

右図のように、断熱壁で囲まれた同一形状のシリンダー A, B が、コック C のついた体積の無視できる細い管でつながれている。最初、コック C は閉じていて、シリンダー A には、圧力  $P_0$ 、体積  $V_0$ 、物質質量  $n$  の単原子分子の理想気体が質量  $m$  の断熱板で閉じ込められている。断熱板はすべり落ちないように、下からストッパーで支えられており、天井から質量の無視できるばね定数  $k$  のばねが取り付けられている。ばねの長さは自然長に等しい。また、シリンダー A 内にはヒーターがあり、スイッチをいれると、気体を加熱することができる。シリンダー B は真空になっていて、内部の容積が  $V_0$  になるような高さに断熱板があり、留め具によって固定されている。断熱板の断面積を  $S$ 、重力加速度の大きさを  $g$ 、気体定数を  $R$  とする。シリンダー外部の圧力による影響は無視してよい。

**問 1** コック C をゆっくり開く。十分に時間が経過して、気体がシリンダー A, B の内部に一樣に充満したときの気体の状態を  $Z_1$  とし、そのときの温度  $T_1$  と圧力  $P_1$  を求めよ。ただし、シリンダー A 内の断熱板はストッパーから離れないものとする。

**問 2** 状態  $Z_1$  において、ヒーターのスイッチを入れて気体をゆっくりと加熱すると、しばらくして、シリンダー A の断熱板が動き始めた。その瞬間に、ヒーターのスイッチを切った。スイッチを切った後の気体の状態を  $Z_2$  とし、そのときの気体の圧力  $P_2$  と温度  $T_2$  を求めよ。

**問 3** 状態  $Z_2$  において、ヒーターのスイッチを入れて気体を徐々に加熱すると、シリンダー A の断熱板がゆっくりと上方に動いた。気体の体積が  $\Delta V$  だけ増えたとき、ヒーターのスイッチを切った。スイッチを切った後の気体の状態を  $Z_3$  とし、状態  $Z_2$  から  $Z_3$  への変化に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 気体の圧力変化  $\Delta P$  を  $\Delta V$  を用いて表せ。
- (2) 期待がした仕事  $W_g$  を  $P_2$ ,  $\Delta P$ ,  $\Delta V$  を用いて表せ。
- (3) ヒーターが気体に与えた熱  $Q_h$  を  $P_2$ ,  $V_0$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta P$  を用いて表せ。

**問 4** 状態  $Z_3$  において、コック C を閉め、シリンダー B の断熱板の留め具を外し、その断熱板を機械的に速く上下振動させた後に、元の位置に戻し、再び、留め具で固定した。この間に、気体がなされた仕事を  $W_m (> 0)$  とする。その後、十分に時間が経過したときの状態を  $Z_4$  とする。状態  $Z_4$  の温度  $T_4$  を  $T_2$ ,  $W_m$  を用いて表せ。

**問 5** 状態  $Z_4$  において、コック C をゆっくりと開くと、シリンダー A の断熱板がゆっくりと上下に動き、状態  $Z_3$  と同じ状態になった。このとき、 $W_m$  と  $Q_h$  の関係を記せ。また、その関係が成り立つ理由を簡潔に述べよ。