平成 31 年度前期日程入学試験学力検査問題

平成 31 年 2 月 25 日

理　　科

物　理……4～19ページ，化　学……20～41ページ

生　物……42～63ページ，地　学……64～73ページ

志望学部	試験科目	試験時間
理学部 農学部	物理，化学，生物，地学のうちから 2 科目選択	13：30～16：00 (150 分)
医学部 歯学部	物理，化学，生物のうちから 2 科目選択	
薬学部 工学部	物理(指定)，化学(指定)	

注　意　事　項

1. **試験開始の合図があるまで，この問題冊子，解答用紙を開いてはいけない。**
2. この問題冊子は，73 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし，冊子の留め金を外したり，ページを切り離しては使用しないこと。なお，ページの脱落，印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は，必ず**黒鉛筆**(シャープペンシルも可)で記入し，ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. **解答用紙の受験記号番号欄(1 枚につき 2 か所)には，忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。**
5. 解答は，必ず選択した科目の**解答用紙の指定された箇所**に記入すること。
6. **解答用紙を持ち帰ってはいけない。**
7. 試験終了後，この問題冊子は持ち帰ること。

——このページは白紙——

―――このページは白紙―――

物　　　　理

1　図1のように，水平に置かれた円板上の点Oに，鉛直軸OO′から角度 $\theta\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ だけ傾いた状態で細い棒が固定されている。円板は鉛直軸OO′のまわりに一定の角速度で回転できるようになっており，円板が回転すると，円板と一体となって棒も回転する。棒には穴のあいた小球A(質量 m)がなめらかに動くように通されている。小球Aには棒に沿って伸び縮みするばね(自然長 L，ばね定数 k)が取り付けられており，ばねの他端は点Oに固定されている。棒は十分に長く，小球Aが棒から外れることはない。

重力加速度の大きさを g とし，小球の大きさ，ばねの質量，棒の変形，空気による抵抗，ばねと棒の間の摩擦は無視できるものとして，以下の問(1)，(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も記せ。

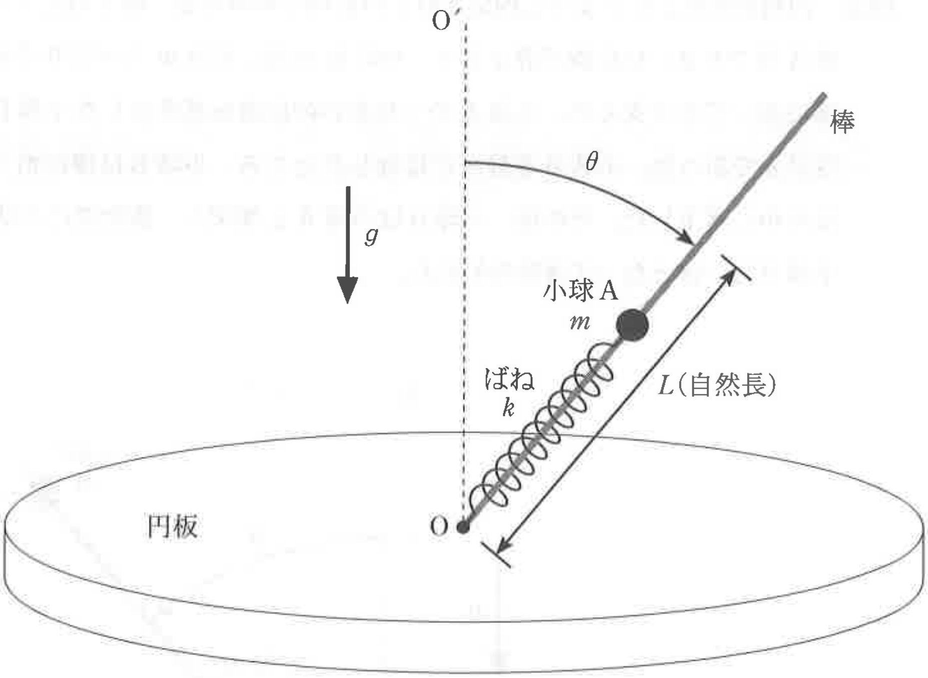

図1

問(1)　円板が回転しないように固定されている場合を考える。図2のように，小球Aをつりあいの位置で静止させ，小球Aと同じ質量 m の小球Bを棒の上部に通して手で支えた。小球Aのつりあいの位置を基準とした小球Bの高さは h であった。小球Bを静かにはなしたところ，小球Bは棒に沿ってなめらかに落下した。その後，小球Bは小球Aと衝突し，衝突後に小球Aと小球Bは一体となって運動を始めた。

