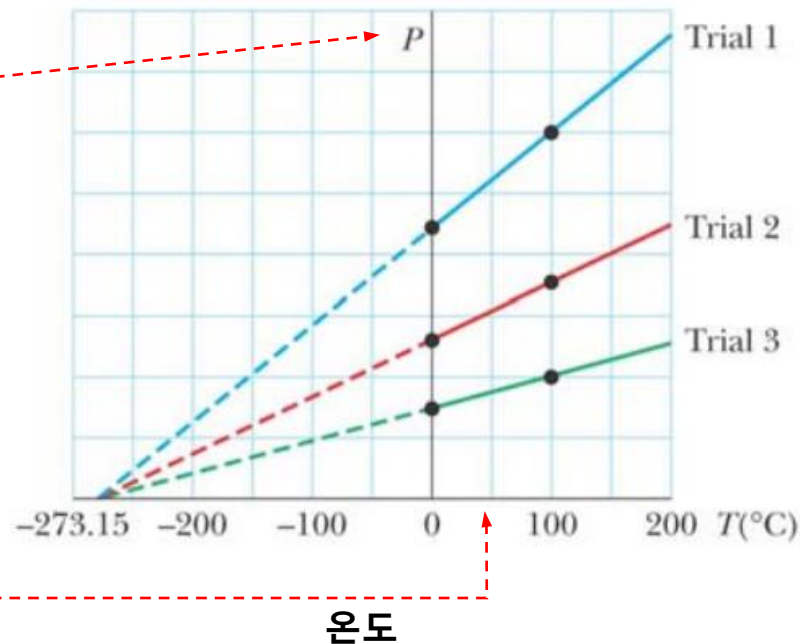
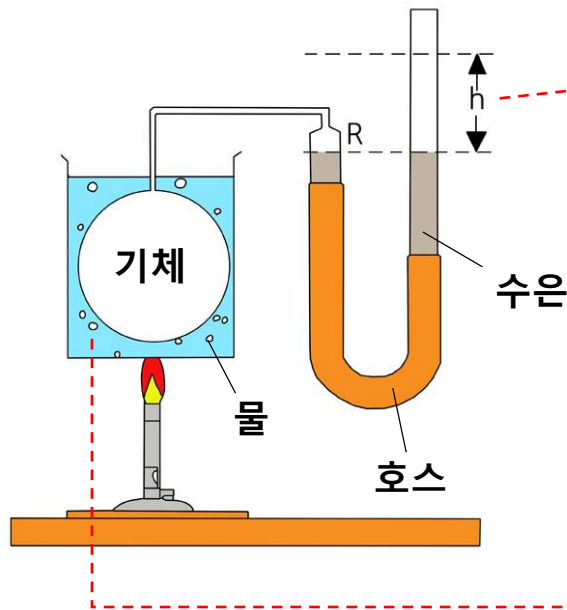


우도

- 정적 기체 온도계 (定積氣體溫度計, constant volume gas thermometer)
 - 헬륨, 아르곤 등의 기체를 담은 플라스크를 물 속에 넣은 다음 열을 가함
 - 기체가 팽창하면 압력이 커져 수은의 높이 차 h 가 생김
 - 3종류 기체(Trial1, Trial2, Trial3)를 사용하고 이때 기체의 섭씨 온도와 수은의 높이 차 그래프 (오른쪽 그림)
 - 기체의 압력 P 는 수은의 높이 차이 h 와 비례



영하의 온도에서 왼쪽 그림과 같은 실험은 수행할 수 없음

실험결과를 연장하면 한 점에서 만남

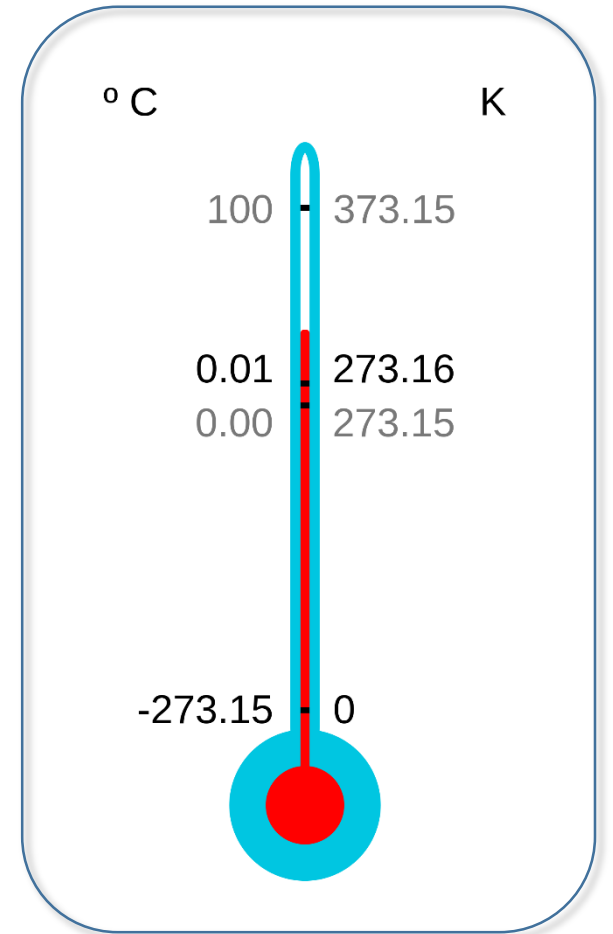
이 점은 **-273.15°C 온도**이며 이때 **기체의 압력은 $P = 0$**

