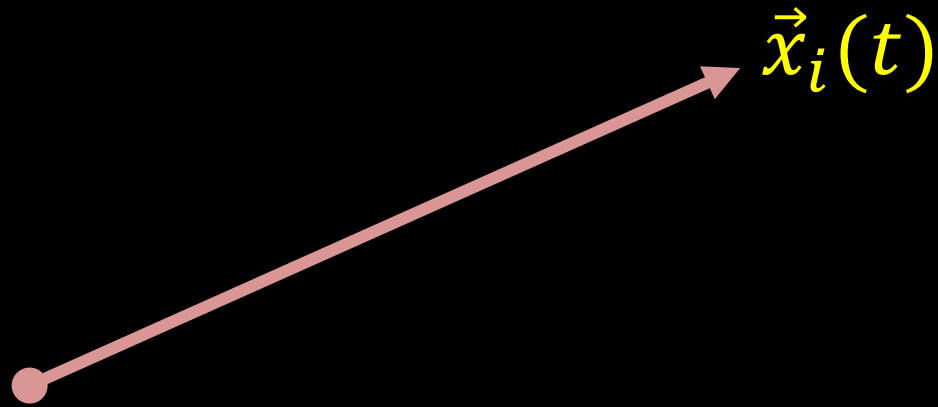
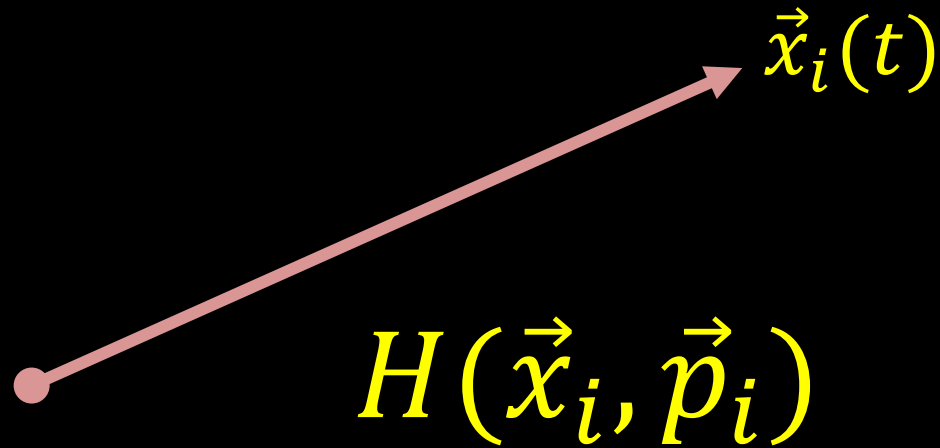


제1강 서론



고전 물리학에서는 입자의 위치를 알면
모든 것을 이해할 수 있다고 생각합니다.



입자의 위치를 결정하는 모든 방정식은
라그랑지안 또는 해밀토니안과 같은
에너지 함수로부터 구할 수 있습니다.

