



1주차 우주의 중심은 있는가?

3교시 시간의 상대성

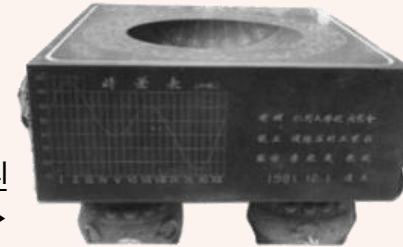
### 시간과 질량

1. 시간의 정의는?
2. 질량에 대한 정의는?
3. 새로운 표준은 어떤 기준으로 정의되는가?

# 1. 시간과 일상생활

- ✎ 인류가 정확한 시간을 가지게 된 것은 그리 오래되지 않았다.
- ✎ 시간은 일정하게 운동을 반복하는 현상을 이용하여 잴 수 있다.  
(추의 운동, 달의 운동, 지구의 공전, 맥박 등)

인하대 교정에 설치된  
해시계인 양부일구 ▶



시간을 시, 분, 초로 구분한 것은 언제부터인가?



시간을 시, 분, 초로 구분한 것은 고대 바빌로니아로 거슬러 올라갑니다.  
지구의 자전과 공전을 바탕으로 평균 태양일의  $1/(24 \times 60 \times 60)$ 로 1초를 정의하였습니다.



1967년에 1초를 특수한 원자의 진동에 바탕을 두어 다시 정의하였다.

“1초는 세슘(Se) 133 원자의 바닥상태의 두 초미세준위 사이의 전이에 대응하는 복사 (빛의 방출)의 9,192,631.770 주기로 정의한다.”

즉, 세슘 133에서 발생하는 빛의 진동 주기를 가지고 1초를 정의한다.  
세슘 133으로 제작한 시계를 ( ) (atomic clock)라 부른다.

# 1. 시간과 일상생활

## ✎ 시간과 관련된 다양한 현상

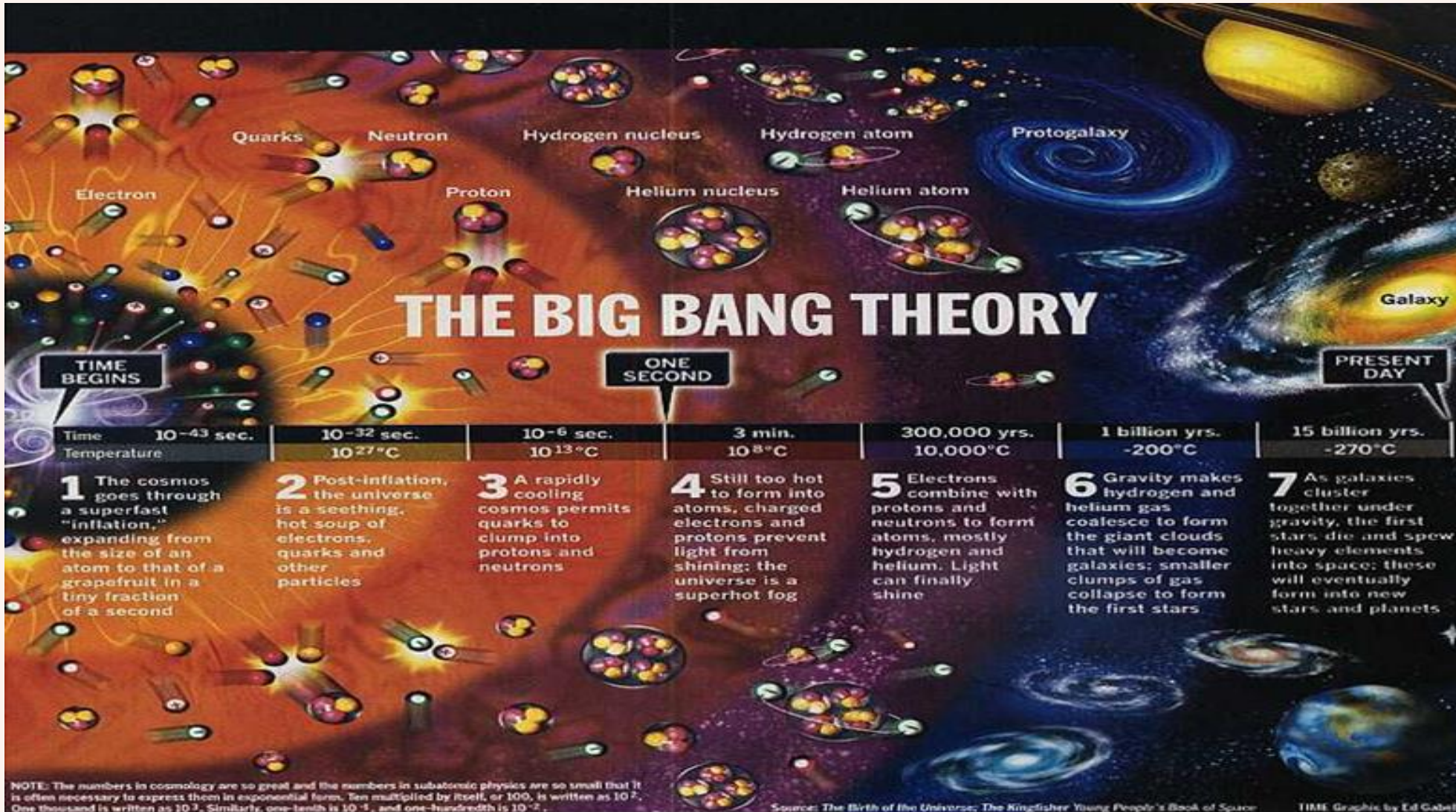
현상	시간
대폭발(big bang) 이후의 시간	$5 \times 10^{17}$ 초 (138억년)
지구의 나이	$1.5 \times 10^{17}$ 초 (50억년)
태양이 은하의 중심을 도는 시간	$8 \times 10^{15}$ 초
인류의 탄생	$6 \times 10^{13}$ 초
플루토늄의 반감기	$8 \times 10^{11}$ 초
사람의 수명	$2 \times 10^9$ 초
지구의 공전주기(1년)	$3 \times 10^7$ 초
지구의 자전주기(1일)	$9 \times 10^4$ 초
대륙간 탄도탄의 비행시간	$1 \times 10^3$ 초

