

強者の戦略

物理の藤原です。強者の戦略 HP 物理ページ第79回（問題編）、第80回（解答編）を担当させていただきます。

今回は熱力学の入試問題を扱います。ここ数年、北海道大学や金沢大学など様々な大学で出題が見受けられている、「蒸発熱／気体と液体の共存」をテーマにした問題を扱いたいと思います。

液体の気体への状態変化は、物理よりも化学の方が良く見かける問題だと思います（飽和蒸気圧）。私自身が高校生の頃、化学のこのテーマに苦手意識があったことを覚えています。標準的な問題はなんとなく解けるのですが、「蒸発」と「沸騰」の違いが自分の中でしっくりいかなくて、何回も化学の先生に質問に行った記憶があります。「何がわかっていないかが、わからない状態」で何回も質問に行ったので、化学の先生に「またお前か!!」と笑顔でうんざりされた事も鮮明に覚えています。結局「飽和蒸気圧」が混合気体において、注目している液体・気体の「分圧」であり、一方で沸騰は混合気体の「全圧」によって決まる事に気づいた時点でスッキリしたのですが、そこに至るまでにかなりの時間がかかりました。

私と同じくスッキリしていない高校生はいるかと思いますが、今回扱う物理問題は混合気体ではなく、「蒸発すると同時に沸騰する」と見なして良いことは先に伝えておきたいと思います。ただ、今回扱う問題はそれ以外にも、色々と引っかかる部分がある問題だと思います。今回の問題を解く事で、「状態変化」や「内部エネルギー」、「熱力学第一法則」の理解がより深まると思います。挑戦してみてください。

【問題】 液体の内部エネルギーと気化熱 『出典：2017年2月 埼玉大学』

(考察時間：25分)

図1のように、シリンダーの中に n モルの液体状態の物質 A がピストンにより閉じ込められている。ピストンの上面は一定の圧力 p_0 の外気に接している。ピストンもシリンダーも熱を通さないものとし、ピストンの質量およびピストンとシリンダーの間の摩擦は無視してよい。また、すべての変化は十分ゆっくり行われるものとする。

物質 A の中にはヒーターがあって、物質 A に熱を与えることができる。時刻 $t=t_0$ から熱を与え始めたところ、時刻 $t=t_1$ に物質 A は気体に変化し始め、図2に示すようにシリンダー内に広がり、時刻 $t=t_2$ に図3に示すようにすべて気体になった。シリンダー内の物質 A の絶対温度 T は時間 t と共に図4に示すように変化した。時刻 t_1 から t_2 の間では温度 T は一定値 T_c であった。この温度 T_c が圧力 p_0 のもとでのこの物質の沸点である。

気体状態の物質 A は単原子分子理想気体と見なせ、内部エネルギーとしては分子の運動エネルギーだけを考えればよいものとする。液体状態の物質 A の1モルあたりの比熱を C 、1モルあたりの体積を v_L とし、これらは温度によらず一定とする。液体状態では分子間力による位置エネルギーのため、内部エネルギーは負の値をとる。温度 T_c における液体状態の物質 A の1モルあたりの内部エネルギーを $-\phi_0$ とする。気体定数を R と書く。問1から問5までの答えは $n, C, T, T_c, R, V, \phi_0, p_0, v_L$ のうち必要なものを用いて表せ。

強者の戦略

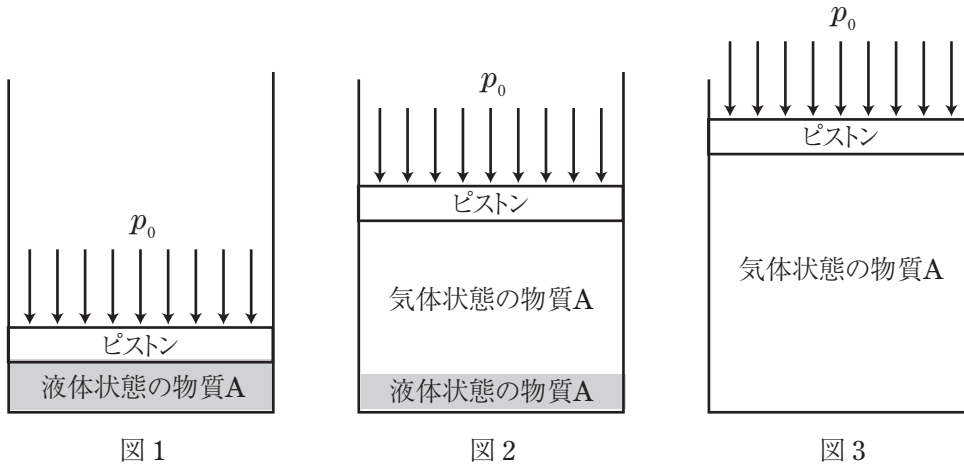


図 1

図 2

図 3

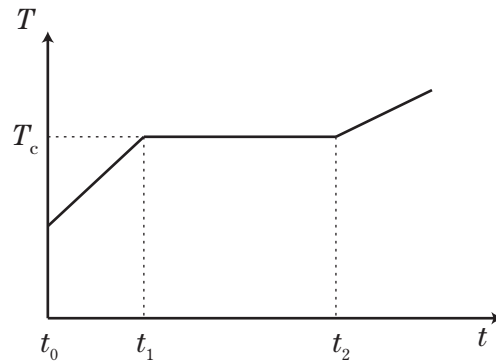


図 4

- 問 1 時刻 t_0 から t_1 の間で、温度が T ($\leq T_c$) のとき、液体状態の物質 A の内部エネルギー U_L を求めよ。
- 問 2 時刻 t_2 におけるシリンダー内の物質 A の体積 V_2 と内部エネルギー U_2 を求めよ。
- 問 3 時刻 t_1 から t_2 の間で、シリンダー内の体積が V になったとき、気体状態の物質 A の物質量 n_G を求めよ。
- 問 4 時刻 t_1 から t_2 の間に気体が外部に対してした仕事 W を求めよ。
- 問 5 一定の圧力 p_0 のもとで、温度 T_c の 1 モルの物質 A の液体を同じ温度の気体に変えるのに必要なエネルギー (1 モルあたりの蒸発熱) L を求めよ。
- 問 6 $T_c = 4.00 \times 10^2 \text{ K}$, $L = 4.03 \times 10^4 \text{ J/mol}$ のとき、前問で求めた式を用いて ϕ_0 を求めよ。
 なお、 $R = 8.3 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ とし、 v_L は気体の 1 モルあたりの体積に比べ十分に小さいので無視してよい。