

学生番号

氏名

- ▶ レポート課題3の提出期限は6月5日(火)17時です(提出先:化学教室)。
- ▶ 提出の有無は成績評価の対象となります。
- ▶ 得られた数値は有効桁数に気をつけて、単位を付けること。数値だけではなく、必ず計算の過程も示すこと。
- ▶ スペースが足りない場合は裏面を使ってください。
- ▶ 必要であれば、以下の値を使ってください。

$$\text{万有引力定数 } G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

$$\text{クーロン定数 } k_0 = 8.9876 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{アボガドロ定数 } N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{気体定数 } R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

|    | 質量 (kg)                 | 電荷 (C)                   |
|----|-------------------------|--------------------------|
| 陽子 | $1.673 \times 10^{-27}$ | $+1.602 \times 10^{-19}$ |
| 電子 | $9.109 \times 10^{-31}$ | $-1.602 \times 10^{-19}$ |

### 問題1 粒子間の引力相互作用

電荷を帯びている2つの粒子(質点)の間で作用する万有引力 $F_{\text{uni}}$ とクーロン力 $F_{\text{C}}$ を考える。

$$F_{\text{uni}} = -G \frac{Mm}{r^2}$$

$$F_{\text{C}} = k_0 \frac{Qq}{r^2}$$

ここで、 $M$ と $m$ は2つの粒子の質量(kg)、 $r$ は2つの粒子間の距離(m)、 $Q$ と $q$ は2つの粒子の電荷(C)、 $G$ は万有引力定数、 $k_0$ はクーロン定数である。

以下の設問に答えなさい。

(1) 陽子と電子の間で作用する $F_{\text{uni}}$ と $F_{\text{C}}$ の比 $F_{\text{uni}}/F_{\text{C}}$ を求め、どちらが強いのか述べなさい。

$F_{\text{C}}$ を $F_{\text{uni}}$ で割ると分母の $r^2$ が消えて

$$\frac{F_{\text{uni}}}{F_{\text{C}}} = -\frac{GMm}{k_0 Qq}$$

となる。

与えられた定数の値を入れると

$$\begin{aligned} \frac{F_{\text{uni}}}{F_{\text{C}}} &= -\frac{6.673 \times 10^{-11} \times (1.673 \times 10^{-27}) \times (9.109 \times 10^{-31})}{8.9876 \times 10^9 \times (+1.602 \times 10^{-19}) \times (-1.602 \times 10^{-19})} \\ &= 4.409 \times 10^{-40} \end{aligned}$$

原子核や電子の間で作用する力としてはクーロン力が支配的で、万有引力は無視できる。

(2) 地球( $5.978 \times 10^{24}$ kg)と地球上のリンゴ(200g)が、それぞれの重心で電荷 $+1.602 \times 10^{-19}$ Cと $-1.602 \times 10^{-19}$ Cを帯びていると仮定する。両者の間が地球の半径(6378km)だけ離れているとき(つまり、リンゴが地表にあるとき)、両者の間で作用する $F_{\text{uni}}$ と $F_{\text{C}}$ の比 $F_{\text{uni}}/F_{\text{C}}$ の値を求め、どちらが強いのか述べなさい。

(1)と同様に求める。

$$\begin{aligned} \frac{F_{\text{uni}}}{F_{\text{C}}} &= -\frac{6.673 \times 10^{-11} \times (5.978 \times 10^{24}) \times (0.200)}{8.9876 \times 10^9 \times (+1.602 \times 10^{-19}) \times (-1.602 \times 10^{-19})} \\ &= 3.459 \times 10^{41} \end{aligned}$$

地球とリンゴの間で作用する力としては万有引力が支配的で、クーロン力は無視できる。

(3) 発展問題：以上の2つの問題で得られた結果は重要な事実を意味している。それは何か、説明しなさい。

対象とする物体の大きさによって、考えなければならない力の種類が異なる。

(原子や分子の大きさの世界ではクーロン力が、リンゴの大きさの世界では万有引力が支配的になる)