대사상/배경

object/background

힘/장

force/field

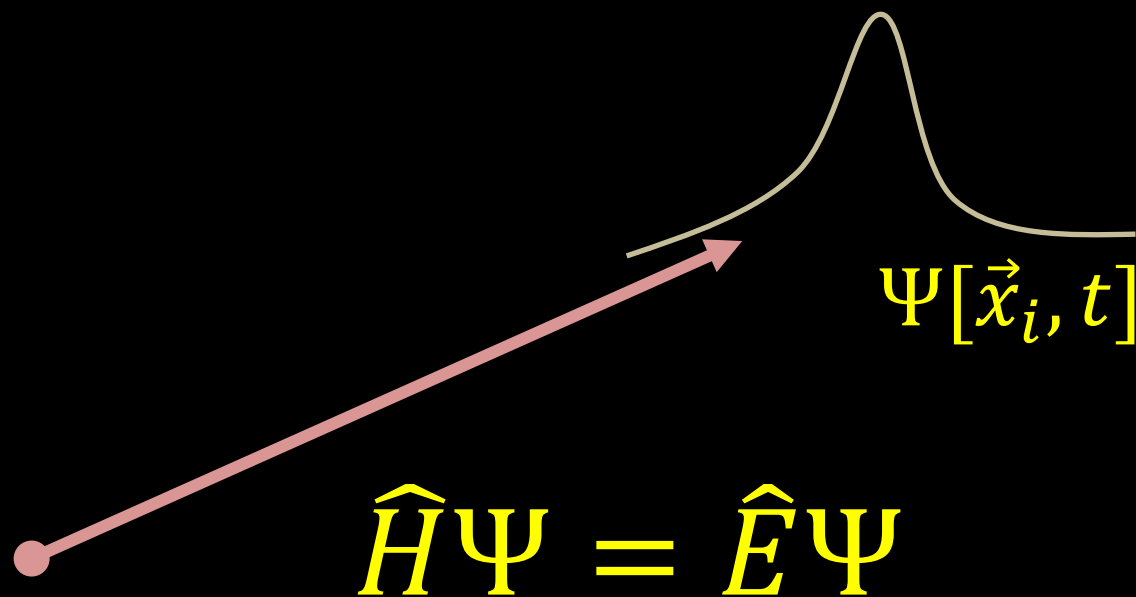
운동

motion

장 방정식
field equation

운동 방정식
equation of motion





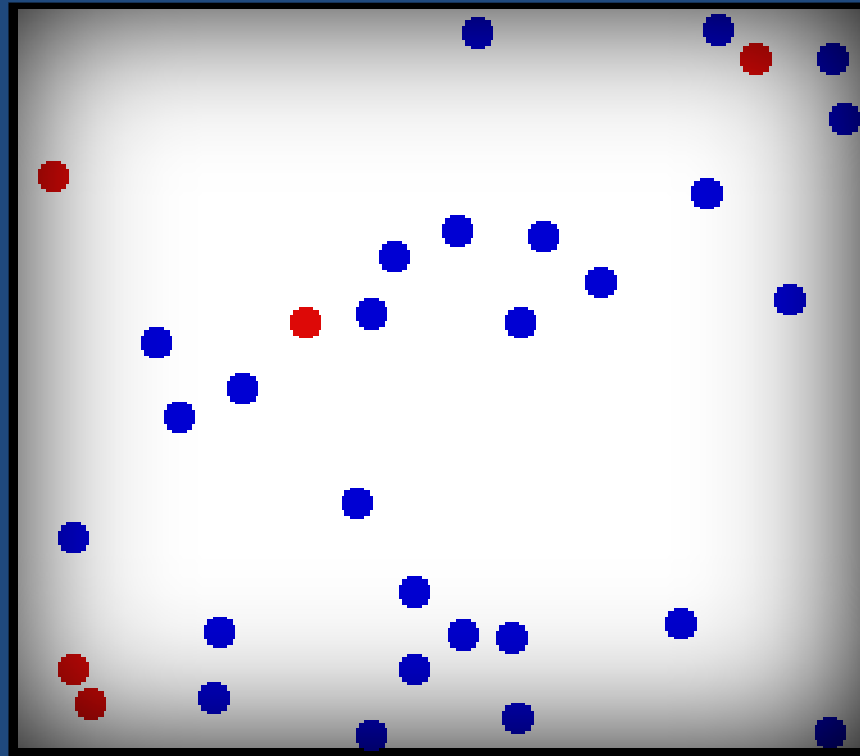
양자 물리학에서는 입자의 위치에 대한 파동함수를 알면
모든 것을 이해할 수 있다고 생각합니다.



따라서 우리는 에너지를 알면
근본적으로 모든 것을 알 수 있습니다.



이러한 에너지 이외의 다른 개념을
우리가 공부해야 할 필요가 있을까요?



문제는 입자의 개수가 아주 많아질 때 생깁니다.
에너지를 정확히 계산하기가 너무 어렵습니다.

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

아보가드로 수

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

아보가드로 수란 탄소 12 g에 들어있는 원자의 수를 말합니다.

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

원자가 아보가드로 수 만큼 있을 때,
1 몰의 원자가 있다고 합니다.



상온 및 보통의 대기압에서
1 몰의 기체는 대략 20리터에 해당합니다.

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

우리의 일상적인 경험에는 아보가드로 수 정도의 입자들이 관여합니다.

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

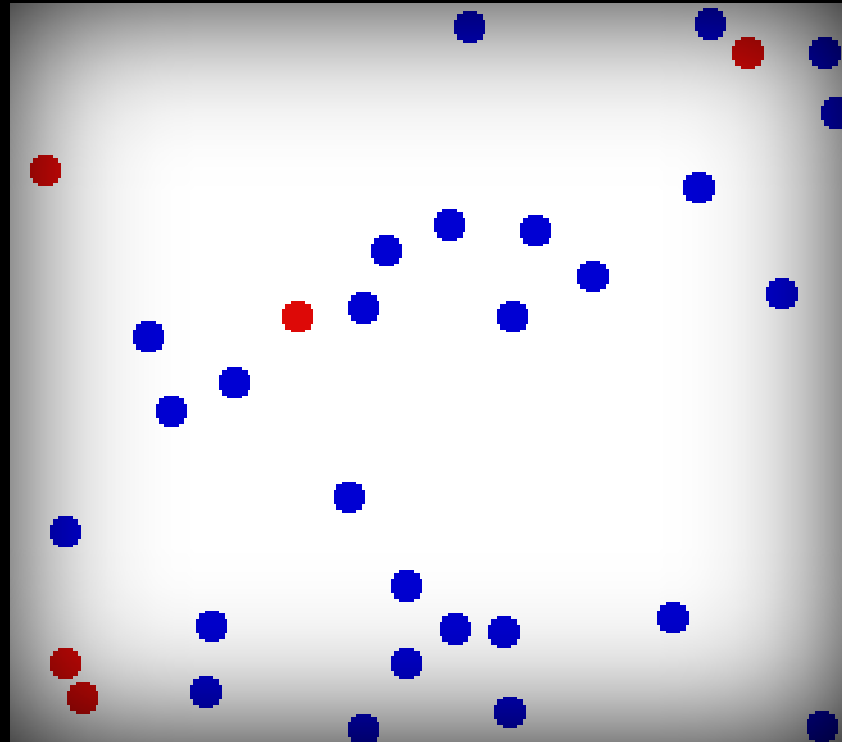
문제는 이렇게 많은 수의 입자에 대해
현실적으로 에너지를 계산할 수는 없다는 것에 있습니다.

$$\Delta E = \Delta W$$

일-에너지 정리에 의하면 운동 에너지의 변화는
항상 일의 양과 같습니다.

$$\Delta E = \Delta W$$

우리가 입자들의 **운동 에너지**를 모두 계산할 수 있다면,
이것은 **일**의 양과 같다는 것을 확인할 수 있습니다.



그러나 입자의 개수가 너무 많아져서
일과 에너지의 대응관계를 다 추적할 수 없다면,
뭔가 무시하는 양이 생기게 됩니다.

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

그러나 입자의 개수가 너무 많아져서
일과 에너지의 대응관계를 다 추적할 수 없다면,
뭔가 무시하는 양이 생기게 됩니다.

