

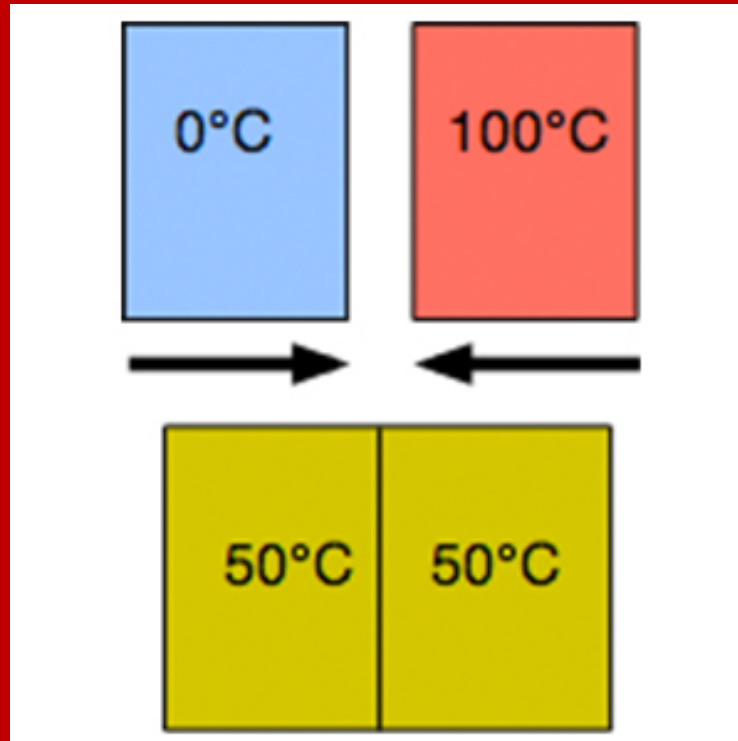
# 제4강 에너지

## 에너지 함수에 대해 알아보시다.

우리는 먼저 에너지 함수와 거시상태를 연결시키고자 합니다.  
나중에 미시상태로부터 주어지는 분배함수와  
에너지 함수 사이의 관계를 알게 될 것입니다.