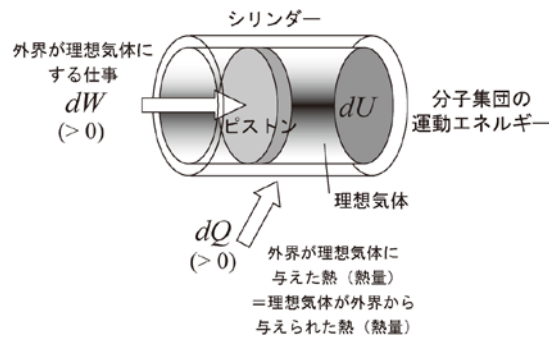
**問題2** 初期状態が $1.013 \times 10^5$  Pa、273 Kであった1.00 molの理想気体が、圧力一定の条件の下で外界から作用を受け、最終状態の体積が2.00倍になった。このとき、理想気体から仕事を取り出すことができた。このとき、下式の熱力学第一法則が成り立つ。

$$\Delta U = Q + W = Q - p\Delta V = Q - W'$$

以下の設問に答えなさい。計算過程には簡単な説明を加え、得られた数値には単位をつけること。

(1) 熱力学第一法則中の以下の定義を説明しなさい。

下図のような状況を考える。



重要：“ $\Delta U = Q + W$ ”の意味が“外部から理想気体に加えられた熱と仕事が入部エネルギーとして保存される”であることを理解すること。

重量：正の符号の定義を理解していること。

$\Delta U$ ：シリンダー内部に閉じ込められた理想気体の内部エネルギーの変化

$Q$ ：外界が理想気体に与えた熱

$W$ ：外界が理想気体にした仕事

$-p\Delta V$ ：外界が理想気体にした仕事で、理想気体を圧縮したとき ( $\Delta V < 0$ ) に正の方向と定義している。

$W'$ ：理想気体が外界にした仕事

(2)  $W$ と $W'$ の値を求めなさい。

問題文中で、標準状態 (0°C、1気圧、1 mol) であることに注意すると、初期状態の理想気体の体積が22.4 Lであること、最終状態の体積が44.8 Lであること、理想気体の体積変化 $\Delta V$ が22.4 Lであることが分かる。体積が膨張しているため、 $\Delta V = +22.4$  Lである。

したがって、 $W$ は

$$W = -p\Delta V = -1.013 \times 10^5 \times (+22.4 \times 10^{-3}) = -2.27 \times 10^3 \text{ J}$$

$W'$ は理想気体が外界にする仕事なので、 $W$ と同じ大きさで符号が逆であるので、

$$W' = +2.27 \times 10^3 \text{ J}$$

(3) 理想気体の温度変化 $\Delta T$ の値を求めなさい。

圧力が同じで、体積が2倍に膨張していることに注目すると、温度が上昇していなければならない。

初期状態の理想気体の状態方程式は $p_i V_i = nRT_i$

最終状態の状態方程式は  $p_f V_f = p_i (2V_i) = nRT_f = nR(2T_i)$  であるので、

$\Delta T$ は273 Kであることがわかる。

(4)  $\Delta U$ の値を求めなさい。

気体分子運動論から気体分子の運動エネルギーの和である内部エネルギーは  $U = \frac{3}{2}nRT$  なので、温度変化 $\Delta T$ による内部エネルギーの変化 $\Delta U$ は

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

である。値を代入して計算すると、

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2} \times 1.00 \times 8.314 \times 273 = 3.40 \times 10^3 \text{ J}$$

(5)  $Q$ の値を求めなさい。

$W$ と $\Delta U$ の値がわかったので、熱力学第一法則から $Q$ は次のように求められる。

$$Q = \Delta U - W = 3.40 \times 10^3 \text{ J} - (-2.27 \times 10^3 \text{ J}) = 5.67 \times 10^3 \text{ J}$$