현상	시간
사람의 심장박동	1초
사람의 신경계의 반응시간	$1 \times 10^{-1}$ 초
들을수있는가장높은소리의주기	$5 \times 10^{-5}$ 초
AM전파의 주기	$1 \times 10^{-6}$ 초
빠른 계산기로 두 수를 더하는 시간	$1 \times 10^{-9}$ 초
분자의 회전 주기	$1 \times 10^{-12}$ 초
실험실에서 만든 가장 짧은 빛 펄스	$1 \times 10^{-15}$ 초
중성파이온의 반감기	$6 \times 10^{-17}$ 초
빛이 양성자를 가로지르는 시간	$7 \times 10^{-24}$ 초
대폭발 후 물리법칙이 성립한 최초의 시각	$10^{-43}$ 초



# 대폭발(big bang)과 시간

물리학의 ( ) (standard model)에 의한 대폭발 이후 우주의 진화 모습 상상도



### 예제 1)

“정오는 해가 머리 위에 떠 있을 때의 시간이다.”는 맞는 진술일까요?

### 풀이)

지축이 기울어져 있지 않으면 정오에 해는 적도에서 관찰할 때만 머리 위에 떠 있다. 지축이 23.5도 기울어져 있기 때문에 일년 중 언젠가 정오에 머리 위에서 해를 볼 수 있는 관측자의 범위는 북위 23.5도에서 남위 23.5도까지 확대된다.

북회귀선과 남회귀선은 위도 23.5도인 선을 뜻하는데 6월 하지 정오에 해가 머리 위에 떠 있는 곳이 북회귀선이고, 12월 동지에 해가 머리 위에 떠 있는 곳이 남회귀선이다.

### < 지축이 기울어지지 않은 지구 >

- 왼쪽의 그림은 지축이 기울어지지 않은 가상의 지구의 그림이다.
- 북회귀선에 있는 사람이 정오에 해를 보기 위해서 남쪽을 바라보아야 한다.
- 적도 위의 관측자는 머리 수직 위에서 해를 볼 수 있다.
- 모든 관측자에게 정오이지만, 적도 위의 관측자만 머리 수직 위에서 해를 볼 수 있다.





