久留米大学

2024 年度　一般選抜　物理

（2 科目　120 分）

物理の全問を通して，ある小問でのみ定義される物理量の記号を他の小問の解答で用いないように注意せよ。円周率を π とする。解答に根号を用いてよい。

1 水平な床の上で質量 M，長さ L の一様な細い棒 A を傾けて静止させる状況を考える。床の鉛直線と棒の長さ方向のなす角を棒の傾きの角度 θ $\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ とし，床と棒の接点を点 P とする。棒にはたらく重力はすべて棒の中点に加わるとみなせるものとする。床と棒の静止摩擦係数を μ，重力加速度の大きさを g とする。

Ⅰ．図 1 － 1 のように棒 A を水平な床に立てた状態から傾け，倒れないように棒の上端に水平な力を加えた。このとき，棒は滑ることはなかった。

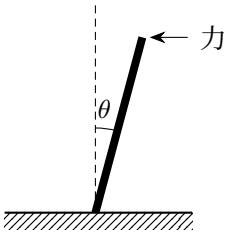


図 1 － 1

(1)　点 P のまわりの棒の重力による力のモーメントの大きさはいくらか。

(2)　水平に加えた力の大きさはいくらか。

(3)　棒と床との静止摩擦力の大きさはいくらか。

(4)　棒が滑らないための $\tan\theta$ の条件を求めよ。

(5)　棒の上端に質量 W の小物体が固定されているとき，棒が滑らないための $\tan\theta$ の条件を求めよ。

Ⅱ．図１－２のように棒 A の一端に軽い伸びない糸を取りつけた。糸と棒は床に垂直な面内にあり，糸は常に鉛直方向を向いていて，棒は床に接したままであるとする。

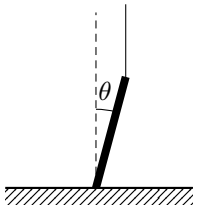


図１－２

(6) 糸の張力の大きさはいくらか。

(7) 棒の下端から長さ l の位置に質量 m の小物体を固定したとき，糸の張力の大きさは (6) のときに比べ増加した。増加量を求めよ。

Ⅲ．図１－３のように，長さが L の軽い伸びない糸の一端を棒 A の上端に取りつけ，糸の他端は常に点 P の鉛直線上となるようにする。傾きの角度 θ を少しずつ大きくしていったところ，傾きの角度が θ_0 を越えると棒 A は滑った。

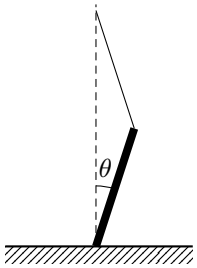


図１－３

(8) 棒が滑らないとき，糸の張力の大きさはいくらか。

(9) 角度 θ_0 と静止摩擦係数 μ との関係式を求めよ。

2 図 2 のように，断熱材で作られた容器が水平に置かれている。容器内には鉛直を保ちながら水平方向になめらかに動くことができるピストンがついている。水平方向に x 軸をとり，容器の左端を $x = -L$，容器の右端を $x = L$ とする。容器の断面積は一定とする。容器の左側に体積および熱容量の無視できる温度制御装置がついており，気体の温度を一様に変化させることができる。ピストンの厚さは無視でき，ピストンは熱を通さないものとする。ピストンの左側には一つの種類の分子からなる理想気体が物質量 n だけ閉じ込められており，右側は真空である。気体定数を R，温度は絶対温度とし，以下の問いに答えよ。

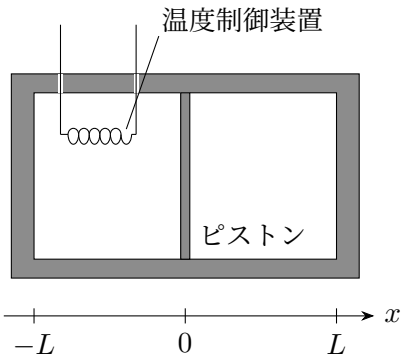


図 2

Ⅰ．はじめ温度制御装置のスイッチが切ってあり，ピストンは $x = 0$ に固定されており，気体の温度は T だった。この状態でピストンを取り除いた後しばらくすると，気体は容器全体に一様に広がった。ピストンを取り除くとき気体が容器の外に漏れることはなく，気体は外部から仕事をされないものとする。

(1) 容器全体に広がった気体の温度はいくらか。

(2) 気体が単原子分子だった場合，容器全体に広がった気体の内部エネルギーはいくらか。

Ⅱ．はじめ温度制御装置のスイッチが切ってあり，ピストンは $x = 0$ に固定されており，気体の温度は T だった。ピストンを固定したまま温度制御装置のスイッチを入れ，気体に Q の熱量を加えると，気体の温度は $3T$ となった。この操作をしている間に気体の比熱が変化することはないものとする。

(3) 気体の定積モル比熱はいくらか。

Ⅲ. 温度制御装置のスイッチが切ってある状態で，ばね定数 k，自然の長さ L の軽いばねの一端をピストンに取りつけ，他端を容器の右端に取りつける。ばねは常に水平を保つものとする。ピストンから手を離すと，ピストンは $x = a$ $(a > 0)$ で静止した。その後，温度制御装置のスイッチを入れ，気体に Q