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

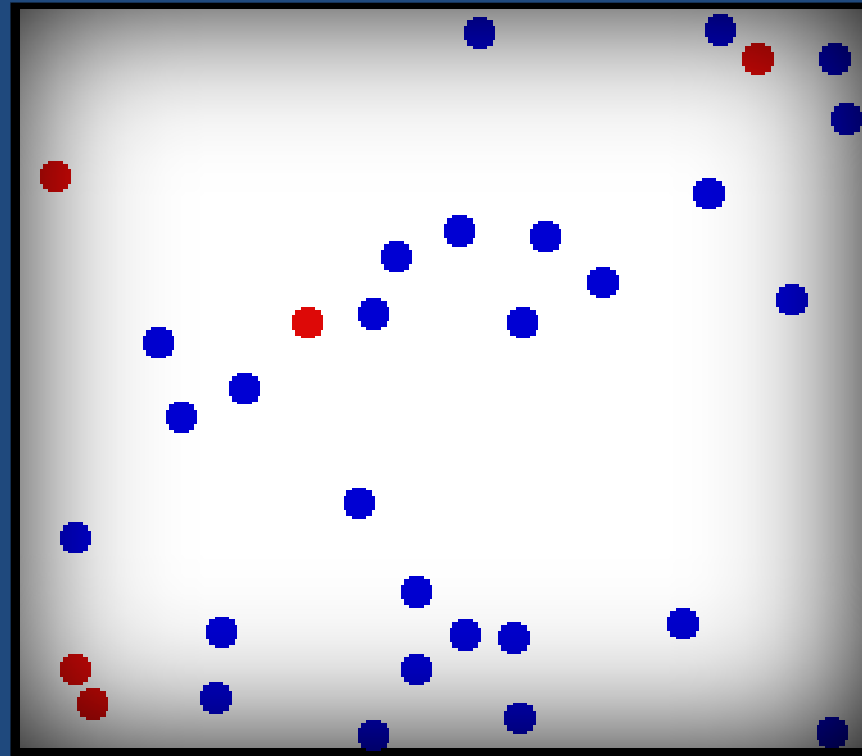
이렇게 무시한 양,
즉 우리가 거시적으로 측정할 수 있는 영역의 **사**이에 있는
이동하는 에너지energy in transit를 **열**heat이라고 합니다.

“이 원리에 따르면, 추진력을 얻는 데
열의 생산만으로는 충분하지 않다.
더 찬 곳이 있어야 한다는 말이다.
더 찬 곳이 없으면 열은 소용이 없을 것이다.”

