。
5. 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

1

自然長 L_0 、ばね定数 k の質量の無視できるばねに取り付けられた小物体の運動を考える。小物体と床の間には摩擦ははたらかないものとし、円周率を π とする。以下の設問に答えよ。

〔1〕 図1のように、ばねの左端を壁に固定し、ばねの右端に大きさの無視できる質量 m の小物体 P をとりつけ、水平な床の上に置く。小物体 P の位置は水平右向きを正方向とする x 軸座標で表し、ばねが自然長のときの小物体 P の位置を原点 $x = 0$ とする。小物体 P に力を加えて、ばねを自然長から L だけ縮めた後、静かに手を放したところ、小物体 P は x 軸に平行に運動を始めた。

- (1) ばねが最初に自然長にもどったときの小物体 P の速度 v_0 はいくらか。 v_0 を数字ならびに L_0, L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 小物体 P は単振動をする。振動の周期 T はいくらか。 T を数字ならびに L_0, L, k, m, π の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) 手を放した時刻を $t = 0$ とするとき、手を放した後の小物体 P の時刻 t における速度 v を数字ならびに L_0, L, k, m, t, π の中から必要なものを用いて数式で表せ。

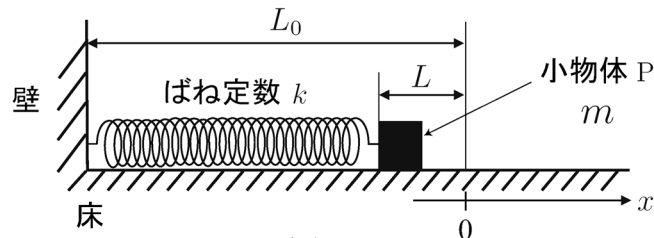


図 1

〔2〕 次に図2のように、設問〔1〕のばねと小物体 P に対して、ばねの左端に大きさの無視できる質量 m の小物体 Q をとりつけ、小物体 Q が壁に接するように置いた。ふたたび、小物体 P に力を加えて、ばねを L だけ縮めた後、静かに手を放した。ばねを縮めた際、壁は小物体によって変形しないものとする。小物体 P の位置は水平右向きを正方向とする x 軸座標で表し、以下の設問では、壁の位置を原点 $x = 0$ とする。小物体 P は x 軸に平行に運動するものとする。

- (4) 手を放す直前に、小物体 Q にはたらいっている壁からの抗力の大きさ N はいくらか。 N を数字ならびに L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。
- (5) 手を放した後、小物体 Q が壁から離れる瞬間において、小物体 Q にはたらくばねの力 F_Q および小物体 P の速度 v_P はいくらか。 F_Q および v_P を数字ならびに L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。

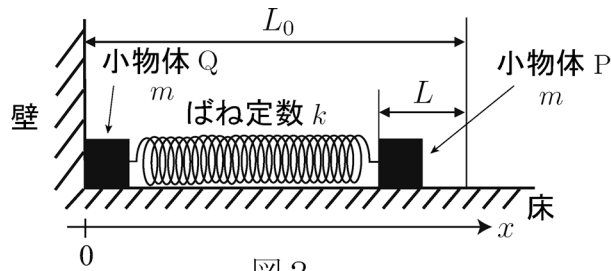


図 2

図 3 のように、小物体 Q が壁を離れた後の運動を考える。この運動では、小物体 P と小物体 Q の重心は等速運動をし、また、各々の小物体は重心から見て左右対称に単振動をする。小物体 P と小物体 Q は x 軸に平行に運動するものとする。

- (6) ばねが最初に最大の長さになったときの小物体 P の速度 v'_P はいくらか。 v'_P を数字ならびに L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。
- (7) 設問 (6) のときの自然長からのばねの伸び d はいくらか。 d を数字ならびに L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。
- (8) その後、ばねが縮んで自然長にもどったときの小物体 P と小物体 Q の速度をそれぞれ v''_P および v''_Q とする。 v''_P および v''_Q を数字ならびに L, k, m の中から必要なものを用いて表せ。
- (9) 小物体 P の位置を x_P 、加速度を a_P とする。また、小物体 Q の位置を x_Q 、加速度を a_Q とする。小物体 P および小物体 Q の運動方程式を数字ならびに $L_0, k, m, x_P, a_P, x_Q, a_Q, \pi$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (10) 小物体 Q を、大きさの無視できる質量 m' の小物体 Q' に取り替えた。ふたたび、ばねでつながれた二つの小物体を小物体 Q' が壁と接するように置き、小物体 P に力を加えてばねを L だけ縮めた後、静かに手を放した。
 $x_P = L_0$ のとき、小物体 Q' は壁から離れ、小物体 P には力がはたらかないことから、その微小時間 Δt 後の位置は $x_P = L_0 + v_P \Delta t$ と近似できる。このことから、小物体 Q' が壁を離れた直後の二つの小物体の重心の速度は、小物体 Q を小物体 Q' に取り替える前に比べて $\boxed{\text{①}}$ 倍となる。 $\boxed{\text{①}}$ に入る数式を、数字ならびに m, m' を用いて表せ。