の熱量を加えると，ピストンは $x = 3a$ で静止した。この操作をしている間に気体の比熱が変化することはないものとする。

(4) ピストンが $x = a$ で静止したときの気体の温度はいくらか。

(5) ピストンが $x = a$ から $x = 3a$ に移動する間に気体がした仕事はいくらか。

(6) ピストンが $x = a$ から $x = 3a$ に移動する間に気体の内部エネルギーはどれだけ増加したか。

(7) 長さ L が a の 11 倍だった場合，気体の比熱比（定積モル比熱に対する定圧モル比熱の比）はいくらか。L を用いずに答えよ。なお一定の物質量の理想気体の内部エネルギーの変化と温度変化の関係は常に定積変化の場合と同じである。

(8) 気体が単原子分子であり，Q が (5) の仕事の大きさの 10 倍だった場合，長さ L は a の何倍か。

3 外部の磁場（磁界）のない状況を考える。図 3 － 1 のように，y 軸に沿って断面積が S で透磁率が μ の細長い円柱の鉄心を置く。この鉄心には，コイル A，B が y 軸の正の向きから見て時計回りに巻かれている。図 3 － 1 のようにコイル A の両端を点 $\mathrm{P_A}$，$\mathrm{Q_A}$ とし，コイル B の両端を点 $\mathrm{P_B}$，$\mathrm{Q_B}$ とする。コイル A は N_A 回巻きで長さが l_A で，コイル B は N_B 回巻きで長さが l_B である。コイル A には電源と抵抗がつながれている。電流の向きは y 軸の正の向きから見て時計回りを正とする。コイル以外の部分を流れる電流がつくる磁場は無視できるものとする。また，鉄心は十分に長く磁束の漏れはなく，鉄心中に生じる磁場は y 軸に沿った一様なものとする。抵抗以外の導線や電源には抵抗はなく，コイルの導線は絶縁被覆されているものとする。

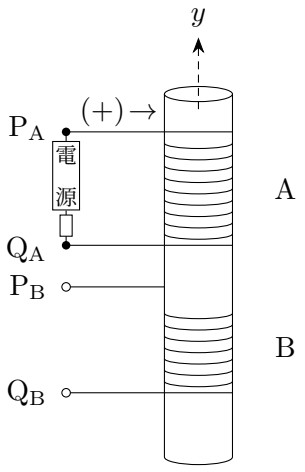


図 3 － 1

(1) 点 P_B，Q_B 間を抵抗でつないだときに，次の (i)(ii) の操作を行うとコイル B にはどのような電流が流れるか。(ア) 正の向き (イ) 負の向き (ウ) 電流は流れない，の中から最も適切なものを選んで記号で答えよ。ここでは電源のスイッチを入れるとコイル A には正の向きに電流が流れるものとする。

(i)　電源のスイッチを入れた直後

(ii)　電源のスイッチを切った直後

(2) コイル A に正の向きに一定の電流 I_A が流れているときに鉄心中に生じる磁場の磁束密度の大きさを答えよ。

(3) 微小時間 Δt の間にコイル A を正の向きに流れる電流を ΔI_A 増加させた。コイル A を貫く磁束の大きさは Δt の間にどれだけ増加したか。減少する場合には，変化した大きさに負の符号をつけて答えよ。

(4) (3) で点 P_A，Q_A 間に生じる誘導起電力の大きさはいくらか。また点 P_A と点 Q_A で誘導起電力の電位が高いのはどちらか。

(5) (3) で点 P_B，Q_B 間に生じる誘導起電力の大きさはいくらか。また点 P_B と点 Q_B で誘導起電力の電位が高いのはどちらか。

(6) コイル A，B の相互インダクタンスはいくらか。

(7) $N_A : N_B = 2 : 1$ のときに，コイル A に図 3 － 2 のような電流を流した。コイル A，B に生じる誘導起電力のグラフをそれぞれ解答欄に描け。コイル A，B の電圧はそれぞれ点 Q_A，Q_B に対し，点 P_A，P_B の電位が高いときを正とする。ただし，コイル A に生じる最大の誘導起電力の大きさを $4V_1$ とし，縦軸には V_1 を用いた適切な目盛りをつけること。

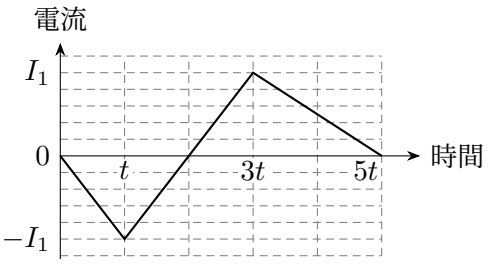
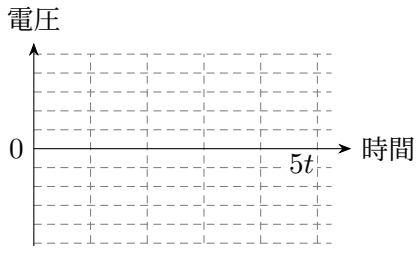


図 3 － 2

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。

コイル A の誘導起電力



コイル B の誘導起電力