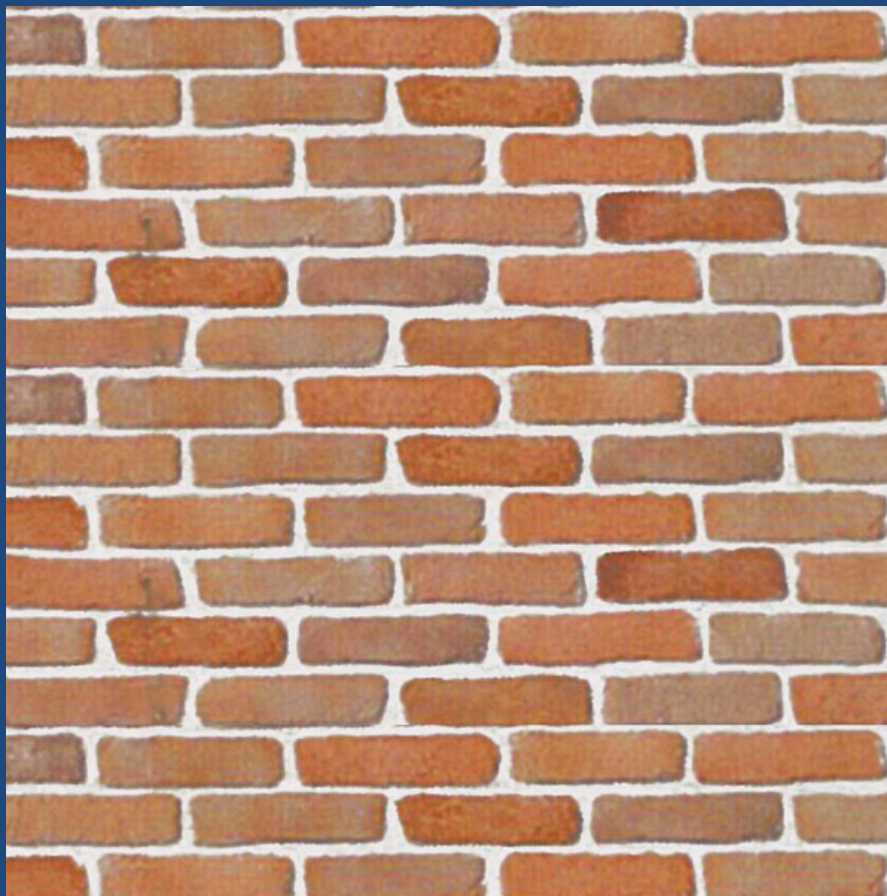
- 사디 카르노, “불의 동력에 관한 고찰” 중

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

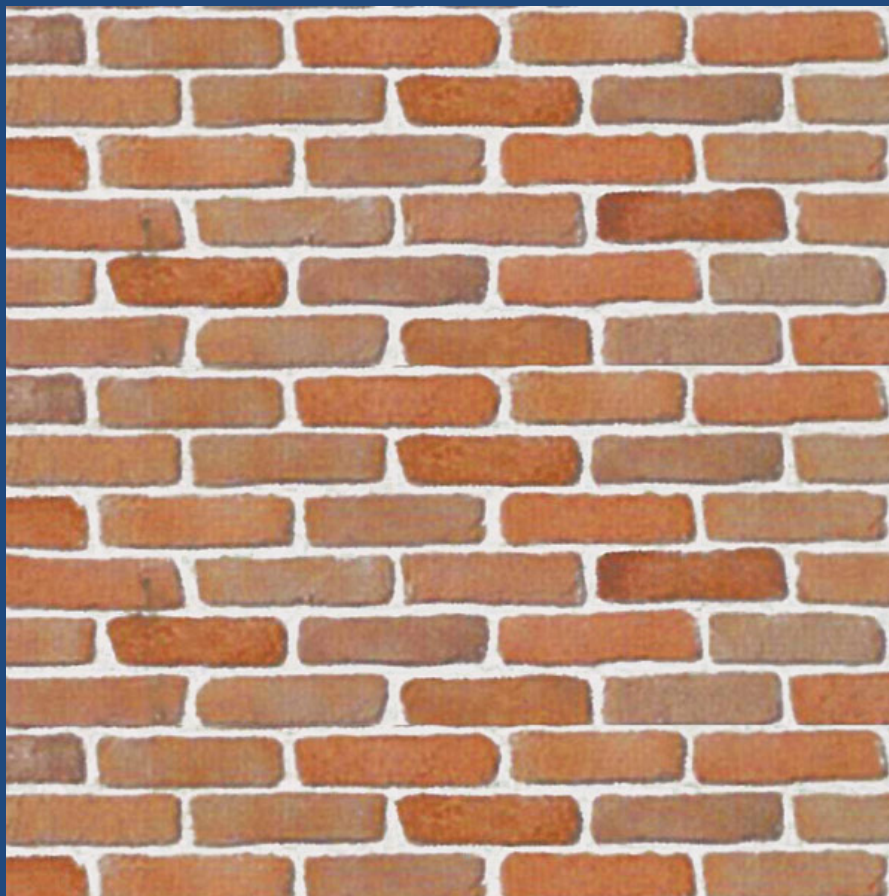
열역학thermodynamics은 열이 가지는 성질에 대한 물리학입니다.



이제 이러한 일상적인 시스템에 대해
우리가 거시적으로 **측정할 수 있는 양**은 대체 무엇인지
생각해 봅시다.



우리는 내부의 입자가 가진 에너지를 측정하지는 않을 것입니다.
단지 입자가 벽에 가하는 일만을 측정할 것입니다.



그런데 각 입자는 매 순간마다 벽에 서로 다른 힘을 가합니다.
입자 각각의 에너지를 측정하지 않는 이상
벽에 전달되는 힘을 알 수는 없는 것입니다.

이 때 우리는 열역학적 극한을 생각하게 됩니다.

입자들이 무작위적이라면,
단위면적당 전달하는 힘, 즉 압력은
주어진 부피를 가진 벽 내부에서
일정하게 됩니다.

우리는 일을 측정하기 위해 압력 p 와 부피 V 를 측정합니다.

또 우리는 열을 측정하기 위해
온도 T 라는 개념을 도입합니다.

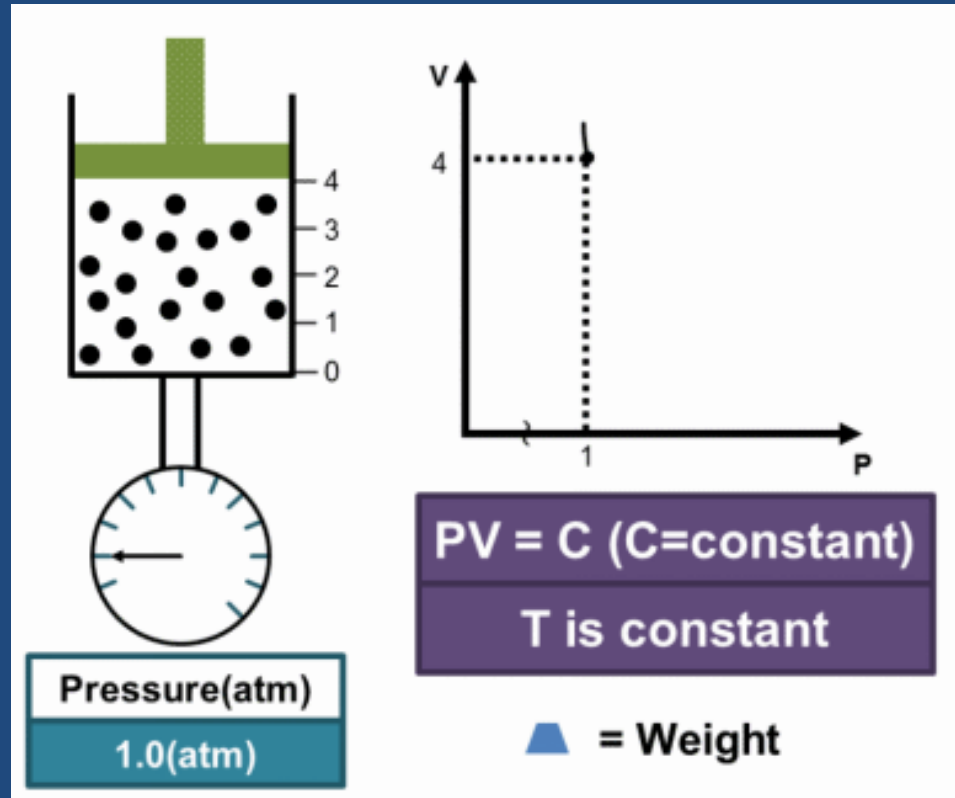
온도란 무엇인가에 대해서는 앞으로
다시 정의하게 될 것입니다.

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.