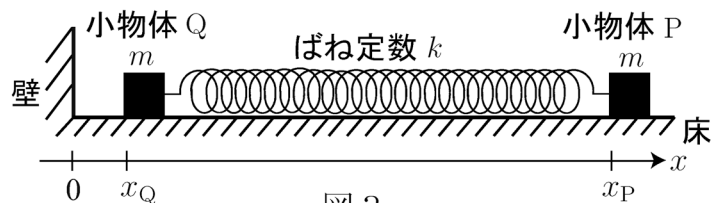


図 3

2

[1] 図1に示すように、真空中に面積 S [m²] の極板 A, B からなる平行板コンデンサーを含む回路がある。極板間の距離は $4d$ [m] であり、極板はスイッチ S_0 と電圧 V_0 [V] の電池に接続されている。極板 B は接地されており、これを電位の基準とする。なお、真空の誘電率は ϵ_0 [F/m] とする。また、極板の面積はじゅうぶんに大きく、極板間の電場は一様とみなせる。以下の設問 (1)~(6) に答えよ。ただし、(1)~(3) は数字ならびに S, d, V_0, ϵ_0 の中から必要なものを用いて解答せよ。

- (1) スイッチ S_0 を閉じてからじゅうぶん時間が経過した。極板間に生じる電場 E [V/m] の大きさと向きを答えよ。向きについては、解答欄に A または B を記入せよ。
- (2) 設問 (1) の状態のとき、極板 A に蓄えられた電気量 Q [C] を求めよ。
- (3) スイッチ S_0 を閉じたまま、図2に示すように極板 A から d だけ離れた位置に、厚みが d で、極板に対向する面の面積が S である、帯電していない金属板 M を挿入した。極板 A と B からなる平行板コンデンサー全体の電気容量 C [F] を求めよ。
- (4) 設問 (3) において、極板 A と極板 B に垂直な線上の電位をグラフに 実線 で示せ。縦軸は電位、横軸は極板 A からの距離とし、0 から $4d$ まで記せ。また、挿入した金属板 M の電位をグラフ中の目盛りに明記せよ。
- (5) 挿入した金属板 M を取り除き、じゅうぶんに時間が経過した後にスイッチ S_0 を開いた後、再び帯電していない金属板 M を設問 (3) と同じ位置に挿入した。その後さらにじゅうぶんに時間が経過した後の極板 A と極板 B に垂直な線上の電位を、設問 (4) と同じグラフに 破線 で示せ。挿入した金属板 M の電位をグラフ中の目盛りに明記せよ。
- (6) 設問 (5) の状態からスイッチ S_0 を閉じたところ、スイッチ S_0 に電流が流れた。スイッチに電流が流れる向きと理由を「電流の向き」と、「電気量」ま

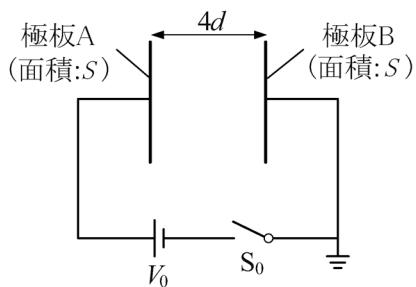


図 1

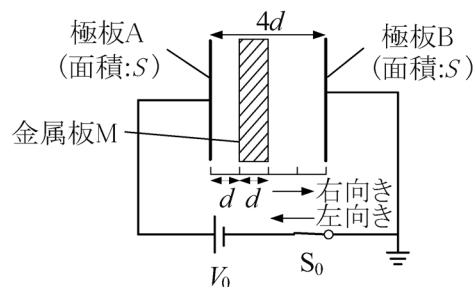


図 2

たは「電荷」という語句を用いて120文字程度で説明せよ。なお、スイッチ S_0 に流れる電流の向きは、図2に示された「右向き」または「左向き」として解答せよ。

[2] 図3に示すような抵抗器 R_1 (10.0 k Ω) , 抵抗器 R_2 (100 Ω) , 可変抵抗器 R_3 (1.00 ~ 100 Ω) , 電圧1.50 Vの電池, スイッチ S_0 , 検流計G, 未知の抵抗体 R_X からなる電気回路を考える。抵抗体 R_X の大きさは、長さ2.00 m, 断面積 1.00×10^{-6} m² である。表1にさまざまな金属の温度0 $^{\circ}$ Cでの抵抗率および抵抗率の温度係数を示す。抵抗体 R_X は、この表1に示されるニクロムを除く金属の中のどれか1つからできている。以下の設問(7)~(10)に答えよ。ただし、設問(7)~(9)の抵抗および抵抗率は有効数字3桁で解答せよ。