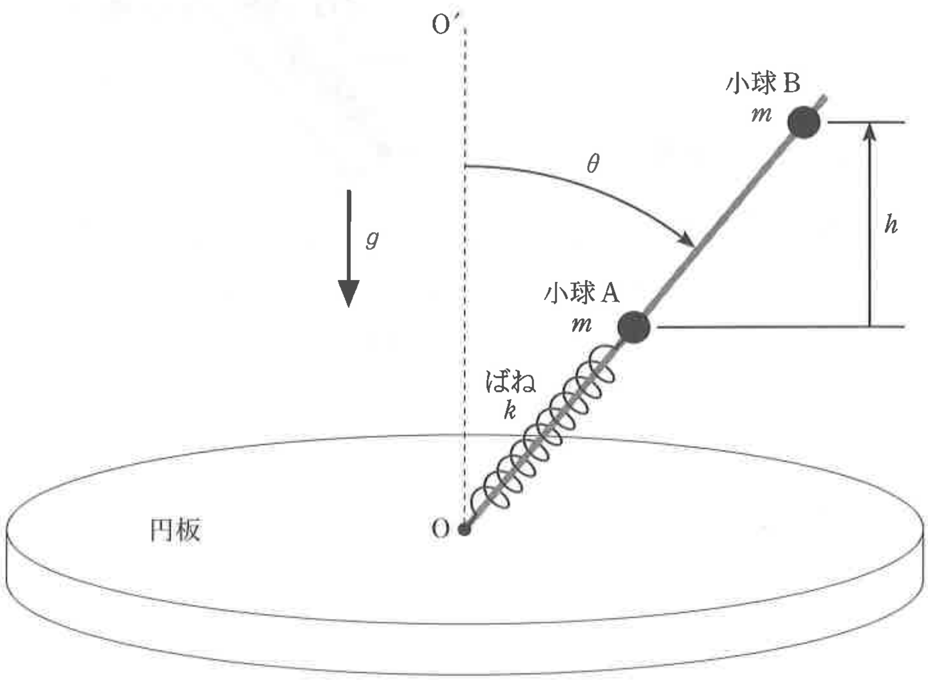

図2

(a)　衝突前に小球Aがつりあいの位置にあるときの，自然長からのばねの縮み d_0 を，m，g，k，θ を用いて表せ。

(b)　衝突直前の小球Bの速さ V を，m，g，h の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　衝突直後の一体となった小球の速さ v_0 を，m，V の中から必要なものを用いて表せ。

(d)　衝突後，自然長からのばねの縮みが d のときの小球の速さを v とする。一体となった2つの小球とばねの力学的エネルギーの和 E を，m，v，k，d，d_0 の中から必要なものを用いて表せ。重力加速度の大きさ g が必要な場合は，問(1)(a)の結果を使って，g を含まない形に表すこと。なお，重力および弾性力による位置エネルギーは $d=0$ のときを基準とする。

(e)　力学的エネルギー保存則を問(1)(d)の結果に適用して，衝突後，ばねが最も縮んだときの自然長からのばねの縮み d_1 を，m，k，d_0，v_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問(2)　図3のように，棒から小球Bを取り除いて小球Aを静止させたのち，鉛直軸OO′を回転軸として一定の角速度ω($\omega > 0$)で円板を回転させた。なお，以下では点Oを原点として棒に沿って上向きにx軸をとり，小球Aの位置を座標xを使って表す。