기체의 성질에 대한 경험적 법칙들



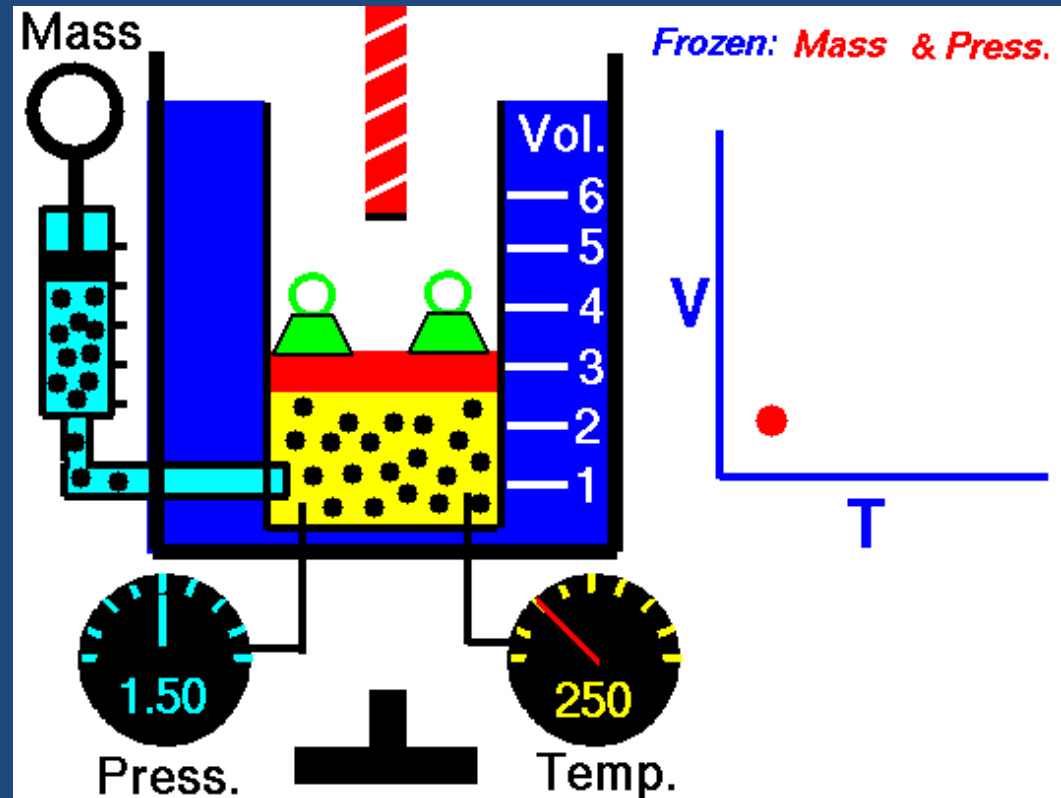
로버트 보일



보일의 법칙:
온도 및 양이 일정한 기체의 압력과 부피는 반비례한다.



자크 알렉상드르 세사르 샤를

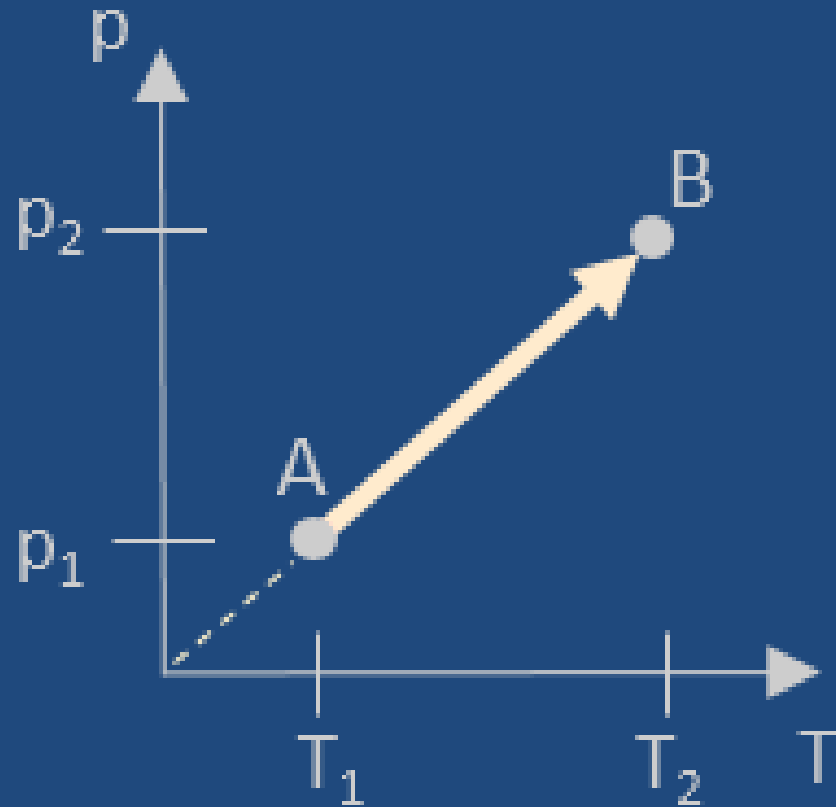


샤를의 법칙:

압력 및 양이 일정한 기체의 온도와 부피는 정비례한다.



조제프 루이 게이-뤼삭



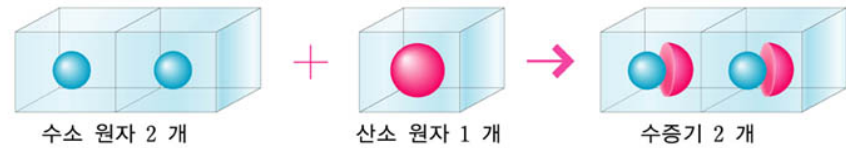
게이-뤼삭의 법칙:
부피 및 양이 일정한 기체의 압력과 온도는 정비례한다.



