

プレチャレンジ 3月問題解答 (2013年)

皆さん、熱の問題はいかがでしたか。以下解答を見て行きましょう。

問1 次の1)～7)の記述で、正しいものには○、誤っている場合は×を記入し、その理由を考えなさい。(2007年第1チャレンジ問題)

1) 断熱容器の中に入れた20°Cの水に、その水と同じ質量の80°Cの銅球を浸すと、熱平衡に達したときの水温は50°Cになる。

解1) ×：物質が熱を吸収すると、温度が上昇する。吸収する熱エネルギー Q と温度上昇 ΔT の間には、 $Q = C\Delta T$ の関係があり、 C は熱容量とよばれる。湯を沸かすとき、はじめの水の量が多いと沸かすのに時間がかかる。このように、物質の量が多ければ熱容量は大きく、温度を上昇させるのに多くの熱量が必要である。単位質量あたりの熱容量を比熱と呼び、比熱は物質によって異なる。銅の比熱は $0.38\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、水の比熱は $4.18\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ なので、熱平衡になったときには水がもらった熱量と銅球が失った熱量が等しいので、そのときの温度を $x^\circ\text{C}$ とすると、それぞれの質量を例えば 100g として計算してみる： $0.38 \times (80 - x) \times 100 = 4.18 \times (x - 20) \times 100$ である。よって、 x を求めると 25°C となるので、×。この問題では、水や銅の比熱の値を知らなくとも、水と銅の比熱が違うということを知っていれば、 20°C と 80°C の単純平均の 50°C にはならない、ということがわかるであろう。

2) 乾湿球湿度計の湿球の指示温度が乾球のそれより低いのは湿球の表面で水が蒸発しているからである。

解2) ○：乾湿球湿度計というのは、同型の2個の温度計を並べ、一方の球部を湿った布で包んだものである。湿度が低いと水がよく蒸発し、湿球指示値の下がる程度が大きくなるので、湿度を知ることができる。水に限らず、液体が気体になるときに熱を奪う。これを気化熱という。

3) 自転車のタイヤに空気を入れるとき、空気入れの筒が熱くなるのは主として断熱圧縮のためであって摩擦のためではない。

解3) ○：外部との熱が遮断された状態(断熱状態)で気体を圧縮すると温度が上昇する。これは、圧縮のためにした仕事が、気体の内部エネルギーの増加になるからである。逆に断熱膨張の際には温度が下がる。

4) 容器に入れた一定量の理想気体を体積一定のまま加熱すると、加えられた熱はすべて内部エネルギーの増加分になる。

解4) ○：吸収熱量を Q 、外部にする仕事を W とすれば、内部エネルギー

の増加 ΔU は、熱力学第 1 法則より、 $\Delta U = Q - W$ と表される。気体を体積一定に保つということは、外部に仕事をしないので ($W=0$)、 ΔU と Q は等しい。

5) 一定量の気体の温度を 1°C 上昇させるのに必要な熱量は、体積一定で行うより圧力一定で行う方が少なくてすむ。

解 5) × : 内部エネルギーは温度だけで決まるので、どんな状態変化でも 1°C の温度上昇のための内部エネルギー増加は等しい。圧力を一定に保ったまま気体に熱を加えると、体積が増加し、気体は外部に仕事をする。一方、体積一定では仕事はしない。したがって、同じ内部エネルギー増加、すなわち同じ温度上昇のために必要な熱量は、圧力を一定に保った場合外部にする仕事の分だけ多くなる。

6) 気体の絶対温度は、それを構成する分子の速さの平均値に比例する。

解 6) × : 気体状態の物質は、分子同士が結合から解き放たれて、高速で飛び回っている。その運動エネルギーの平均値は絶対温度に比例する。速さ v の分子の運動エネルギーは $(1/2)mv^2$ で表されるので、「速さに比例する」は誤りで「速さの 2 乗に比例する」が正しい。

7) 体積一定の容器に入れた一定量の理想気体の圧力は、気体分子の平均運動エネルギーに比例する。

解 7) ○ : 理想気体においては、圧力 p 、体積 V 、絶対温度 T の関係はモル数を n 、気体定数を R として、 $pV = nRT$ の関係がある (理想気体の状態方程式)。体積 V を一定に保つと、圧力 p と絶対温度 T が比例する。6) より、 p は分子の運動エネルギーに比例することになる。

解 問 2 理想気体の状態を考えるのには、理想気体の状態方程式 $pV = nRT$ を考えればよい。状態方程式では、 n 、 R が定数なので、気体の状態を決める量 p 、 V 、 T の関係式と見ることができる。3つのうち2つが決まってしまうと、残りの1つの量も状態方程式から決められる。つまり、3つのうち2つが決まれば気体の状態が決まる、ということである。そのことを考えると、図 1 の $p-V$ グラフ上の 1 点が気体の状態を表し、グラフ上の $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の移動が、気体の状態変化を表していることがわかる。さて、図 1 のそれぞれの過程を考えよう。

$A \rightarrow B$ では、体積一定の過程なので、圧力 p と絶対温度 T は比例する。 p が増大しているということは、 V 一定で T が上昇していることになる。この変化は①

～⑤すべてで正しく記述されている。

B→C では、圧力一定の過程なので、体積 V は絶対温度 T に比例して両者とも上昇しているはずである。よって、①、④、⑤は間違いと言える。

C→D では、A→B と逆で、 V 一定で T が下降している。これは正答候補として残っている②と③で正しく表現されている。

D→A では、B→C と同様に体積 V は絶対温度 T に比例して減少し、出発点に戻ることになる。②と③は、この過程を正しく表現しているようにみえる。しかし、状態方程式をよく見てみると、体積 V と絶対温度 T は常に比例し、しかもその直線は常に原点($V=T=0$)を通らなければならないことがわかる。よって、②では直線BCと直線ADが原点($V=T=0$)を通り、 V と T は比例しているので、正答となるが、③では、直線BCと直線ADが原点を通らないので誤答となる。