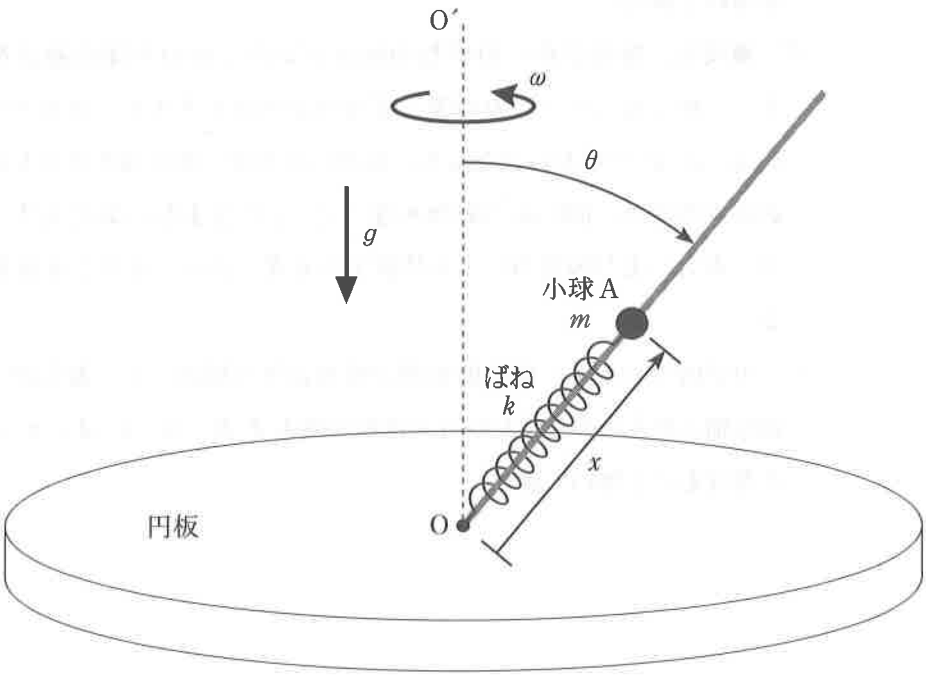

図3

(a) 小球Aの位置がxのとき，円板とともに回転している人から見た小球Aにはたらく力の，棒に沿った方向の成分Fを，m，g，k，x，L，θ，ωの中から必要なものを用いて表せ。ただし，xが増加する方向を力の正の向きとする。

(b) 円板とともに回転している人から見て，小球Aが$x = x_0$の位置に静止して見えた。x_0を，m，g，k，L，θ，ωの中から必要なものを用いて表せ。

(c) 問(2)(a)で求めた力Fが復元力になるためには，ωがある値ω_0よりも小さくなければならない。ω_0を，m，g，k，L，θの中から必要なものを用いて表せ。

(d) $\omega < \omega_0$のとき，小球Aの位置を$x = x_0$からわずかにずらすと，小球Aは$x = x_0$を中心とする単振動を始めた。小球Aの単振動の周期Tを，m，g，k，L，θ，ωの中から必要なものを用いて表せ。

(e) 円板の外部で静止している人から見て，小球Aの運動の軌跡が図4のような閉じた曲線に見えた。このときのωの値を，m，g，k，L，θの中から必要なものを用いて表せ。