평형 상태equilibrium와 비평형 상태non-equilibrium

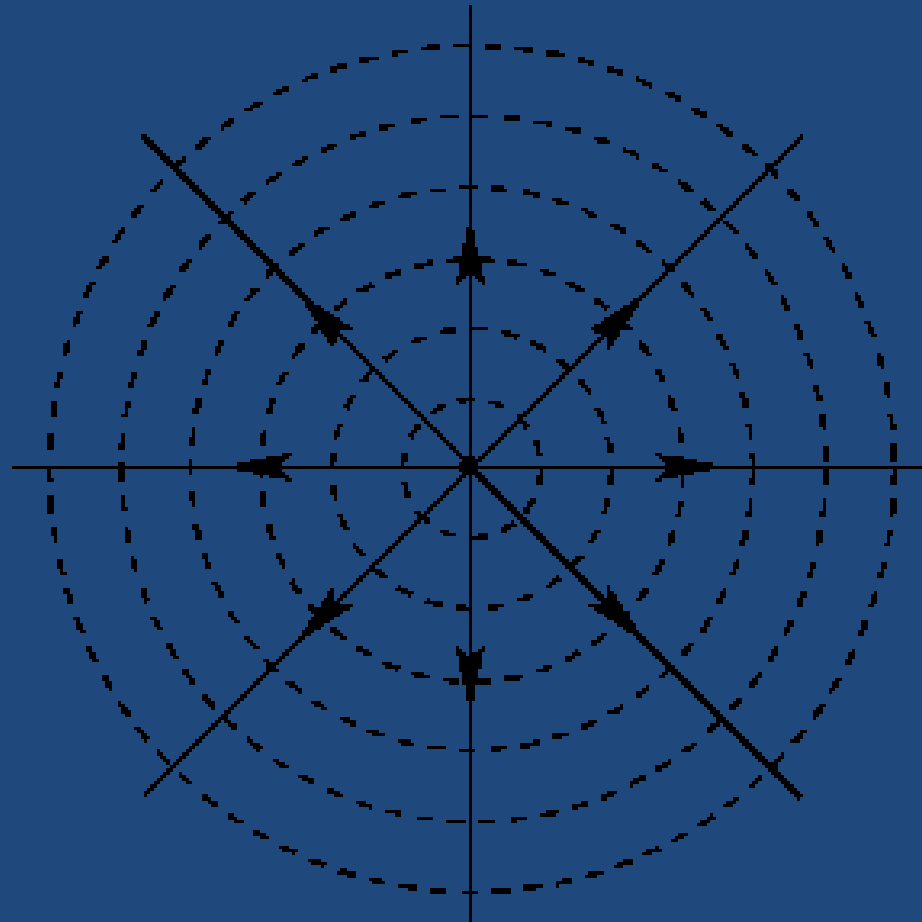


비평형 상태에서는 열의 흐름이 존재합니다.  
평형 상태에서는 더 이상 열이 흐르지 않게 됩니다.

우리는 이러한 **평형 상태**에서는,  
어떤 **거시 변수**들이 존재해서  
이 변수들이 **과정에 관계 없이**  
어떤 특정한 값들을 가진다고 생각합니다.

우리는 이러한 **평형 상태**에서는,  
어떤 **거시 변수**들이 존재해서  
이 변수들이 **과정에 관계 없이**  
어떤 특정한 값들을 가진다고 생각합니다.

이 변수들을 우리는 **상태 함수** *function of state*라고 부릅니다.



정전기장과 전기 퍼텐셜

$$\vec{E} = -\nabla V$$

정전기장은 전기 퍼텐셜의 미분(그래디언트)으로 주어집니다.

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{x} = V(x_i) - V(x_f)$$

따라서 정전기장의 선적분은 **경로에 의존하지 않게** 됩니다.

$$-\left(\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz\right)$$

정전기장을 다음과 같이 전기 퍼텐셜의  
전미분exact differential으로 나타낼 수도 있습니다.

$$-\left(\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz\right)$$

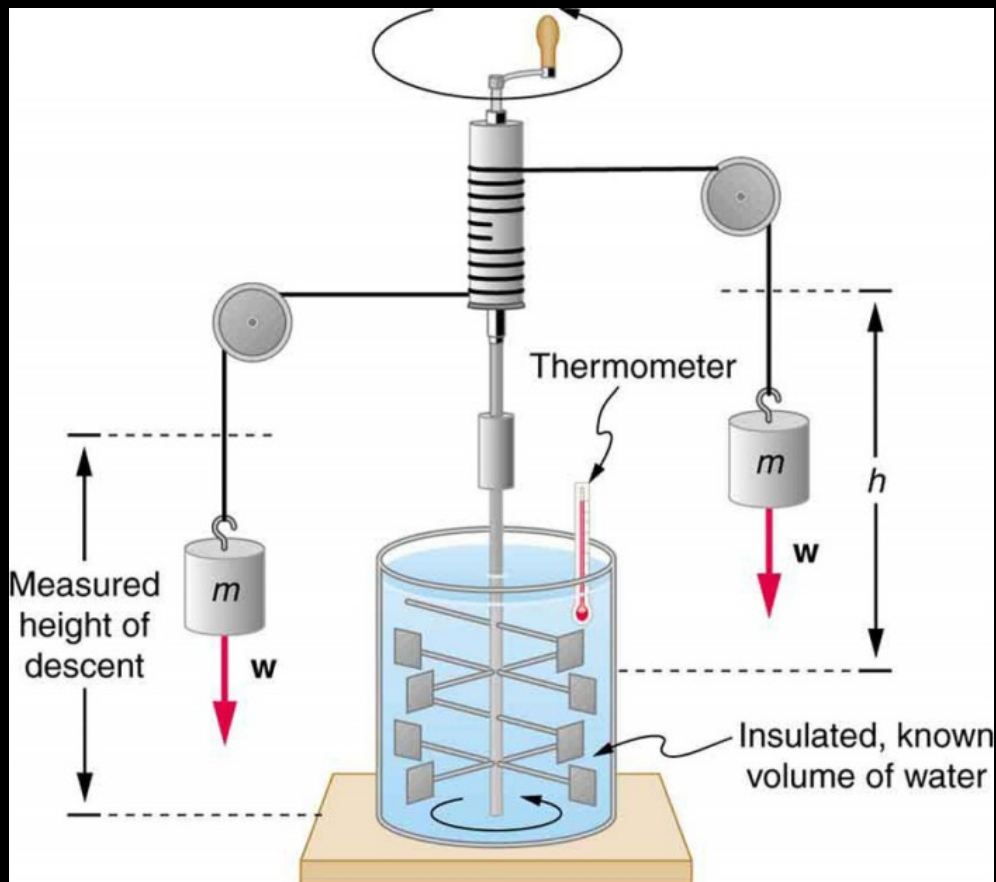
이렇게 전미분으로 표현될 수 있는 물리량은  
상태 함수가 될 수 있습니다.