- 절대온도 (絶對溫度, absolute temperature)
 - 앞에서 얻은 결과를 다시 언급
 - 기체의 압력 $P = 0$ 이면 이때 기체의 부피 $V = 0$
 - 기체의 부피가 0이하는 될 수 없으니 이때 온도를 절대온도 0K
 - 온도는 **절대온도 0K가 가장 낮은 온도**

- 섭씨온도(°C)와 켈빈온도(K) 변환

$$T_K (K) = T_C (^\circ C) + 273.15$$

- **가장 낮은 온도는 0K=-273.15°C**



- 온도계의 측정범위

온도 측정 원리	측정 범위 (°C)
액체의 팽창 이용	- 200 ~ 600
고체의 팽창 이용	- 100 ~ 600
기체의 팽창 이용	- 200 ~ 600
열기전력 이용	- 250 ~ 1,600
전기저항 변화 이용	- 200 ~ 600
복사의 강도 이용	50 ~ 3,000
색온도 이용	700 ~ 3,000

- 기체의 액화 (液化, liquefaction)

- 드라이 아이스 -79°C

- 질소 -195.79°C (77K)

- 냉매

- 산소 -183°C (90K)

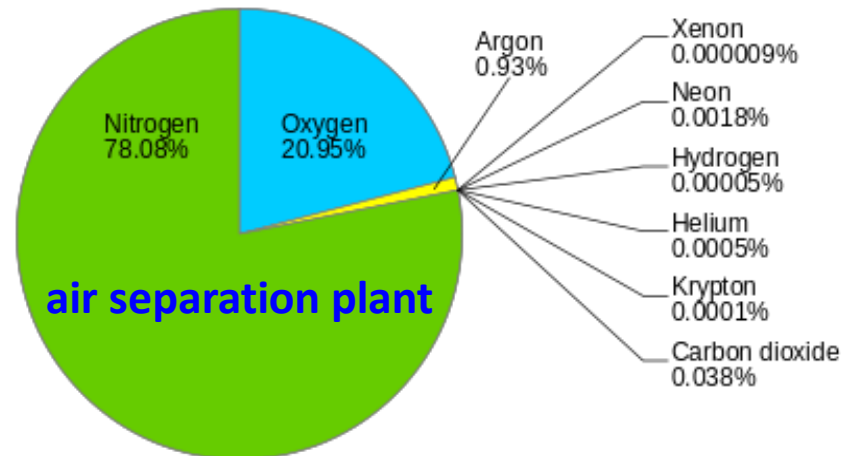
- 산업용, 의학용

- 수소 -252.87°C (20.28K)

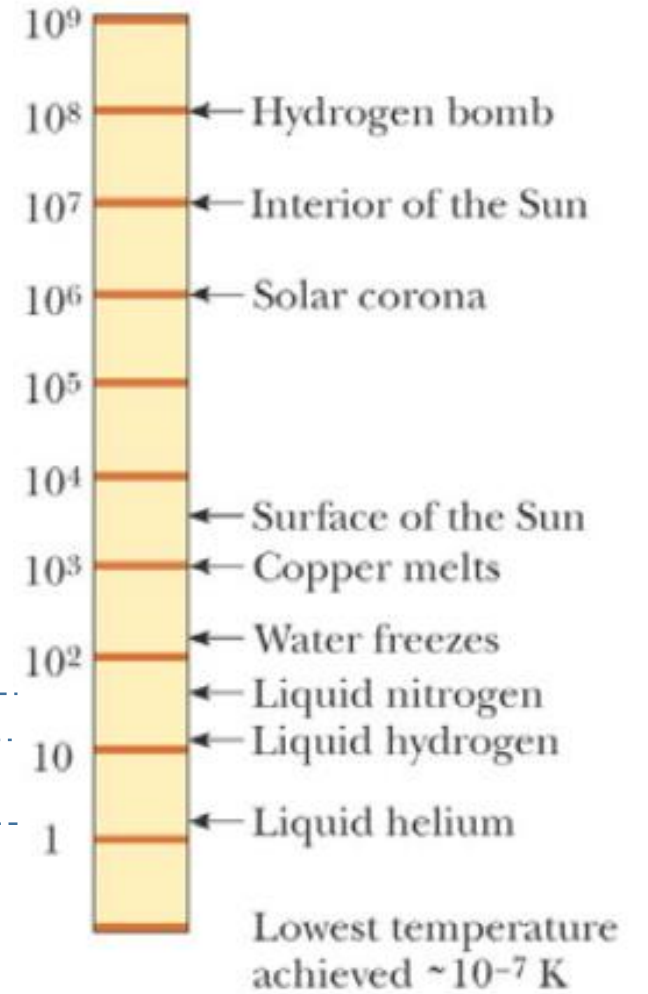
- 연료

- 헬륨 -268.93°C (4.22K)