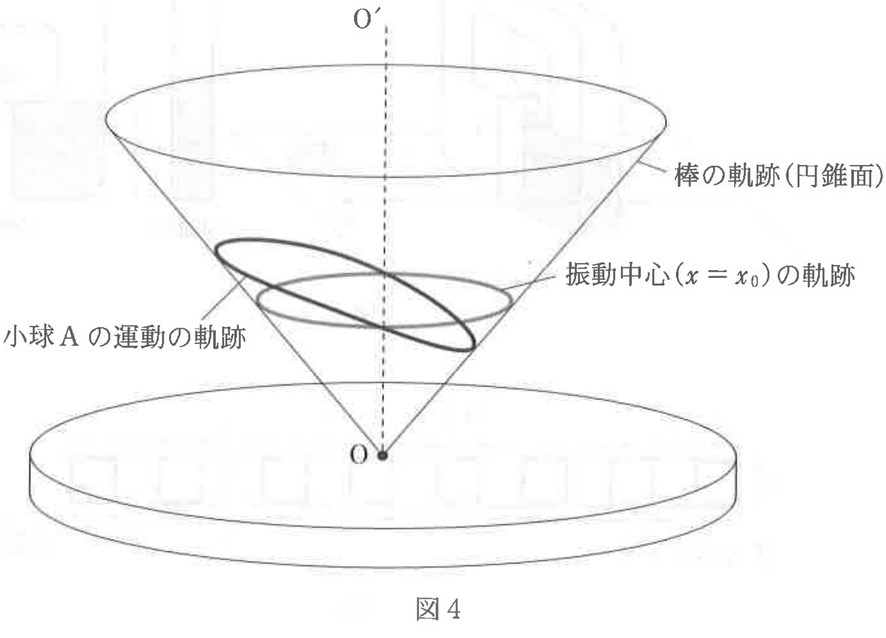

図4

2 図1のように，N極の端面とS極の端面が平行に向かい合う磁石が，水平でなめらかな床面上にある。N極とS極の端面の形状は，幅 a，高さ b $(a < b)$ の長方形である。磁束密度 B の一様な磁場(磁界)がN極とS極の端面のすき間のみに存在し，磁場の向きは端面に垂直で，床面に平行であるとする。床面上には，磁石のN極とS極の間を通り，磁場と垂直な方向に，x 軸をとる。なお，床面は十分に広いものとする。

図2のように，1辺の長さ a の1回巻きの正方形コイルが，絶縁体でできた十分に長い2本の棒の間に，棒の全長にわたって固定されている。正方形コイルをつくる導線の太さは無視でき，隣り合う正方形コイルの間隔は a である。また，正方形コイル1周の電気抵抗は R である。以後，図2に示す装置を「はしごコイル」と呼ぶ。はしごコイルは，常に x 軸を含む鉛直面内にあり，磁石のN極とS極のすき間を運動する。

正方形コイルの自己インダクタンスや正方形コイル間の相互インダクタンス，および，電磁波の発生は無視できるものとして，以下の問(1)，(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も記せ。

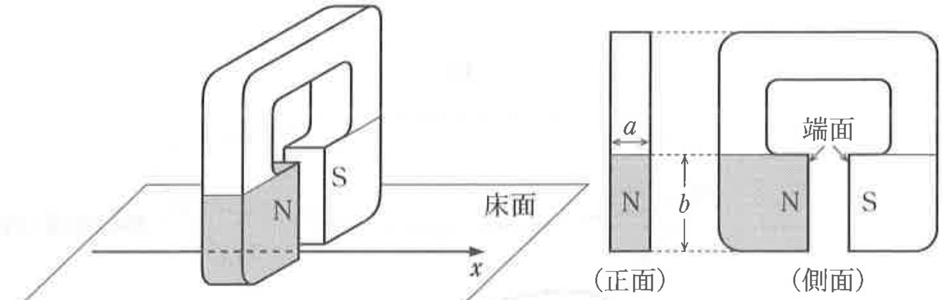

図1

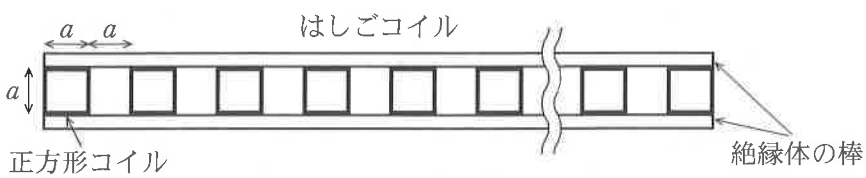

図2

問(1)　図3のように，はしごコイルを床面上でx軸の正の向きに一定の速さvで動かした。はしごコイルは，床面上に固定されている磁石のN極とS極のすき間を，磁石に触れることなく通過する。図4のように，最初の正方形コイルが磁石のすき間にさしかかった時刻を$t=0$とする。

(a)　時刻tが$0<t<\dfrac{a}{v}$の範囲のとき，最初の正方形コイルを貫く磁束Φを，a，R，B，v，tの中から必要なものを用いて表せ。

(b)　時刻tが$0<t<\dfrac{a}{v}$の範囲のとき，最初の正方形コイルに生じる誘導起電力Eを，a，R，B，v，tの中から必要なものを用いて表せ。ただし，誘導起電力Eは，図4に示す向きを正の向きとする。

(c)　時刻tが$0<t<\dfrac{a}{v}$の範囲のとき，最初の正方形コイルに流れる電流Iを，a，R，B，v，tの中から必要なものを用いて表せ。ただし，電流Iは，図4に示す向きを正の向きとする。

(d)　時刻tが$0<t<2\dfrac{a}{v}$の範囲のとき，最初の正方形コイルで単位時間当たりに発生するジュール熱Jを，a，R，B，vの中から必要なものを用いて表せ。