여기에서 에너지 또는 부피와 같이 계의 크기에 따라 커지는 변수를  
크기 변수 extensive variables 라고 하고,  
압력 또는 온도와 같이 계의 크기에 무관한 변수를  
세기 변수 intensive variables 라고 합니다.

여기에서 에너지 또는 부피와 같이 계의 크기에 따라 커지는 변수를  
크기 변수 extensive variables 라고 하고,  
압력 또는 온도와 같이 계의 크기에 무관한 변수를  
세기 변수 intensive variables 라고 합니다.

상태 함수들의 관계를 상태 방정식 equation of state 이라고 합니다.

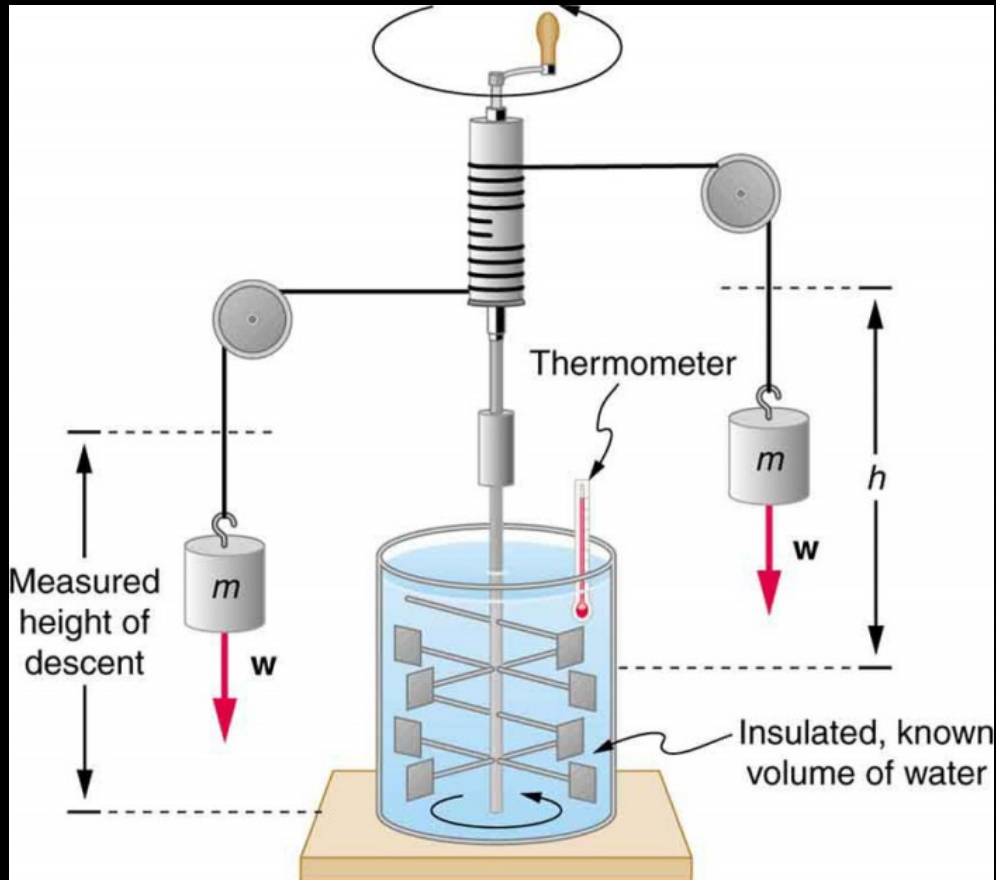
이제 상태 함수 중에서 가장 중요한 역할을 하는  
‘에너지’에 대해서 생각해봅시다.