- 초전도체, 조셉슨 소자 동작에 필요한 냉매



Temperature (K)



- 파씨 온도 (Fahrenheit temperature)

- °F로 온도 표현
- 물의 어는 온도 : 32°F
- 물의 끓는 온도 : 212°F
- 이 두 온도 차이 : 180°F

- 섭씨 온도 (Celcius temperature)

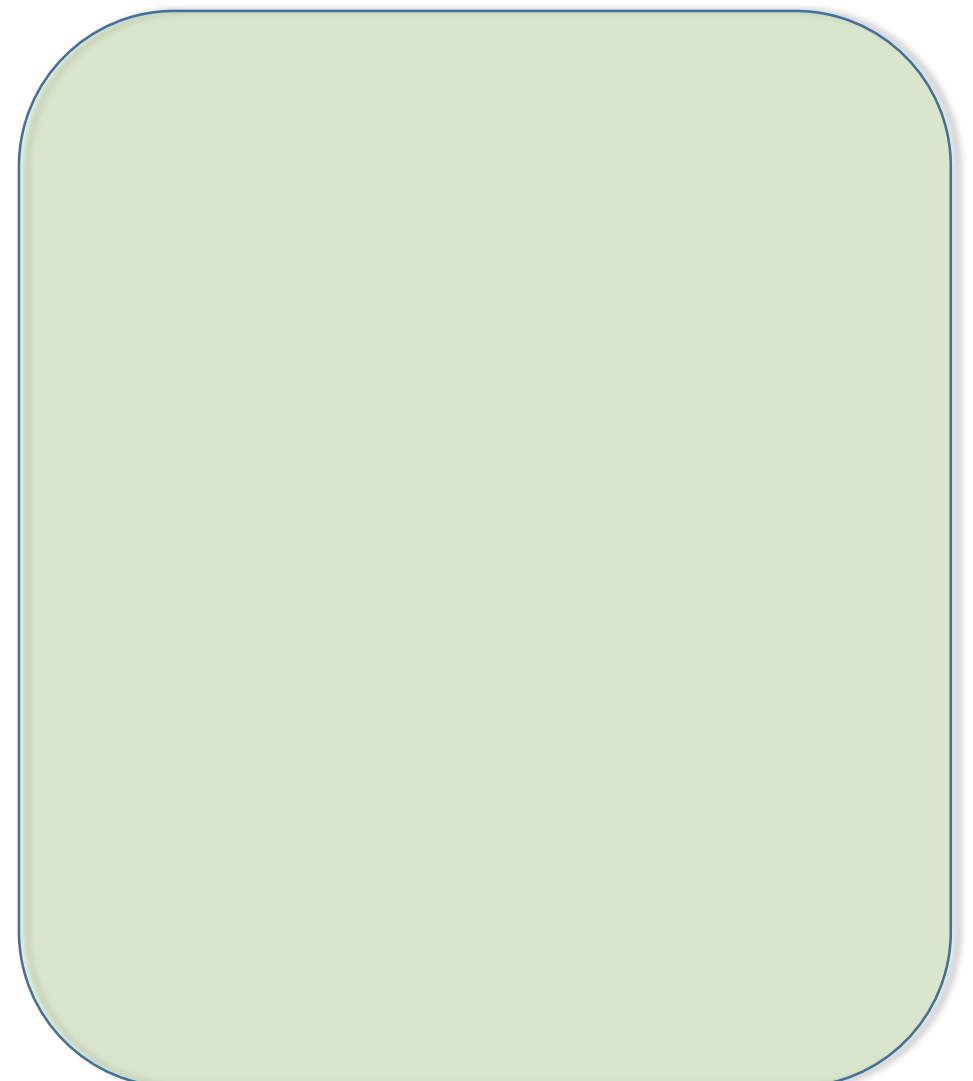
- °C로 온도 표현
- 물의 어는 온도 : 0°C
- 물의 끓는 온도 : 100°C
- 이 두 온도 차이 : 100°C

$\frac{9}{5}$ or $\frac{5}{9}$
스케일 사용
 $\frac{9}{5}$ or $\frac{5}{9}$

- 켈빈 온도 (Kelvin temperature)