아메데오 아보가드로

▼수소와 산소가 반응하여 수증기를 만드는 반응 모형

그림 1: 수소 원자 2 개와 산소 원자 1 개가 반응하여 수증기 2 개를 만들 때



원자는 더 이상 나누어지지 않는다는 사실에 위배된다.

그림 2: 수증기의 산소 원자가 쪼개지지 않게 할 때



산소와 수소, 수증기의 부피비가 2 : 1 : 2라는 사실에 위배된다.

그림 3: 수소 분자 2 개와 산소 분자 1 개와 반응하여 수증기 2 개를 만들 때



분자 개념을 이용하면 모든 사실을 잘 설명할 수 있다.

아보가드로의 법칙:

온도, 부피 및 압력이 일정한 기체의 입자 수는 일정하다.

$$p \propto \frac{1}{V}$$

보일의 법칙:
온도 및 양이 일정한 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

$$V \propto T$$

샤를의 법칙:
압력 및 양이 일정한 기체의 온도와 부피는 정비례한다.

$$p \propto T$$

게이-뤼삭의 법칙:
부피 및 양이 일정한 기체의 압력과 온도는 정비례한다.

$$N = \textit{const}$$

아보가드로의 법칙:

온도, 부피 및 압력이 일정한 기체의 입자 수는 일정하다.

$$pV = NkT$$

이상기체 방정식 ideal gas equation

$k = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$: 볼츠만 상수

이러한 모든 이야기는 **열역학적 극한**에서만 정의됩니다.

즉, 입자들이 **무작위적**이라는 것을 가정한 것입니다.

왜 이것이 중요할까요?

또는 왜 이러한 가정이 실험과 잘 맞을까요?

이것을 설명하기 위해서는 확률의 개념을 도입해야 합니다.

각 입자들이 무작위적이라는 것은,
어떤 특정한 상태를 선호하지 않는다는 것,
즉 각 상태를 취할 확률이 같다는 것을 의미합니다.

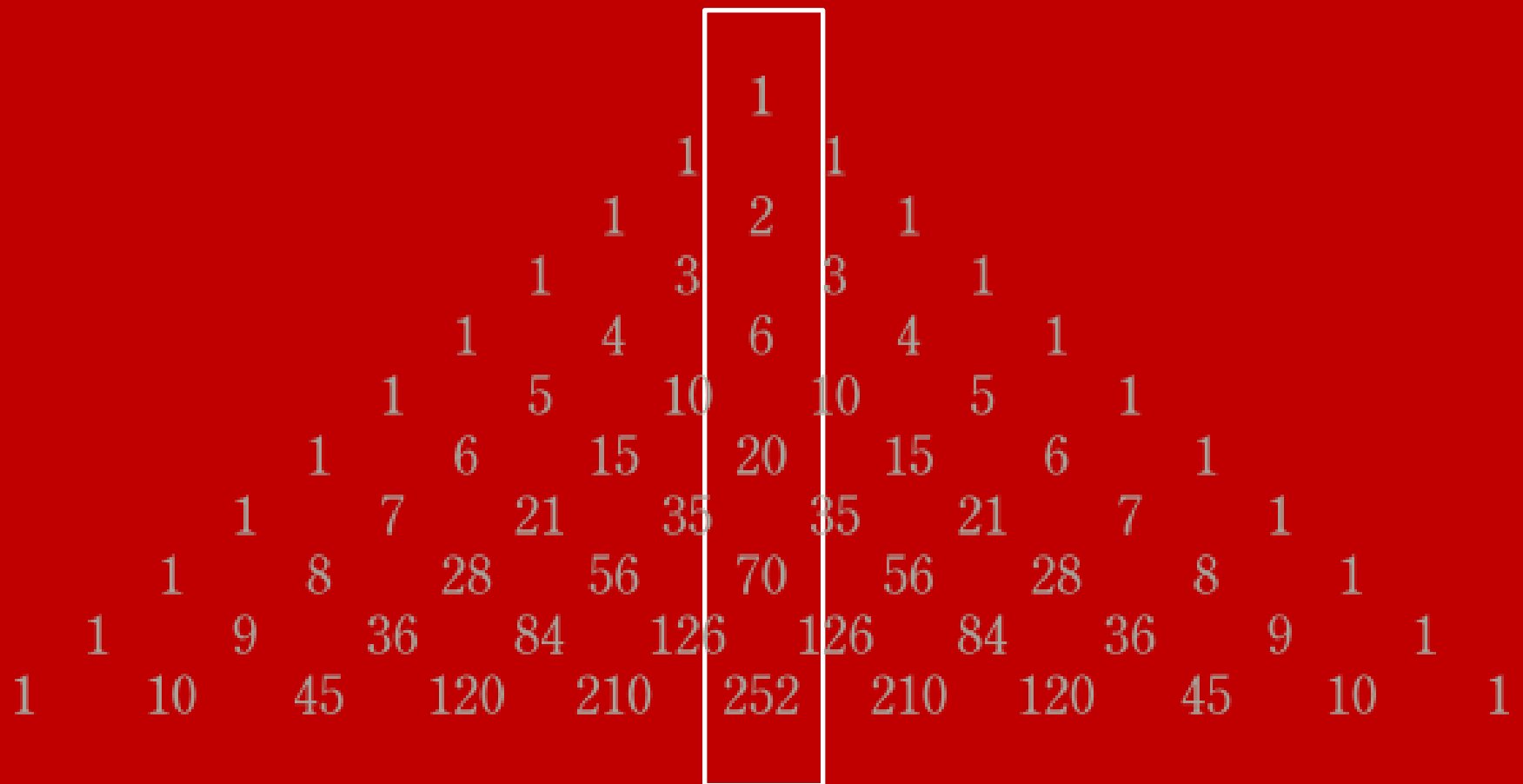
무작위적인 것이 가장 경우의 수가 많기 때문에,
확률도 가장 높아지게 됩니다.