줄Joule을 비롯한 몇 선구적 연구자들은  
일 또는 역학적 에너지가 열로 전환되는 것을 보였습니다.



제임스 프레스콧 줄



따라서 열도 에너지의 한 형태라는 것입니다.



그러므로 에너지의 보존을 생각하기 위해서는  
열로 전환된 부분을 반드시 고려해야 합니다.

## 열역학 제1법칙

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

에너지는 보존되고, 열과 일은 모두 에너지의 형태이다.

## 열역학 제1법칙

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

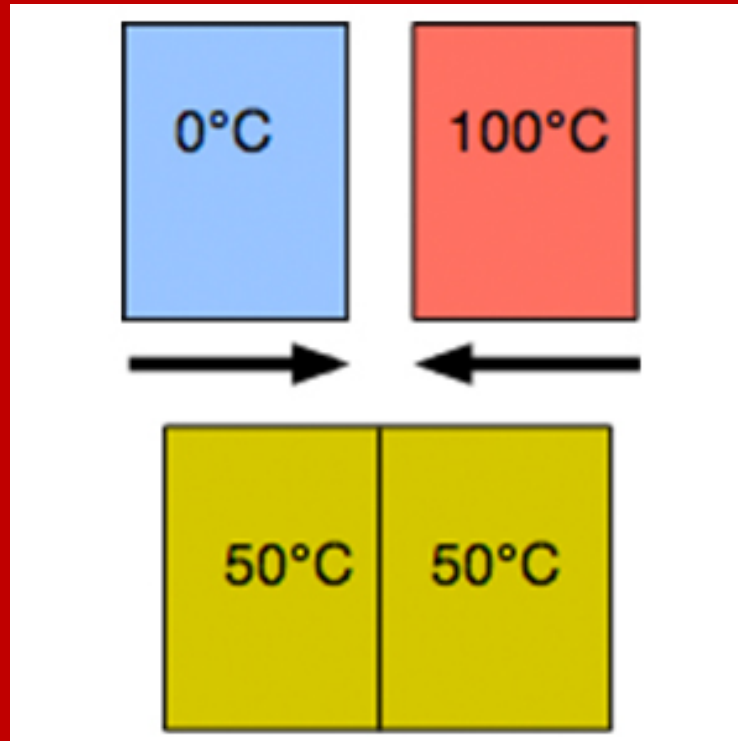
여기에서  $\Delta E$ 는 내부 에너지의 변화이고,  
 $\Delta Q$ 는 계에 공급된 열,  
 $\Delta W$ 는 계에 행한 일입니다.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

그런데 우리는 전체 에너지는 알 수 있지만,  
정확히 얼마만큼 일과 열로 전환 되었는지는  
알지 못할 수도 있습니다.

$$dE = \delta Q + \delta W$$

그래서 일반적으로 내부 에너지는 상태 함수이지만,  
일과 열 각각은 상태 함수가 아닙니다.



우리는 앞에서 평형 상태에서는 열의 흐름이 없다고 했습니다.  
따라서 시간에 따라 변하지 않습니다.



그런데 정말 시간에 따라 변하지 않는다면  
우리가 다룰 수 있는 물리적 예가 너무 제한 될 것입니다.  
거시 세계도 계속해서 변하기 때문입니다.

