

入試問題研究 第5回 2004年 センター試験 第3問 (気体の法則) 問題

図1のように、ゴム管でつないだ二つのガラス管 A と B に密度 ρ の液体を入れてある。ガラス管 A の上部には栓がついており、はじめ栓は開いている。ガラス管 A と B の断面積を S 、大気圧を p_0 、重力加速度の大きさを g とする。また、この液体は凝固も蒸発もしないものとする。

問1 ポンプを用いてガラス管に空気を送り込んだ

のち、栓を閉じた。そのとき、図1のように、ガラス管 A と B の液面の高さは、ガラス管 A の底から測ってそれぞれ a_0 、 b_0 となった。ガラス管 A に閉じ込められた空気の圧力は p_1 はいくらか。

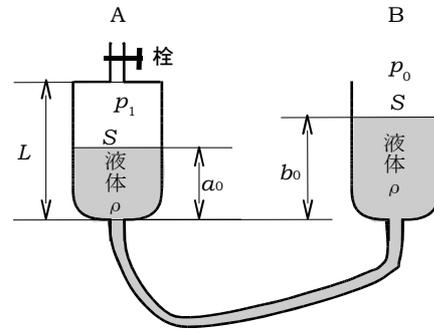


図1

問2 次に、栓を閉じたままガラス管 B を上下に動かし、ガラス管 A の液面の高さを変化させることによって、ガラス管 A に閉じ込められた空気の圧力を変える。図2のように、ガラス管 A 中の空気の圧力を大気圧 p_0 と同じにするための液面の高さを a_1 とする。 a_1 は、ガラス管 A の長さ

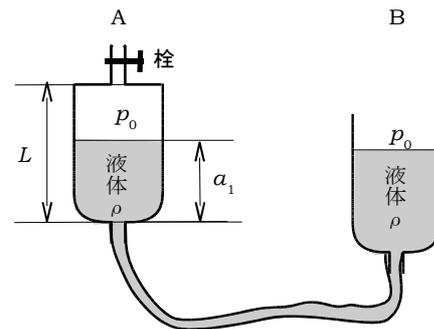


図2

L および問1の a_0 、 p_0 、 p_1 を用いる

とどのように表されるか。ただし、ガラス管に閉じ込められた空気の温度は一定に保たれているものとし、また、栓の部分の空気の体積は無視できるものとする。

問3 次に、ガラス管 A に閉じ込められた空気の温度を変化させる。ガラス管 B を上下させ、ガラス管 A の液面の高さ a と閉じ込められた空気の絶対温度 T の関係の概略で示せ。

入試問題研究 第5回 2004年センター試験 第3問 (気体の法則) 解答・解説

問1 「液体中の同じ高さの位置での圧力は等しい」を使えばよい。また、液体の密度 ρ 、液体中の深さを d 、外気圧を p_0 としたとき、液体中の圧力 p は $p=p_0+\rho g d$ である。

ガラス管 A の底の液体の圧力は $p_1+\rho g a_0$ であり、同じ高さのガラス管 B での液体の圧力は $p_0+\rho g b_0$ である。よって、 $p_1+\rho g a_0=p_0+\rho g b_0$ になり $p_1=p_0+\rho g(b_0-a_0)$ だ。

力で考えてもよい。ガラス管 A の底(平らで面積 S とする)にかかる力は気圧による力 $p_1 S$ とガラス管 A の液体の重さ $\rho S a_0 g$ の和になる。ガラス管 B の液体の場合も、大気圧による力 $p_0 S$ とガラス管 B の液体の重さ $\rho S b_0 g$ の和になる。両者はつりあって等しくなるから $p_1 S+\rho a_0 S g=p_0 S+\rho b_0 S g$ より、 $p_1=p_0+\rho g(b_0-a_0)$ である。

問2 「ボイルの法則」または、「理想気体の状態方程式」を使えばよい。

温度が変わらないから、ボイルの法則(圧力と体積の積が一定である)が成立するから

$$p_1 S(L-a_0)=p_0 S(L-a_1) \text{ になる。これより、 } a_1=L-\frac{p_1}{p_0}(L-a_0) \text{ になる。}$$

問3 「ガラス管 B の液面と同じに保つ」すなわち「圧力を一定 (p_0) に保つ」ということに気付けばよい。このとき、「シャルルの法則(絶対温度と体積が比例する)」が成立する。

シャルルの法則が成立するから $\frac{S(L-a)}{T}=k$ (k は比例定数)だから、 $a=-\frac{k}{S}T+L$ となる

から、 a と T は一次式より直線に、傾きが負だから右下がりに、縦軸切片が正になる。

よって、 $a-T$ のグラフは「右下がりの直線(傾きが負で一定だから直線になり、かつ、 a 切片が正)」になる。

[類題] 円筒形容器(シリンダー)に気体を入れて、ピストンで押すとき、ピストン内の気体の圧力の変化を計算させる問題も良く出るようです。

[例] 断面積 S 、長さ L の円筒形容器(シリンダー)が水平に置かれている。シリンダーの栓を開きピストンを d 引いて、シリンダーに絶対温度は T の単原子分子理想気体を吸入し、栓を閉じた。なお、ピストンはシリンダー内を滑らかにすべることが出来るものとし、その質量 m 、重力加速度を g 、大気圧を p_0 、気体定数を R とする。

(1) シリンダーに吸入した気体の量を求めなさい。

シリンダーを鉛直に立てたところ、ピストンが下がり、その後、徐々に下がりながら一定の量下がった位置で停止した。そのとき、温度は始めの温度に戻っていた。

(2) 最終的にピストンが下がった長さを求めなさい。

(3) ピストンを立てた直後、シリンダー内の気体の温度は上昇するか、下降するか、理由を付けて説明しなさい。

[略解] (1) $n=\frac{p_0 S d}{RT}$ 、(2) $d-\frac{p_0 S d}{p_0 S+m g}$ 、(3) シリンダー内部の気体が圧縮されるため、

外部から仕事を受け取る。熱力学第一法則より、内部エネルギーが増える。内部エネルギーは絶対温度に比例するから、シリンダー内部の気体の温度が上がる。