(7) スイッチ S_0 を閉じて、 R_3 の抵抗が25.6 Ω のとき、検流計Gを流れる電流がゼロとなった。 R_X の抵抗 [Ω] と R_X の抵抗率 [$\Omega \cdot m$] を求めよ。なお、 R_X の温度は30.0 $^{\circ}$ Cであった。

(8) 表1を活用して R_X の温度0 $^{\circ}$ Cでの抵抗率を推測し、 R_X がどの金属かを解答せよ。また推測した温度0 $^{\circ}$ Cでの抵抗率 [$\Omega \cdot m$] を示せ。

次にスイッチ S_0 を開いた。

(9) R_X を同じ形状のニクロムの抵抗体 (長さ2.00 m, 断面積 1.00×10^{-6} m²) に交換した。温度が30.0 $^{\circ}$ Cのときのニクロムの抵抗 [Ω] を求めよ。

(10) 設問(9)の場合に、 R_3 の抵抗が25.6 Ω のままでスイッチ S_0 を閉じると、検流計Gには「電流が点Bから点Dに流れる」か、「電流が点Dから点Bに流れる」か、もしくは「電流は流れない」か、について解答し、その理由を、設問(7)の場合と比較して200文字程度で説明せよ。

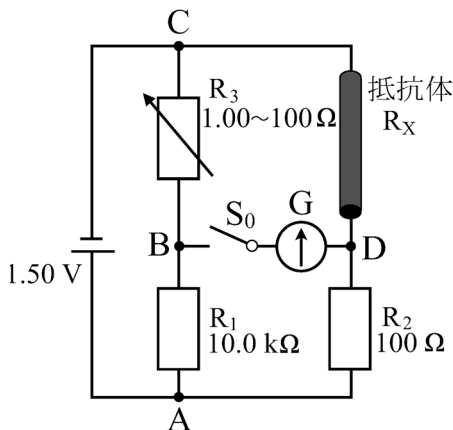


図3

表1 金属の温度0 $^{\circ}$ Cでの抵抗率および抵抗率の温度係数

金属	温度0 $^{\circ}$ Cでの抵抗率 [$10^{-8} \Omega \cdot m$]	抵抗率の温度係数 [1/ $^{\circ}$ C] *3
タングステン	4.90	4.90×10^{-3}
鉄	8.90	6.52×10^{-3}
スズ	11.5	3.74×10^{-3}
ステンレス鋼 *1	71.0	1.10×10^{-3}
ニクロム *2	107	9.32×10^{-5}

*1 鉄とクロムの合金

*2 ニッケルとクロムの合金

*3 温度係数は0 $^{\circ}$ C~100 $^{\circ}$ Cの間の平均的な値

3

図1のように、断熱材でできたシリンダー A, B を水平な床に固定する。シリンダー A, B の内部にはそれぞれ 1 モルの単原子分子理想気体が、ピストン A, B によって閉じ込められている。ピストン A, B は、断面積が S で質量が無視できる断熱材でできている。水平方向になめらかに移動できる。2つのピストンは、自然長 L_0 の質量が無視できるばねで連結されている。ばねはピストンの移動方向のみに伸縮するものとする。また、シリンダー A 内には、体積の無視できるヒーターが設置されている。シリンダー外部は常に大気圧 p_0 に保たれているとして以下の設問に答えよ。