- K로 온도 표현
- 물의 어는 온도 : 273.15K
- 물의 끓는 온도 : 373.15K
- 이 두 온도 차이 : 100K

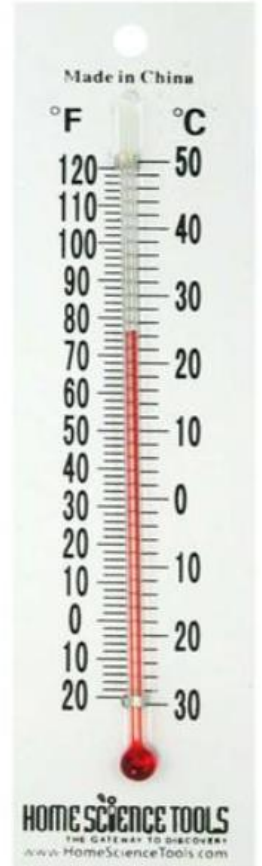
같은 스케일



- 온도계 (溫度計, thermometer)
 - 온도를 측정하는데 사용하는 기구

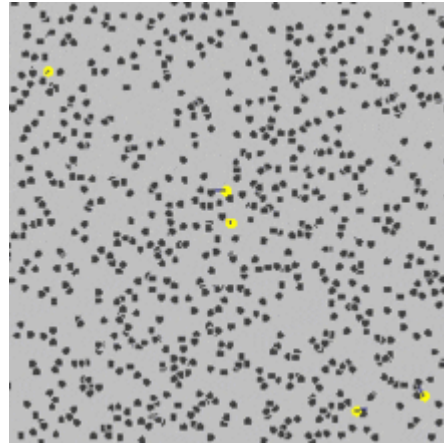
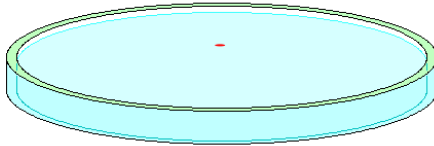
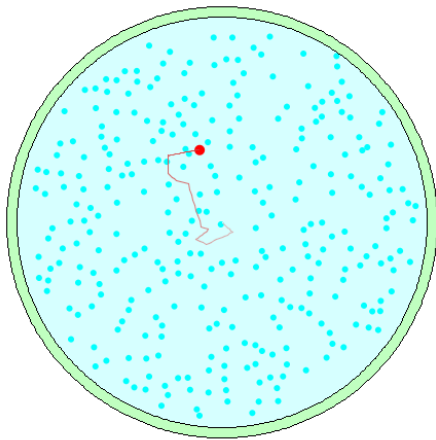
- 종류

- 열팽창 온도계
 - 수은 온도계, 알코올 온도계, 바이메탈 온도계
- 저항 온도계
 - 백금선, 니켈선, 동선, 서미스터
- 열방사 온도계
 - 물체의 표면온도를 비접촉으로 측정



- 브라운 운동 (Brownian motion)

- 1827년 영국의 식물학자 로버트 브라운(Robert Brown)이 발견
- 액체나 기체 속에서 미소입자들이 불규칙하게 운동하는 현상
 - 상온에서 공기 중 질소 분자(속력 약 500 m/s)는 다른 분자들과 초당 약 50억 회의 충돌
 - 물에 떠 있는 꽃가루 입자의 매우 불규칙한 운동
 - 공기 중의 연기 입자의 운동



- 브라운운동 가상실험

- <http://sciencej1.cafe24.com/html5/brownmotion/brown.html>

- 기체의 운동

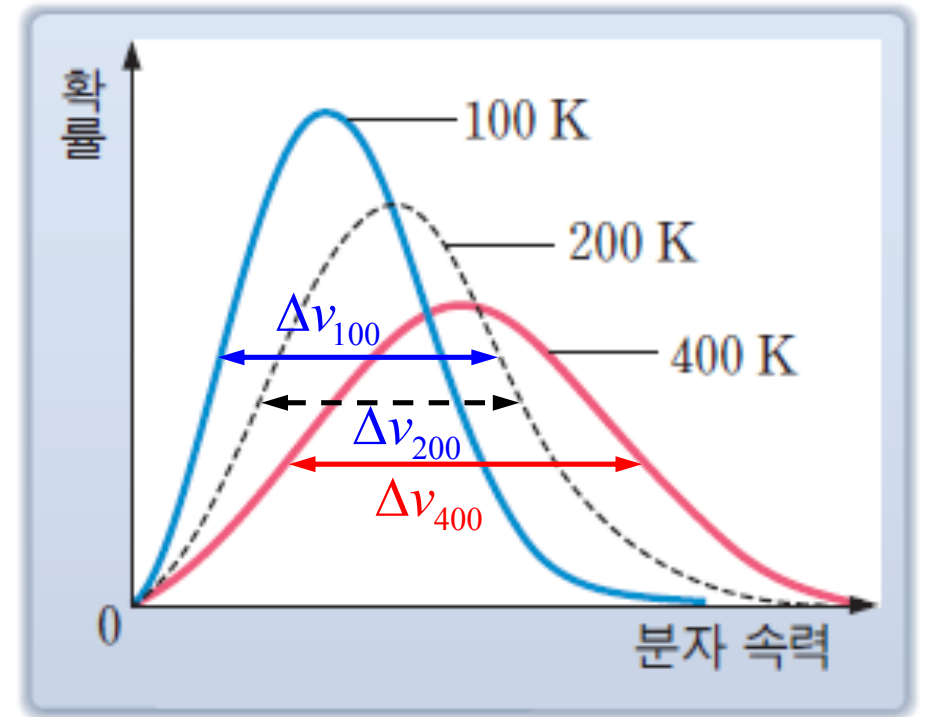
- 분자 브라운 운동에서 분자 속력은 온도에 따라 달라짐
- 온도가 높을수록 분자의 속도 범위 Δv 가 넓어짐

$$\Delta v = A\sqrt{T}$$

- T 는 켈빈 온도, A 는 상수

- 옆의 그림 결과

$$\begin{cases} \Delta v_{100} = A\sqrt{100} = 10A \\ \Delta v_{200} = A\sqrt{200} = 10\sqrt{2}A \\ \Delta v_{400} = A\sqrt{400} = 20A \end{cases}$$



