

常温の水は液体（以後、単に水という）と気体（水蒸気）の 2 つの状態をとることができる．どちらの状態をとるかは温度と圧力により，図 1 に示すように定まる．例えば，水をシリンダーに密封して温度を 30°C ，圧力を 7000 Pa にしたときは水であり，熱を与えて，温度や圧力を多少変えても全部が水のままである．一方，同じ 30°C で，圧力を 1000 Pa にしたときはすべて水蒸気である．ただし，図 1 の B 点，C 点のような境界線（共存線）上の温度と圧力の時は水と水蒸気が共存できる．逆に，水と水蒸気が共存しているときの温度と圧力はこの境界線上の値をもつ．温度を与えた時に定まる共存時の圧力を，その温度での蒸気圧という．一定の圧力で共存している水と水蒸気に熱を与えると，温度は変わらずに，熱に比例する量の水が水蒸気になり，全体の体積は膨張する． 1 mol の水を水蒸気に変化させるために必要なエネルギーを蒸発熱とよぶ．

このことを参考にして，図 2-1 に示す装置のはたらきを調べよう．断面積 $A\text{ [m}^2\text{]}$ で下端を閉じたシリンダーを鉛直に立てて，物質質量 $n\text{ [mol]}$ の水を入れ，質量 $m_1\text{ [kg]}$ のピストンで密閉し，その上に質量 $m_2\text{ [kg]}$ のおもりをのせる．シリンダーの上端を閉じてなめらかに動くことができるが，シリンダーの上方にはストッパーがついていて，ピストンの下面の高さが $L\text{ [m]}$ になるところまでしか上昇しないようになっている．シリンダーの底にはヒーターが置かれていて，外部からの電流でジュール熱を発生できるようになっている．以下の過程を通じて，各瞬間の水と水蒸気の温度はシリンダー内の位置によらず等しいものとする．また，圧力の位置による違いは無視する．

- (1) 20°C での蒸気圧を $p_1\text{ [Pa]}$ ， 30°C での蒸気圧を $p_2\text{ [Pa]}$ とする．ピストンのみでおもりをのせないうちに内部の圧力が p_1 で，ピストンにおもりをのせたときに p_2 になるようにしたい． m_1 と m_2 を求めよ．重力加速度の大きさを $g\text{ [m/s}^2\text{]}$ とする．
- (2) 圧力 p_2 での 20°C の水のモル体積（ 1 mol あたりの体積）を $v_1\text{ [m}^3\text{/mol]}$ とする．この温度でおもりをのせた状態でのシリンダー内の水の深さ $d\text{ [m]}$ を求めよ．なお，ヒーターの体積は無視できる．
- (3) 装置全体を断熱材で覆い，ピストンにおもりをのせたまま，初め 20°C であった水をヒーターでゆっくりと 30°C になるまで加熱する．このとき，水の状態は図 1 の A 点から B 点に移る． 20°C から 30°C までの水の定圧モル比熱は温度によらず， $c\text{ [J/(mol}\cdot\text{K)]}$ であるとする．水を 30°C にするためにヒーターで発生させるジュール熱 $Q_1\text{ [J]}$ を求めよ．なお，シリンダー，ピストン，おもり，断熱材など，水以外の物体の熱容量は無視できるものとする．
- (4) 30°C での水をさらにヒーターでゆっくりと加熱する．このときの温度と圧力は B 点にとどまり，水は少しずつ水蒸気に変化していく．図 2-2 のようにピストンがストッパーに達したときにも水が残っていた．B 点での水のモル体積 $v_2\text{ [m}^3\text{/mol]}$ と B 点での水蒸気のモル体積 $v_3\text{ [m}^3\text{/mol]}$ を用いて，このときの水蒸気の物質質量 $x\text{ [mol]}$ を求めよ．

- (5) 30°C の水を、その温度での蒸気圧のもとで、水蒸気にするために必要となる蒸発熱を q $[\text{J/mol}]$ とする。(4) の過程で、ピストンがストッパーに達するまでに、ヒーターで発生させるジュール熱 Q_2 $[\text{J}]$ を求めよ。
- (6) ピストンがストッパーに達したときにヒーターを切り、おもりを横にずらして、ストッパーにのせる。次に周りの断熱材を取り除き、 18°C の室内で装置全体がゆっくりと冷えるのを待つ。
- ① 時間の経過（温度の低下）とともに、圧力がどのように変化するか述べよ。
 - ② 時間の経過（温度の低下）とともに、ピストンはストッパーに接した位置と水面に接した位置の間でどのように動くか。動く場合にはその速さ（瞬間的か、ゆっくりか）を含めて述べよ。