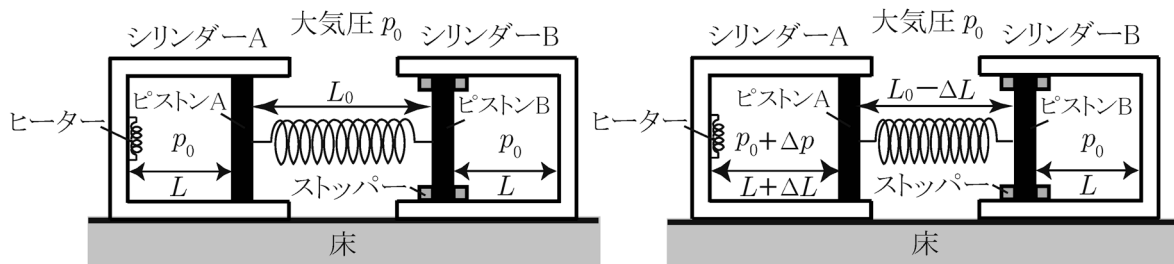


図 1

図 2

[1] 図1のように、ピストン B がシリンダー B の右端の内側から距離 L のところに、体積の無視できるストッパーで固定されている。シリンダー A の左端の内側からピストン A の内側までの距離は L 、ばねの長さは自然長 L_0 であり、シリンダー A, B 内の気体の圧力はどちらも p_0 で温度は等しかった。図1の状態からヒーターでシリンダー A 内の気体をゆっくり加熱したところ、図2のようにシリンダー A 内の気体の圧力が p_0 より Δp 増加し、ピストン A が右へ移動して、ばねが自然長 L_0 より ΔL 縮んだ。ピストン A にはたらく水平方向の力のつりあいより、ばねのばね定数は $\frac{\Delta p}{\Delta L} S$ と表せる。シリンダー A 内の気体の状態の変化について考える。

- (1) シリンダー A 内の気体の加熱による内部エネルギーの変化 ΔU_A を数字ならびに $p_0, \Delta L, L, S, \Delta p$ を用いて表せ。
- (2) 加熱によってシリンダー A 内の気体がした仕事 W_A を数字ならびに $p_0, \Delta L, S, \Delta p$ を用いて表せ。
- (3) シリンダー A 内の気体に加えた熱量 Q_1 を数字ならびに $p_0, \Delta L, L, S, \Delta p$ を用いて表せ。

[2] 次に図1の状態に戻した後に、シリンダーBのストッパーを取り除き、図3のようにピストンBが左右に動けるようにした。図3の状態から、シリンダーA内のヒーターでシリンダーA内の気体をゆっくり加熱したところ、図4のように、ピストンAおよびピストンBが右に移動して、シリンダーAの左端の内側からピストンAの内側までの距離が L_A 、シリンダーBの右端の内側からピストンBの内側までの距離が L_B になった。その結果、ばねが自然長 L_0 より ΔL 縮み、シリンダーA内の気体の圧力は $p_0 + \Delta p$ になった。シリンダーA内の気体およびシリンダーB内の気体の状態の変化について考える。

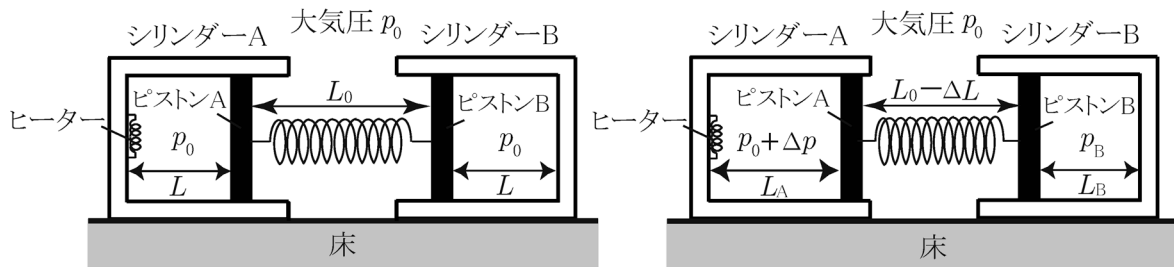


図3

図4

- (4) 図4のシリンダーB内の気体の圧力 p_B を $p_0, \Delta p$ を用いて表せ。
- (5) 図4の L_A および L_B の和 $L_A + L_B$ を数字ならびに $\Delta L, L$ を用いて表せ。
- (6) 加熱によりシリンダーA内の気体がした仕事とシリンダーB内の気体がした仕事の和 W_{AB} を数字ならびに $p_0, \Delta L, S, \Delta p$ を用いて表せ。
- (7) 加熱によるシリンダーA内の気体の内部エネルギーの変化とシリンダーB内の気体の内部エネルギーの変化の和 ΔU_{AB} を数字ならびに $p_0, \Delta L, L, S, \Delta p$ を用いて表せ。
- (8) シリンダーA内の気体に加えた熱量 Q_2 を数字ならびに $p_0, \Delta L, L, S, \Delta p$ を用いて表せ。

[3] 設問〔1〕および〔2〕のシリンダーA内の気体を加熱した後のシリンダーA内の気体およびシリンダーB内の気体の温度（絶対温度）について考える。設問〔2〕の図4のシリンダーAの L_A は、 $L_A = L + 2\Delta L$ として以下の設問に答えよ。

- (9) 設問〔1〕の図2のシリンダーA内の気体の温度を T_{2A} 、シリンダーB内の気体の温度を T_{2B} 、設問〔2〕の図4のシリンダーA内の気体の温度を T_{4A} 、シリンダーB内の気体の温度を T_{4B} とする。これら4つの温度を高い順に解答欄に記入せよ。