맥스웰 · 볼츠만 분포 함수에 의한 공기 분자의 속력

- 크룩 라디오미터 (Crookes radiometer)

- 빛의 압력 효과

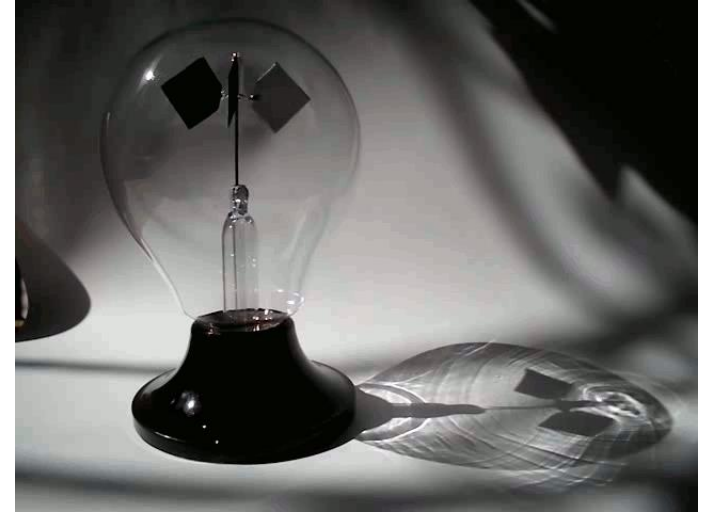
- 검은 면 : 빛을 흡수
 - 흰 면 : 빛을 반사
 - 빛의 압력은 흰 면이 더 큼
 - 흰 면에 회전력이 가해짐

- 열 효과

- 검은 면 : 빛을 흡수하여 주변 온도 높음
 - 흰 면 : 빛을 덜 흡수하여 주변 온도 상대적으로 낮음
 - 검은 면 주변의 기체 온도가 높아 날개에 회전력이 가해짐