(e)　はしごコイルが磁石のすき間を通過する間，速さvを一定に保つためには，x軸方向に一定の外力Fをはしごコイルにはたらかせる必要がある。この外力Fを，a，R，B，vの中から必要なものを用いて表せ。ただし，外力Fは，図4に示すvと同じ向き(右向き)を正の向きとする。

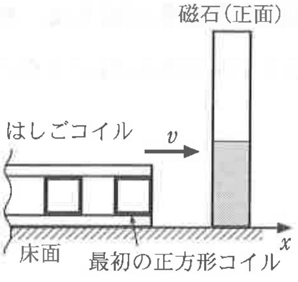

図3

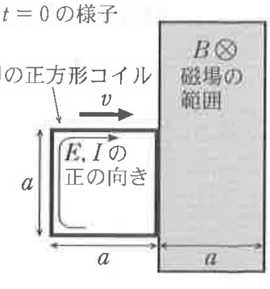

図4

問(2) 図5のように，長さLの伸び縮みしない2本の軽い糸を用いて，はしごコイルを磁石のN極とS極のすき間に水平につるす。糸がたるむことはなく，はしごコイルは常に水平を保ったまま，磁石に触れることなく運動する。糸が鉛直方向となす角をθ(反時計回りを正，単位はラジアン)，はしごコイルのx軸方向の変位をX(右向きを正)とする。また，はしごコイルの質量をM，重力加速度の大きさをgとする。

(a) 磁石が床面上に固定された場合を考える。はしごコイルを$\theta = \theta_0$の位置まで動かして静かに手をはなしたところ，はしごコイルは振動を始めたが，徐々に振幅が小さくなっていった。手をはなしてから振動が止まるまでに，はしごコイルで発生するジュール熱の総量Qを，a，R，B，L，M，g，θ_0の中から必要なものを用いて表せ。

(b) 磁石が床面上を運動する場合を考える。磁石が床面上をx軸の正の向きに一定の速さuで運動しているとき，はしごコイルは$\theta = \theta_1$，$X = X_1$となって静止していた。この変位X_1を，a，R，B，u，L，M，gの中から必要なものを用いて表せ。ただし，$|\theta_1|$は十分に小さく，$\sin\theta_1 \fallingdotseq \theta_1$，$\cos\theta_1 \fallingdotseq 1$が成り立つものとする。また，はしごコイルは十分に長く，磁石がはしごコイルの端に到達することはないものとする。

(c) 問(2)(b)に引き続き，時刻$t = 0$に磁石の運動の向きを変えずに磁石の床面に対する速さをuから$\dfrac{u}{4}$へ変化させたところ，はしごコイルは振動を始めた。時刻$t > 0$においてはしごコイルの変位Xが時間変化する様子をもっとも適切に表したグラフを，図6の(あ)～(え)の中から1つ選び，記号で答えよ。また，そのグラフを選んだ理由も記述せよ。ただし，はしごコイルは十分に長く，磁石がはしごコイルの端に到達することはないものとする。

