

気体の状態式 実在を目指し発展

物質は非常に多数の分子からできている。したがって、ミクロの視点で見ると変数は非常に多い。だが、マクロの視点で見ると、状態量である圧力の「 p 」、体積の「 V 」、絶対温度の「 T 」で表せる。熱などのエネルギーの移動がもはや起こらなくなった状態を熱平衡というが、その熱平衡にある物質の状態量間の関係を表すのが状態式だ。

実は状態式はひとつではない。理想気体の状態式はボイル・シャルルの法則、実在気体ではファン・デル・ワールスの状態式などいろいろある。気体だけで

はなく、液体や固体についても、理論式や実験式として、さまざまな状態式がある。

例えば、有名なボイル・シャルルの法則では、一定量の気体に対し、圧力を表す「 p 」と体積の「 V 」、絶対温度の「 T 」の間に一定の関係が成立する。具体的にいうと、1モルという一定量の気体では、この関係式は気体定数と呼ばれる比例係数「 R 」を使って「 $pV=RT$ 」と表される。

厳密には、この式は理想気体の中だけで成り立つ。つまり、分子同士の間で力

が働かない理想的な気体の中だけのお話だ。しかし、さまざまな実験や検証などから現実の気体でも常温・常圧であれば十分な精度で使えることがわかっている。ただし、絶対零度に近い低温や、または高压では精度が落ちることも知られていた。

そこで1873年、オランダの物理学者ファン・デル・ワールスは、より完全に表せる式を作ることを目指し、現実の気体に対する状態式を提唱した。そこには当然のことながら、気体の種類によって決まる定数が含まれることになる。この式

はファン・デル・ワールス状態式と呼ばれている。ボイル・シャルルの法則とは違い、臨界点の存在も含めて液体の状態を定性的に与える。

気体は、分子間の相互作用の影響が小さい。このために、長年、気体の状態式は、統計力学における厳密な理論的研究の対象とされてきた。だが実在の気体は、当然、理想気体ではない。さまざまな環境や状態などによって違うものの、分子同士の間で力が働いている。これを不完全気体という。この不完全気体の統計力学もすでに理論体系として確立されていることも付け加えておきたい。

(東京大学名誉教授 和田昭允)

日経産業新聞
令和元年
5月14日

自転を見せるフーコーの振り子

16世紀、物理学者であり、天文学の父とも称されるガリレオ・ガリレイは、イタリアのピサの礼拝堂のランプが揺れるのを見て、振幅する周期が振幅の大きさとは関係なく常に一定であることに気付いた。一方で、振れの周期がランプをつり下げる鎖の長さの関係することにも気付いた。

つまり、これが、振り子の等時性とその周期の2乗が、ひもの長さに比例することの発見だ。今日でも保存されている振り子時計の精度を保証する物理学の原理である。

東京・上野の国立科学博物館地下1階に、地球の自転を目に見せてくれるフーコーの振り子があるのをご存じだろうか。この振り子の重りは、直径23cm、重さ49.6kgの球で、高い吹き抜けの天井から、長さ19.5mのステンレスワイヤでつり下げられている。

この仕掛けは1851年に、フランスの物理学者フーコーが、地球の自転を目に見える形で証明する方法として考案したものだ。当時から、地球の自転は信じられるようになっていたが、フーコーがこの振り子の仕掛けを思いつく以前は、まだ

物理的に証明する方法は開発されていなかった。

フーコーは、長い時間観察できるようにするために、2つの工夫をした。ひとつは、糸を長くすることで周期を長くした。さらに重りを重くし、振動が長く続くようにした。

この振り子を振ってみる。重りには天井から釣られている以外に何の力も加えられていない。重りの運動はニュートンの運動法則に従って、空間で一定の方向を保つ。

つまり、ステンレスワイヤの振動する

面は、宇宙空間に対して動かない。それを我々人間は、宇宙空間に対して回転する地球に乗って見ていることになる。

地球は北極から見ると、回転軸のまわりに反時計方向に24時間で360度、つまり1時間に15度の角速度で回転する。このように動く地球とともに、回転している観測者から見ると、振り子の振動方向が1時間に15度の角速度で回転しているように見える。

ちなみに、回転の向きは、北半球と南半球では違う。北半球では上から見て時計方向、南半球では逆の半時計回りになる。

(東京大学名誉教授 和田昭允)

日経産業新聞
令和元年
5月21日