- 라디오미터 속에 낮은 기압의 기체

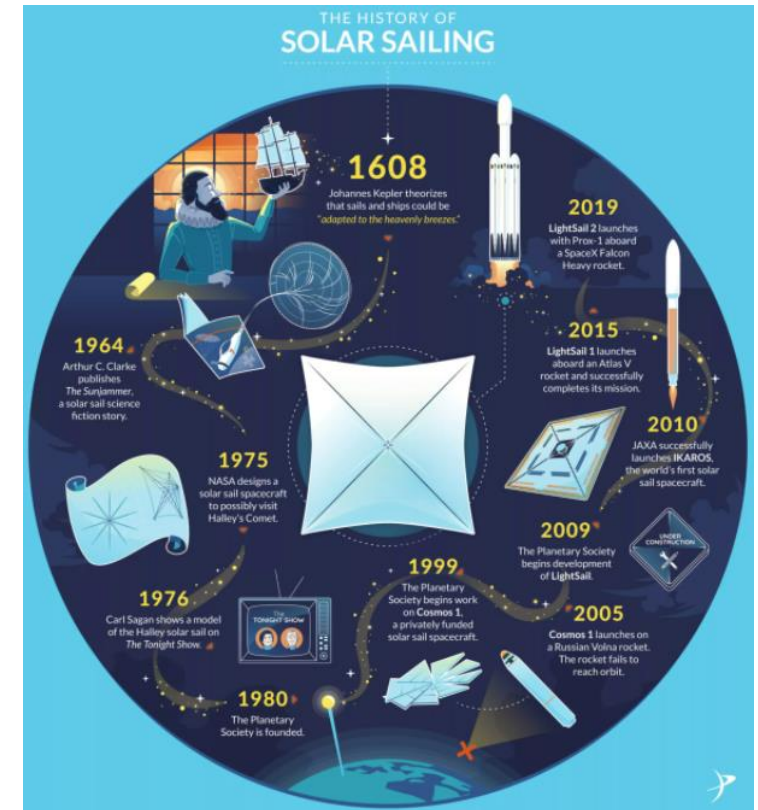
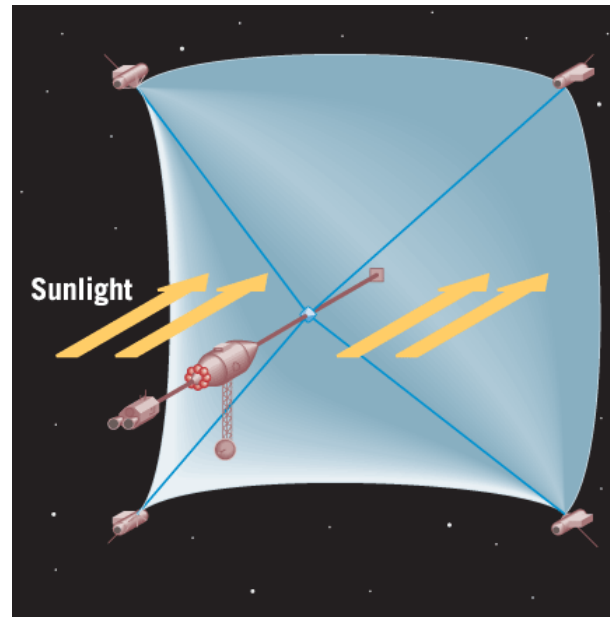
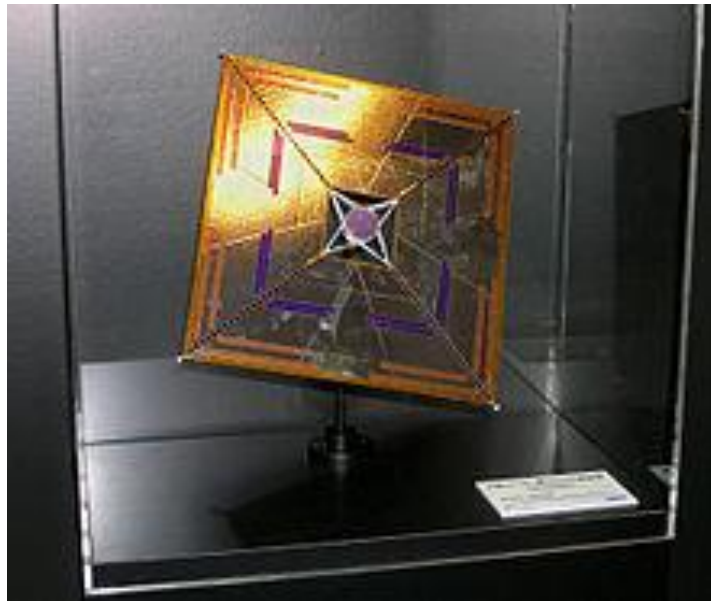
- 열효과와 광자효과가 서로 반대방향으로 회전력을 줌
 - 기압이 낮으면 열효과가 커져서 검은 면에 회전력이 가해짐
 - 이때 기압은 10^{-2} torr 근방에서 잘 동작 (1기압은 760 torr)
 - 10^{-6} torr에서는 열 효과가 거의 없어지므로 광자 효과가 나타나 흰 면에 회전력이 가해짐



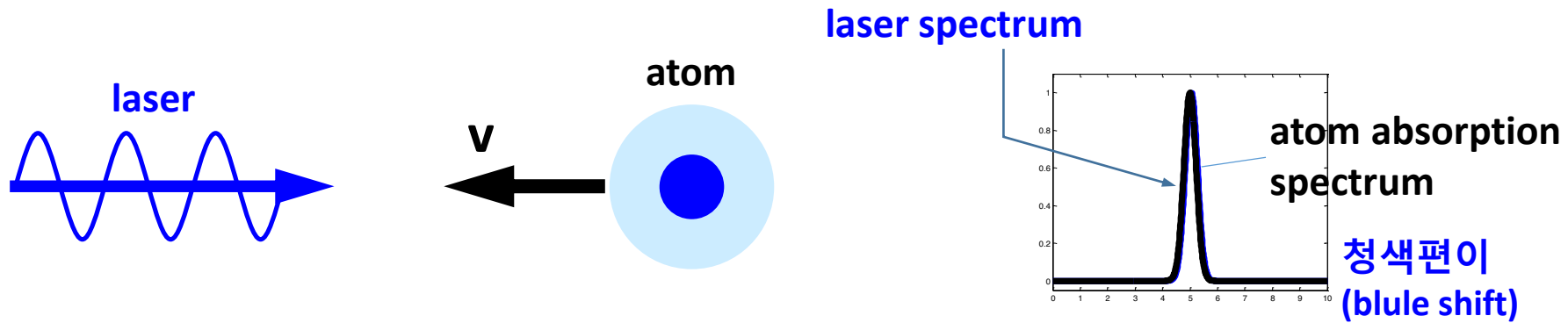
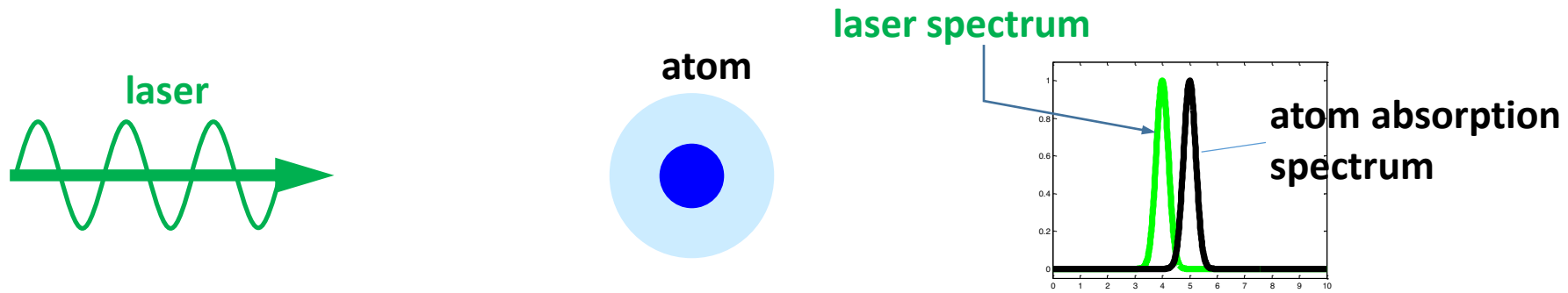
- 크룩 라디오미터 동영상
 - 왼쪽 영상 : 보통 크룩 라디오미터
 - 오른쪽 영상
 - 왼쪽은 대기압에서 라디오미터
 - 오른쪽은 그냥 라디오미터