그래서 물리학자들은 고민 끝에  
‘평형이지만 평형이 아닌’,  
즉 평형 상태를 유지하면서 변하는 조건을 고려하게 됩니다.

물론 이것은 현실적으로는 존재할 수 없지만  
근사적으로 유용한 개념으로 판명됩니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로  
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,  
평형 상태를 유지할 수 있습니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로  
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,  
평형 상태를 유지할 수 있습니다.  
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로  
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,  
평형 상태를 유지할 수 있습니다.  
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

준정적 과정 중에서 역과정이 원리적으로 가능하게 된다면  
가역 과정reversible이라고 부릅니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로  
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,  
평형 상태를 유지할 수 있습니다.  
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

준정적 과정 중에서 역과정이 원리적으로 가능하게 된다면  
가역 과정reversible이라고 부릅니다.

물론 가역 과정이 실제로 일어나기 위해서는  
무한히 긴 시간이 필요하므로  
이것은 근사적인 기술일 뿐입니다.

$$dE = đQ + đW$$

열역학 제1법칙은 가역 과정이거나 비가역 과정이거나  
항상 성립합니다.

이것은 에너지의 보존에 대한 것이기 때문입니다.

$$dE = TdS - pdV$$

내부 에너지를 엔트로피와 부피라는 크기 변수로 나타내면,  
위와 같이 전미분으로 전개됩니다.  
이 관계식은 상태 함수로 표현 되었으므로 항상 옳습니다.

$$dE = \delta Q + \delta W$$

그런데 비가역 과정에서는 상태 함수가 아닌 일과 열의 변화에 대해  
중간 과정을 기술하는 일반적인 관계식을 쓸 수 없습니다.

$$đQ = T dS$$

$$đW = -p dV$$

오직 가역적 과정에 대해서  
중간 과정을 기술할 수 있는 위의 관계식을 쓸 수 있습니다.

이와 관련한 물리적 의미에 대해서는  
앞으로 더 자세히 살펴보게 될 것입니다.

$$E = E(T, V)$$

좀 더 간단한 예로,  
에너지가 온도와 부피로 표현되는 경우를 가정해 봅시다.

$$dE = \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV$$

전미분은 위와 같습니다.

$$\delta Q = \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)_V dT + \left[ \left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T + p \right] dV$$

열역학 제1법칙과 비교해서  
열의 변화는 위와 같이 구할 수 있습니다.

$$\frac{dQ}{dT} = \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)_V + \left[ \left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT}$$

온도에 따른 열의 변화는 위와 같습니다.

$$C_V = \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)_V$$

따라서 일정한 부피에서의 열용량은 위와 같습니다.

$$C_p = \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)_V + \left[ \left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T + p \right] \left( \frac{dV}{dT} \right)_p$$

한편, 일정한 압력에서의 열용량은 위와 같습니다.

$$C_p - C_V = \left[ \left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T + p \right] \left( \frac{dV}{dT} \right)_p$$

따라서 정압 열용량과 정적 열용량의 차이는 위와 같습니다.

$$E = \frac{3}{2} NkT$$

단원자 이상기체의 내부 에너지는 위와 같습니다.

$$C_V = \frac{3}{2} Nk$$

따라서 단위자 이상기체의 정적 열용량을 구할 수 있습니다.

$$E = \frac{3}{2}pV$$

이상기체의 상태방정식을 사용하면  
내부 에너지는 다시 위와 같이 쓸 수 있습니다.

$$C_p - C_V = Nk$$

이것으로부터 단위자 이상기체의  
정압 열용량과 정적 열용량의 차이를 구할 수 있습니다.

$$\gamma \equiv \frac{C_p}{C_V}$$

특히 위와 같이 정의된 단열 지수<sub>adiabatic index</sub>는  
물질의 양에 의존하지 않습니다.  
단원자 이상기체의 경우 이 값은 5/3이 됩니다.

감사합니다