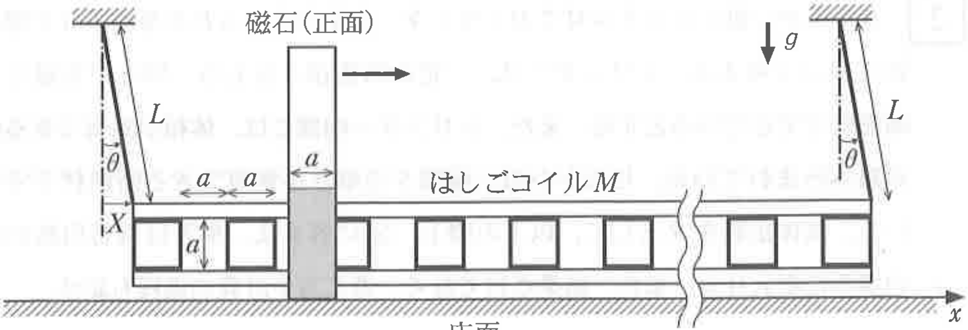

図 5

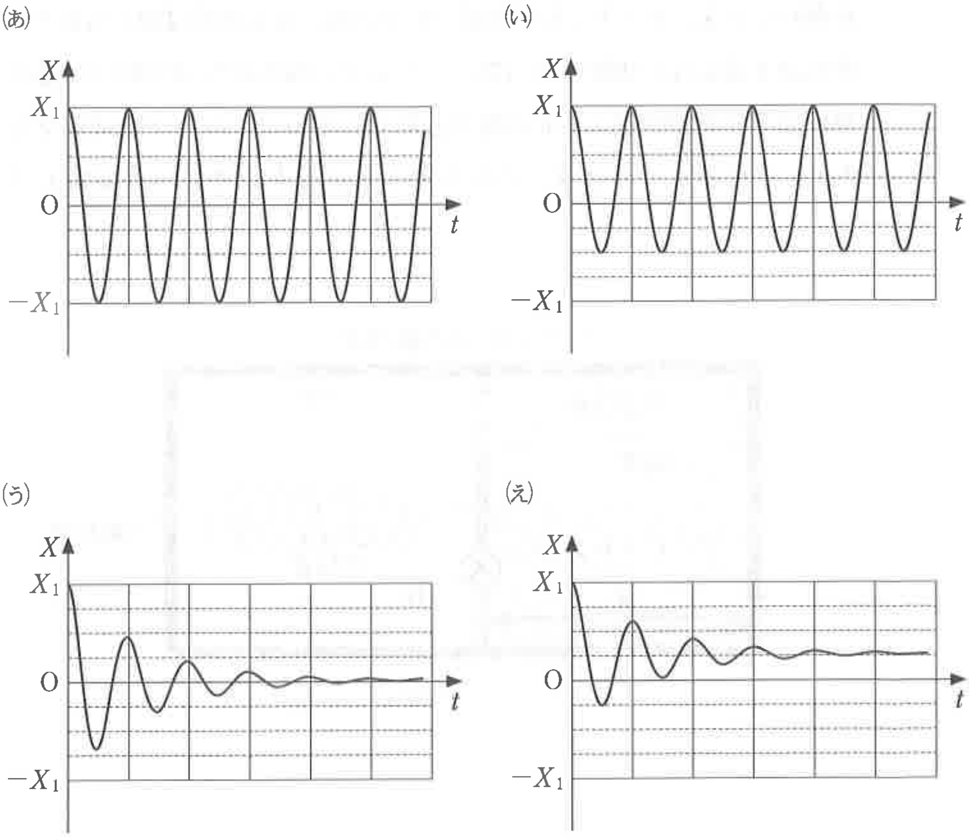

図 6

3 なめらかに動くピストン付きのシリンダーに閉じ込められた単原子分子理想気体について考える。シリンダーは，一定の断面積 S をもち，厚さが無視できる断熱材でできているとする。また，シリンダー内部には，体積が無視できるばねが組み込まれている。ピストンは，面積 S で厚さが無視できる断熱材でできている。気体定数を R として，以下の問(1)，(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も記せ。

問(1) 図1のような，左右に動くピストンによって2つの空間に仕切られたシリンダーがある。ピストンとシリンダーの右の壁は，ばね定数 K_0 のばねでつながれている。ピストンには栓がついており，はじめ栓は閉じられていて気体も熱も通さない状態にあった。シリンダー内部の左の空間には温度 T の単原子分子理想気体1 mol が閉じ込められていて，右の空間は真空であった。このとき，シリンダーの左の壁からピストンまでの距離は L であった。

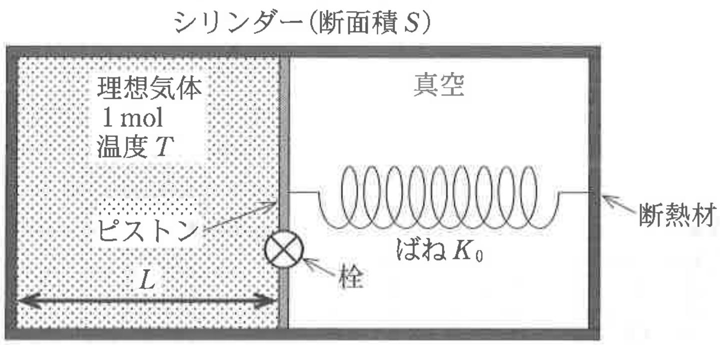

図1

(a) 気体の内部エネルギー U を，R，T を用いて表せ。

(b) 気体の圧力 P_0 を，R，T，S，L で表せ。

(c) ばねは自然長から Δx 縮んでいる。Δx を，R，T，K_0，L で表せ。

(d) 栓を開けて気体が右の空間に流れ込み，十分に時間を経た後の気体の温度を T' とする。T' を，T，Δx，K_0，R を用いて表せ。

問(2)　図2のような，左右に動く2つのピストンによって3つの空間(空間A，B，C)に仕切られたシリンダーがある。2つのピストンは，ばね定数K_1のばねでつながれている。空間A，Cには，それぞれ1 molの単原子分子理想気体が閉じ込められているが，空間Bは真空である。空間Aには体積が無視できるヒーターが設置されている。