								1											
								1		1									
							1		2		1								
						1		3		3		1							
					1		4		6		4		1						
				1		5		10		10		5		1					
			1		6		15		20		15		6		1				
		1		7		21		35		35		21		7		1			
	1		8		28		56		70		56		28		8		1		
		1		9		36		84		126		126		84		36		9	
1			10		45		120		210		252		210		120		45		10
	1																		

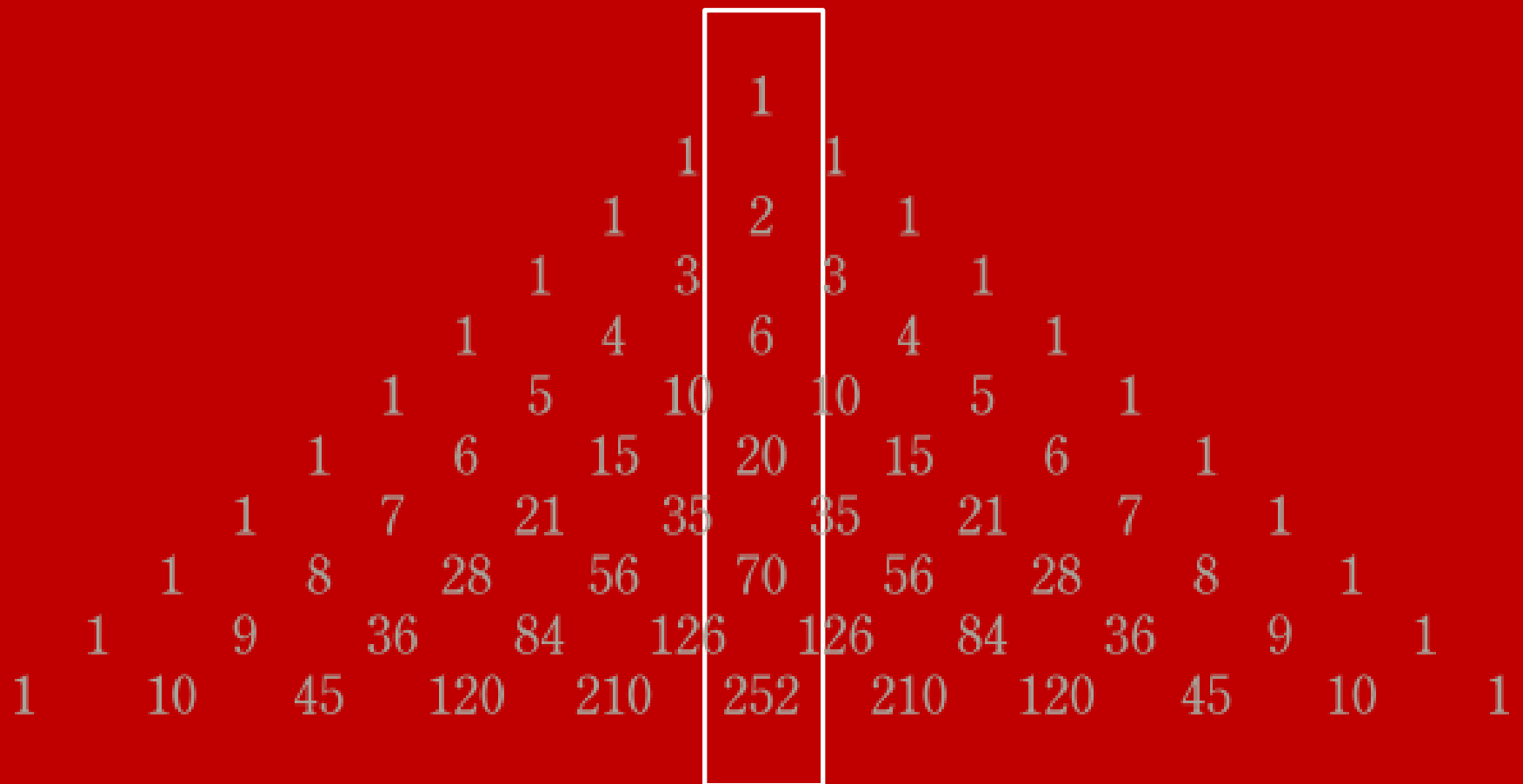
파스칼의 삼각형

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r! (n - r)!}$$

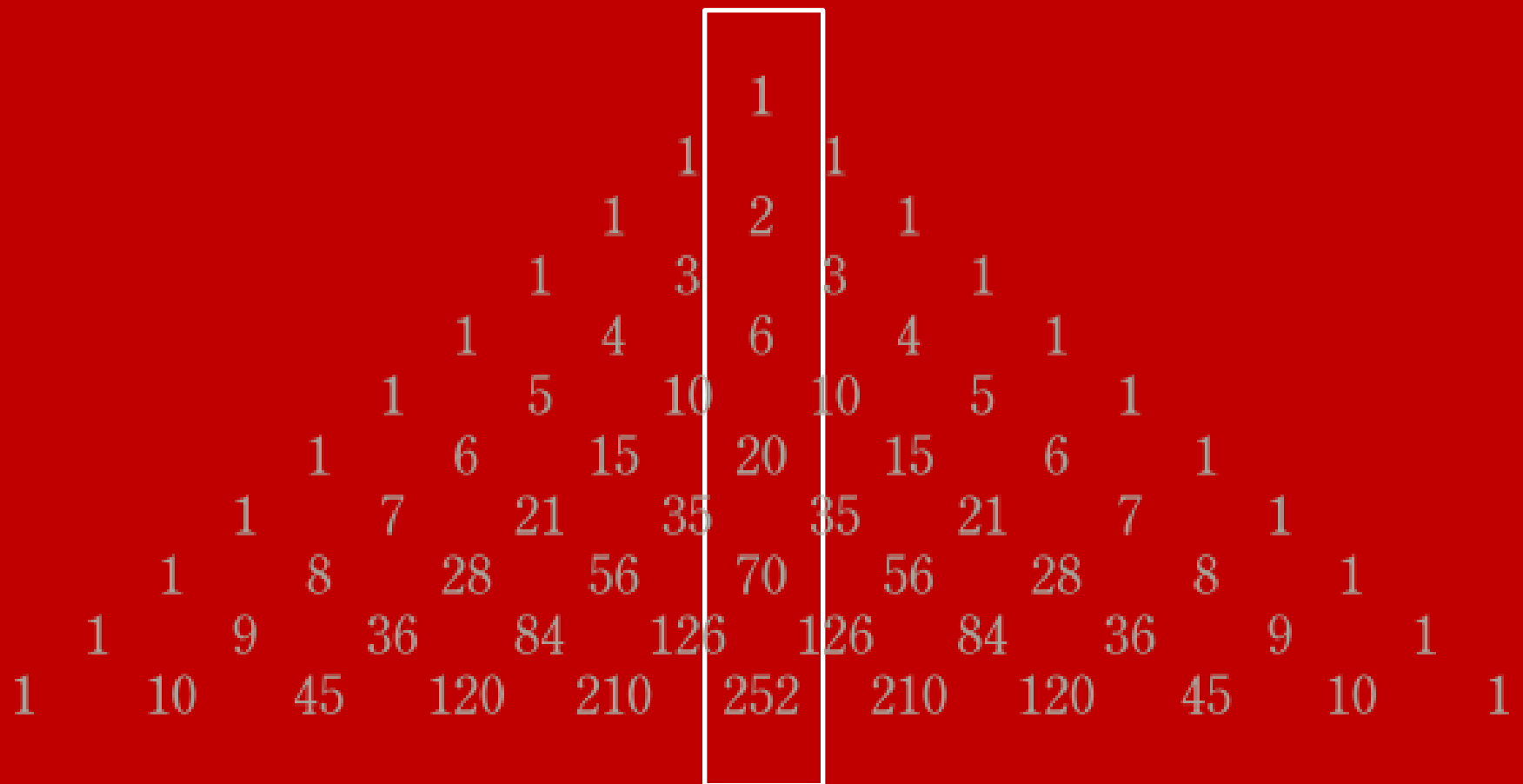
n 가지 가능성 중에서 r 개를
순서를 생각하지 않고 선택하는 경우의 수



n 개 중에서 하나를 선택하거나 선택하지 않을 확률이 $1/2$ 이라고 합시다.



그러면 절반만 선택하는 경우의 수가 가장 많습니다.
 n 이 커질 수록 그 확률은 상대적으로 더 커집니다.



따라서 우리는 n 이 아보가드로 수 정도가 되면
‘반드시’ 절반은 선택되고 절반은 선택되지 않는다는 것을
예측할 수 있게 됩니다.

우리는 실험적으로 확인한 관계들을 이론적으로 설명하기 위해
확률론적 설명을 시도할 것입니다.

각 입자들의 미시적 상태에 무작위성을 가정할 것입니다.
이것은 가장 확률이 높은 조합을 찾는다는 것과 같은 말입니다.

우리는 실험적으로 확인한 관계들을 이론적으로 설명하기 위해