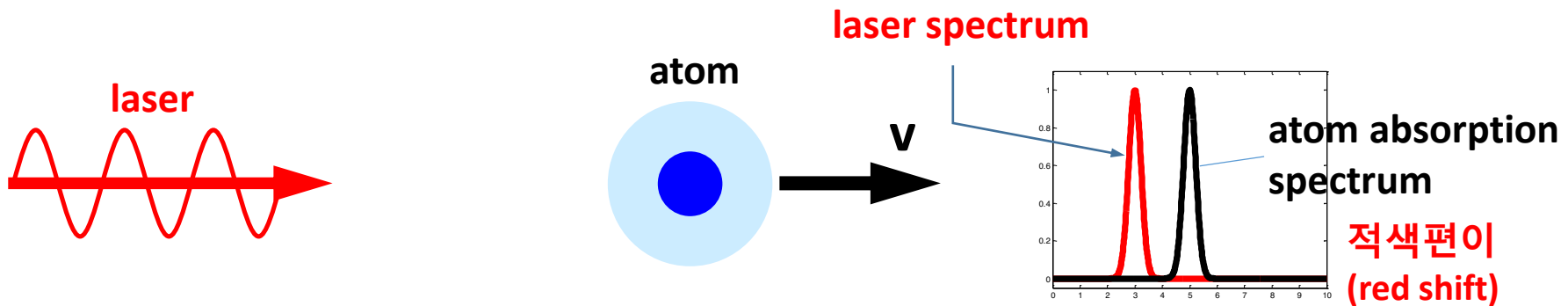
- 태양 항해 (solar sailing)
 - 우주 공간은 거의 진공(眞空, vacuum) → 빛의 압력 효과
 - 돛은 밝은 색
- IKAROS
 - 2010년 일본은 금성탐사에 채택한 태양항해 탐사선
 - 세계 최초로 우주 공간에서 태양광을 동력원으로 태양 범선을 성공



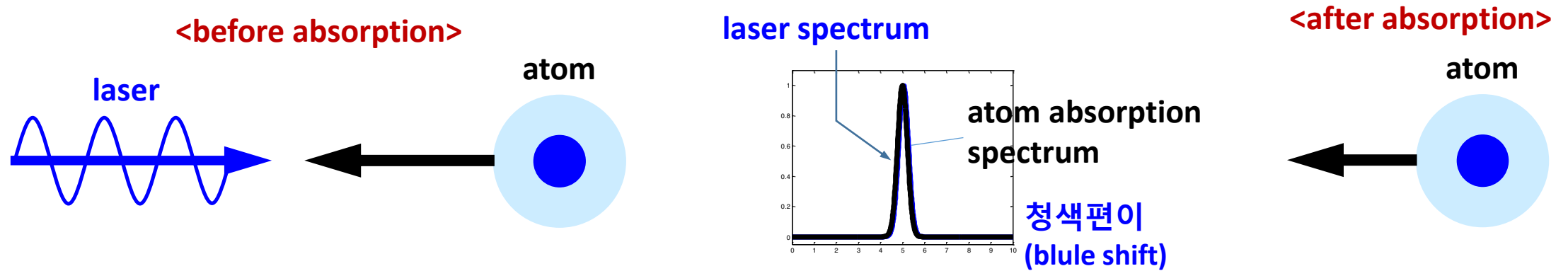
- 도플러 효과 (doppler effect)



