

試験問題(記述式) — 理 科(物理)

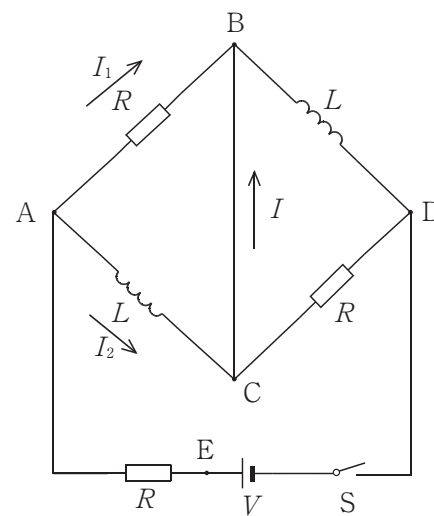
(注意) 解答はすべて別紙解答用紙の定められた欄に書くこと。

解答を導くための過程を明示すること。

1 滑らかに動く軽いピストンにより、単原子分子の理想気体 n モルが、鉛直に設置されたシリンダー内に密封されている。ピストンまでの高さを l_0 、シリンダーの断面積を S 、シリンダーの置かれている場所の大気圧を p_0 とし、高さによる大気圧の変動は無視できるものとする。また重力加速度の大きさは g とする。ピストンの上に質量 m のおもりを載せた。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) 理想気体が大気と熱的平衡に達したとき、ピストンまでの高さ l_1 を p_0 と l_0 を使って表せ。
- (2) 鉛直上方を正とし、おもりを載せたままゆっくりと問(1)の状態から力を加え、 x だけ変位させる。理想気体の温度を変えないようにしたとき、ピストンに加わる力 F はいくらか。 p_0 と l_0 を使って表せ。
- (3) 理想気体の温度を T としたとき問(1)のときと問(2)のときの気体の内部エネルギーをそれぞれ求めよ。気体定数を R とする。
- (4) 断熱状態で問(2)のようにピストンに力を加え x だけ変位させる。このときピストンに加わる圧力 p_2 はいくらか。 p_0 と l_0 を使って表せ。
- (5) 問(4)のとき、加えていた力を取り去ったところ、ピストンは単振動を始めた。変位 x における復元力を示す式を解答欄の にあてはまるよう p_0 と l_0 を使って表せ。ただし x は l_1 に比べて十分小さいので $(1+x)^n \doteq 1+nx$ の近似式が使えるものとする。
- (6) 問(5)で生じた単振動の周期 t を p_0 と l_0 を使って示せ。

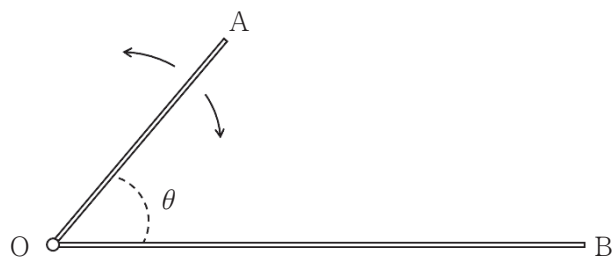
2 図のように、抵抗、コイル、電池、スイッチを接続した回路がある。抵抗値はすべて R 、コイルの自己インダクタンスはすべて L 、電池の起電力は V で一定である。抵抗以外の抵抗値はすべて無視できるものとする。スイッチを閉じた後で定常状態になる前において、点 A から点 B へ流れる電流を I_1 、点 A から点 C へ流れる電流を I_2 、点 C から点 B へ流れる電流を I と定義する。電流は微小時間 Δt の間にそれぞれ ΔI_1 、 ΔI_2 、 ΔI だけ変化するものとする。以下の問いに答えよ。



- (1) 閉回路 ABCA にキルヒホッフの法則を適用したとき、得られる式はどうか。
- (2) 閉回路 CDBC にキルヒホッフの法則を適用したとき、得られる式はどうか。
- (3) 閉回路 EABCDE にキルヒホッフの法則を適用したとき、得られる式はどうか。
- (4) 問(3)の答えの式を、微小時間 Δt あたりの時間変化の式に直せ。
- (5) 各問いから I_1 、 I_2 、 ΔI_1 、 ΔI_2 を消去して、 ΔI と I の関係を求めよ。
- (6) 問(5)で、 $I = a + b \cdot e^{-ct}$ としたとき、 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ はどういう式になるか。式中の a 、 b 、 c は定数、 e は自然対数の底とよばれる定数である。 $x \ll 1$ のとき、 $e^{-x} \approx 1 - x$ で近似できる。
- (7) 問(6)の式の定数 a 、 b 、 c はいくらか。

3

【1】図のように密度が一様な直方体で長さが $2L$ 、質量が m の剛体棒と長さが $4L$ 、質量が $2m$ の剛体棒を用意した。2つの棒がつながっている端を O 、長さ $2L$ の棒のもう一方の端を A 、長さ $4L$ の棒のもう一方の端を B とする。剛体棒は十分に細い棒で線分と近似できる。この場合、角度 θ は線分 OA と線分 OB のなす角度である。棒を含む平面を鉛直平面、棒に沿った OB を水平方向に設置する。 O を原点、 O から B へ向かう向きに x 軸正の向き、鉛直方向上向きに y 軸正の向きをとる。 $0 < \theta \leq \pi/2$ の範囲で θ が増加すると OA は OB より鉛直上側に動くとして以下の問いに答えよ。



- (1) 剛体棒のなす角度 θ が $0 < \theta \leq \pi/2$ の場合、2つの棒の重心の座標 (x_G, y_G) はどのように表されるか、答えよ。
- (2) 剛体棒のなす角度 θ を $\pi/2$ から 0 へ減らした場合、2つの棒の重心の座標 (x_G, y_G) はどのような軌跡を描くか、答えよ。

【2】上の【1】で考えた2つの棒の O から OA に沿って長さ L の位置 C と、 O から OB に沿って長さ L の位置 D を、棒の質量に比べて無視できるほど軽く伸縮しないひもでつなぎ、その長さを変えることで棒のなす角度 θ を変えられるようにした。以後、この物体全体を AOB と表す。角度 θ が $0 < \theta < \pi/2$ の範囲にある状態の AOB を、 A 点を支点としてつり下げたところ AOB は静止した。 AOB が含まれる鉛直平面は解答紙面と一致しているとして以下の問いに答えよ。

- (1) この静止状態の AOB の様子を解答欄に描け。
- (2) ひもが位置 C に作用する張力の大きさを T とした場合、その張力の A 点まわりの力のモーメントはどのように表されるか、答えよ。なお、鉛直平面内で A 点のまわりに左回り（反時計回り）に回転させる力のモーメントを正とすること。
- (3) この状態では、ひもの長さを増減させると棒のなす角度 θ が変化し AOB の重心の位置も変わる。ひもの長さの変化が微小であれば AOB の形は変化するが、ひもの長さ毎に AOB は静止する。ひもの長さを微小に変化させながら AOB の形を変化させた場合、 AOB の重心の位置と AOB を支えている A 点の位置との関係はどうか、説明せよ。