はじめ，空間A，Cの気体は，ともに温度T_1で，空間A，B，Cの幅は，図2のようにすべてLであった。空間Aを，温度を一様に保ちつつ，ヒーターで加熱したところ，ピストンはゆっくり移動した。加熱をやめるとピストンが停止し，図3のように，空間A，Cの幅がそれぞれ$\frac{3}{2}L$，$\frac{2}{3}L$となった。

なお，ゆっくりとした断熱変化では，(圧力)×(体積)$^{\gamma}$＝一定であることが知られている。ここで，γは比熱比と呼ばれる定数である。

(a)　加熱前の空間Cの気体の圧力をP_1とする。加熱後の空間Cの気体の圧力P_1'を，γ，P_1を用いて表せ。

(b)　加熱後の空間Cの気体の温度T_2を，γ，T_1を用いて表せ。

(c)　加熱後の空間Aの気体の温度T_3を，γ，T_1を用いて表せ。

(d)　K_1を，L，R，T_1，γを用いて表せ。

(e)　加熱前後のばねの弾性エネルギーの変化量ΔEを，R，T_1，γを用いて表せ。

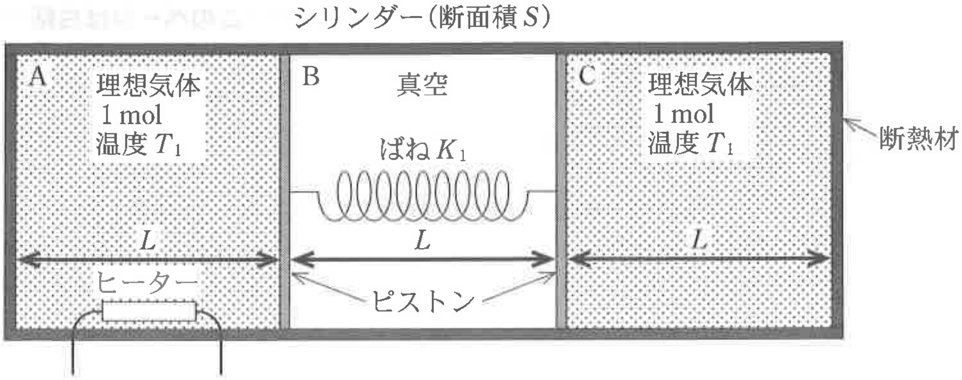
シリンダー(断面積 S)
A
理想気体
1 mol
温度 T1
B
真空
ばね K1
C
理想気体
1 mol
温度 T1
断熱材
L
L
L
ヒーター
ピストン

図 2

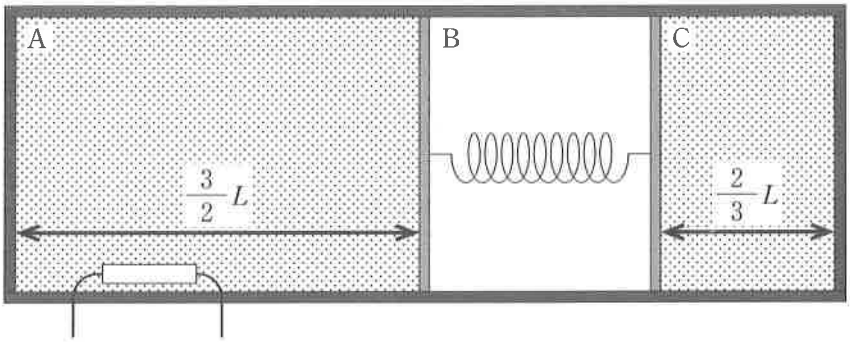
A
B
C
3/2 L
2/3 L

図 3

——このページは白紙——