

ねつりきがく だいいちほうそく 熱力学第一法則

1 導入

この講義で最重要なのは、熱 Q 、仕事 W 、内部エネルギー U を同じ「エネルギー」でも別物として区別
することです。

熱力学でつまづきやすいのは、 Q 、 W 、 ΔU を全部足したり引いたりするだけの記号として見てしまうこと
です。この講義では、それぞれが「どこに蓄えられ、どこを通過して出入りするか」を整理します。

2 用語と定義

内部エネルギーとは、気体の内部に蓄えられたエネルギーです。

熱力学第一法則は、
First law of thermodynamics

$$\Delta U = Q - W$$

です。

3 方針

まず系を決め、その系に入る熱と外へ出る仕事を区別します。そのあと、エネルギー保存として第一法則を
導き、 p - V 図で仕事の意味を確かめます。

→ [講義 熱と気体](#) [lecture](#) [physics](#) [thermodynamics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/thermodynamics/熱と気体-講義/>

4 直感的な説明

熱は「温度差で渡ってくるエネルギー」、仕事は「押ししたり膨張したりして運ばれるエネルギー」です。ど
ちらも外から入ったり出たりしますが、内部エネルギーは系の中に残るエネルギーです。

5 厳密な説明

5.1 1. 式の意味

エネルギー保存より、系へ入った熱 Q は、内部エネルギーの増加 ΔU と、系が外へした仕事 W に分かれ
ます。したがって

$$Q = \Delta U + W$$

です。これを並べ替えると

$$\Delta U = Q - W$$

で、 $Q > 0$ は系が熱を受け取る、 $W > 0$ は系が外へ仕事をするを表します。したがって、入れた熱のうち仕事として出ていったぶんを引いた残りが内部エネルギーの増加分です。この符号の取り方は、「系を主役にして見る」と決めると自然です。系へ入るエネルギーはプラス、系から外へ出るエネルギーはマイナスと読めば、 $Q - W$ という形がそのまま理解できます。

5.2 2. p - V 図とのつながり

断面積 S のピストンが距離 dx だけ動くとき、気体がする仕事は

$$dW = F dx$$

です。ここで $F = pS$ 、また $dV = S dx$ だから

$$dW = p dV$$

です。したがって全仕事は

$$W = \int p dV$$

で表され、 p - V 図では面積として見えます。だから熱力学では、グラフの面積が仕事になる、という見方が重要です。

ここで大事なのは、 W は途中でどんな経路を通ったかで変わることです。始点と終点の P, V, T が同じでも、途中の経路が違えば p - V 図の面積は変わるので、 W も変わります。したがって W は状態量ではなく経路量です。

5.3 3. 状態変化の判定

等積変化では $dV = 0$ なので $W = 0$ です。よって $\Delta U = Q$ です。

等温変化では、理想気体なら内部エネルギーは温度だけで決まるので $\Delta U = 0$ です。したがって $Q = W$ です。

断熱変化では $Q = 0$ なので $\Delta U = -W$ です。

この3つは公式として覚えるより、第一法則

$$\Delta U = Q - W$$

に、それぞれの条件を代入して得られる結果として見るのが大切です。

また ΔU は内部エネルギーという状態量の差なので、始点と終点と同じなら経路によらず同じ値になります。つまり第一法則は、「経路量である Q と W の差は、状態量 U の変化として決まる」と読むことができます。

とくに1周期回って元の状態に戻る循環過程では

$$\Delta U = 0$$

なので、

$$Q = W$$

です。これは「1 周したあとに内部へ残るエネルギーの増減はないので、受け取った熱は全部仕事へ回る」と読むのではなく、「正味の熱の出入りと正味の仕事が一一致する」と読むのが正確です。

6 別の見方

力学の仕事と同じく、ここでも仕事はエネルギーの受け渡しです。ただし熱力学では、目の前の物体 1 個ではなく、気体という系全体の出入りとして見ます。この見方を採るから、 Q と W は経路に依存し、 U は状態量だと区別できます。

7 どこまで成り立つか

第一法則そのものはエネルギー保存として一般的ですが、ここで使った「理想気体では内部エネルギーが温度だけで決まる」という性質は理想気体を前提にしています。

したがって等温変化でただちに $\Delta U = 0$ とおけるのは、ここでは理想気体を考えているからです。実在気体では、そのままでは使えない場合があります。また $W = \int p dV$ をそのまま使って p - V 図の面積として読むときも、途中で圧力がきちんと定まっているような準静的な変化を暗黙に仮定しています。

8 見分け方

- Q , W , ΔU が同時に出たら、まず第一法則を疑います。
- 体積一定なら $W = 0$ 、温度一定なら理想気体で $\Delta U = 0$ 、断熱なら $Q = 0$ を先に置きます。

9 最終形

$$\Delta U = Q - W$$

10 一言でいうと

- 第一法則は、熱と仕事の出入りを内部エネルギーの増減へ結ぶ保存則です。