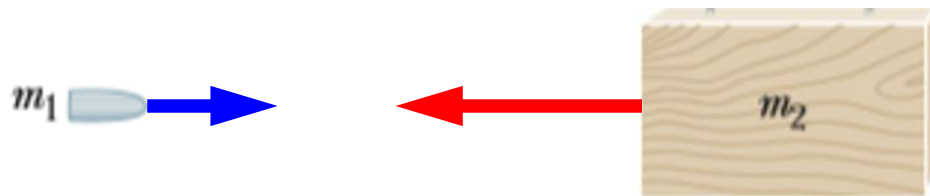
원자가 레이저
빛을 흡수한 후
속력이 느려짐



- 빛의 흡수에 의한 원자의 속력 감소



<충돌하기 전>



반대 방향으로 움직이는 나무토막과 총알

<충돌한 후>



총알이 나무토막에 박힌 후
나무토막의 속력은 감소

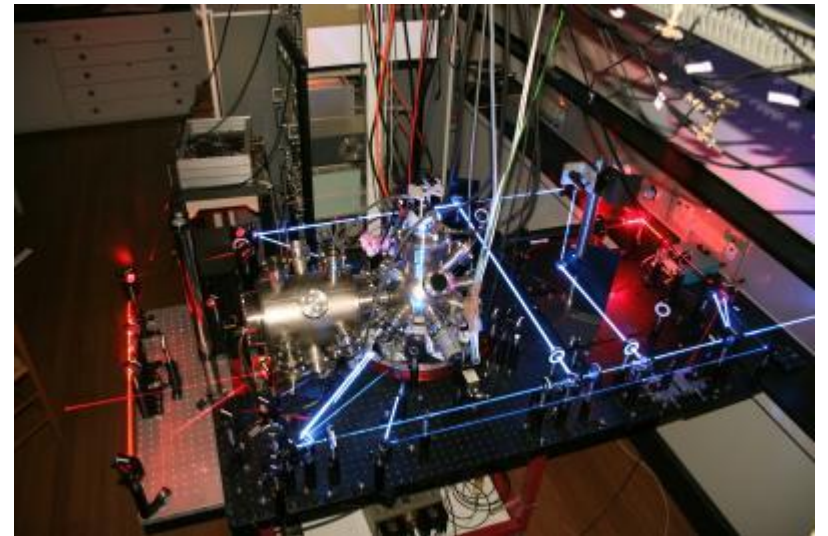
- 액체 헬륨으로 냉각

- 헬륨을 기화(액체에서 기체로 변환)시키면 원자들이 응축되어 액체나 고체 덩어리

- 레이저 냉각

- 원자들이 저온에서 덩어리 되는 현상이 없음
 - 원자의 속력을 늦춰 원자의 성질 및 그 내부 구조를 관찰

- 상온에서 기체 상태의 원자 평균 속력 : 1100 m/s
 - 액체 헬륨 온도의 기체 상태 원자의 평균 속력 : 130 m/s
 - 가장 느린 원자의 평균 속력 : 13.5 cm/s
 - 1997년 노벨 물리학상 수상



- 레이저 냉각 (laser cooling or trapping)

- MOT (magneto-optical trapping)

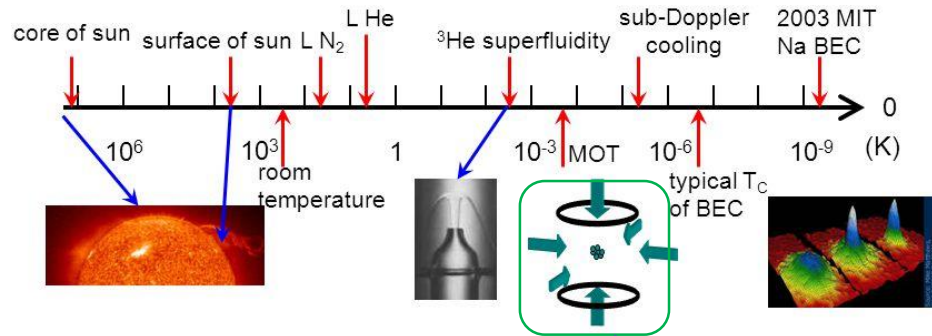
- $1\ \mu\text{K}$
 - 자기장과 6개의 레이저

- BEC (Bose-Einstein condensation)

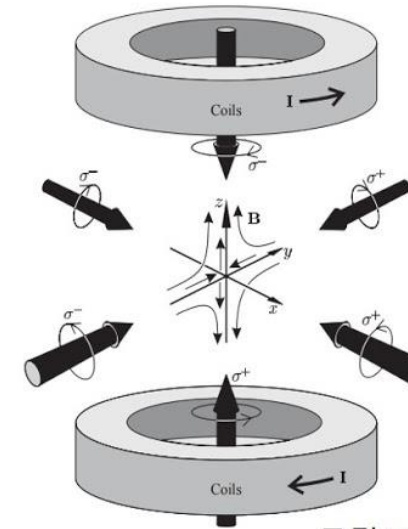
- $600\ \text{nK}$ 이하 온도

Temperature Landmark

To appreciate something is a good motivation to learn something!



Laser cooling and trapping of atom is a breakthrough to the exploration of the ultracold world. A 12 orders of magnitude of exploration toward absolute zero temperature from room temperature !!!



그림(b)