확률론적 설명을 시도할 것입니다.

각 입자들의 미시적 상태에 무작위성을 가정할 것입니다.
이것은 가장 확률이 높은 조합을 찾는다는 것과 같은 말입니다.

우리가 나중에 살펴보겠지만,
이것은 엔트로피가 최대가 된다는 말과 같은 것입니다.

열역학에서는 측정 가능한 거시적 변수 사이의 관계를 다루며,
통계역학에서는 미시적 가정(양자역학)을 사용해
열역학에 관한 확률론적 기초를 부여하게 됩니다.

큰 그림: 통계역학에서 열역학으로

엔트로피 최대 원리 + 구속조건
constraints/ensembles

큰 그림: 통계역학에서 열역학으로

엔트로피 최대 원리 + 구속조건
constraints/ensembles



볼츠만 인자 $p_j \propto e^{-E_j/kT}$
Boltzmann factor

큰 그림: 통계역학에서 열역학으로

엔트로피 최대 원리 + 구속조건
constraints/ensembles



볼츠만 인자 $p_j \propto e^{-E_j/kT}$
Boltzmann factor



분배 함수 $Z = \sum p_j = e^{-F/kT}$
partition function

큰 그림: 통계역학에서 열역학으로

엔트로피 최대 원리 + 구속조건
constraints/ensembles



볼츠만 인자 $p_j \propto e^{-E_j/kT}$
Boltzmann factor



분배 함수 $Z = \sum p_j = e^{-F/kT}$
partition function



에너지 함수 $F = E - ST$
energy function

열역학은 모든 것에 대해 조금씩은 언급하지만
어떤 것에 대해서도 모든 것을 알려주지는 않는다.

- 마틴 골드슈타인 및 잉거 골드슈타인, “냉동기와 우주” 중

감사합니다