### < 지축이 기울어진 지구 >

- 오른쪽 그림은 12월에 해가 적도에서 가장 멀리 떨어져 있을 때 남태평양에서 정오를 나타내는 실제 지구의 모습이다.
- 남회귀선에 있는 관측자는 정오에 머리 수직 위에서 해를 볼 수 있다.
- 적도 위의 관측자는 해를 보기 위해서 남쪽을 바라보아야 한다.
- 반면에 북반구 또는 북회귀선 위에 있는 관측자는 해를 보기 위해서 상당히 남쪽을 바라보아야 한다.
- 남회귀선 이남의 남반구의 관측자는 지구가 기울어지지 않았을 경우보다 더 높이 있는 해를 바라본다

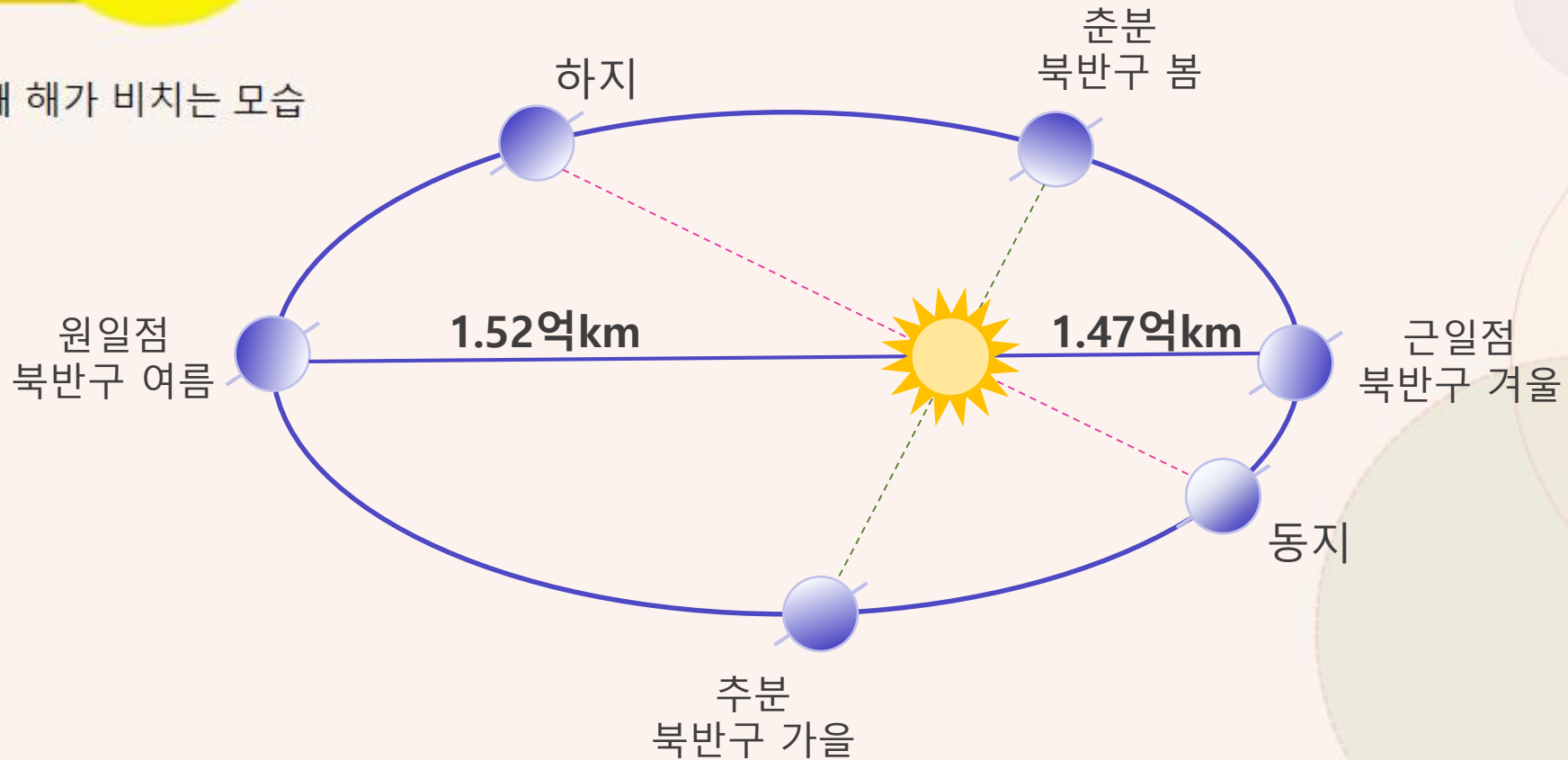


→ 이것이 계절이 생기는 원인인데, 이 그림에서 남반구는 여름이고 북반구는 겨울이다.  
우리나라는 위도가 높기 때문에 어느 누구도 일년 내내 정오에 머리 수직 위로 해를 볼 수 없다.

# 사계절이 있는 이유



남반구가 여름일 때 해가 비치는 모습



지구의 타원궤도, 근일점, 원일점, 계절



### 예제 2)

광년(light-year)은 시간을 나타내는 단위인가?

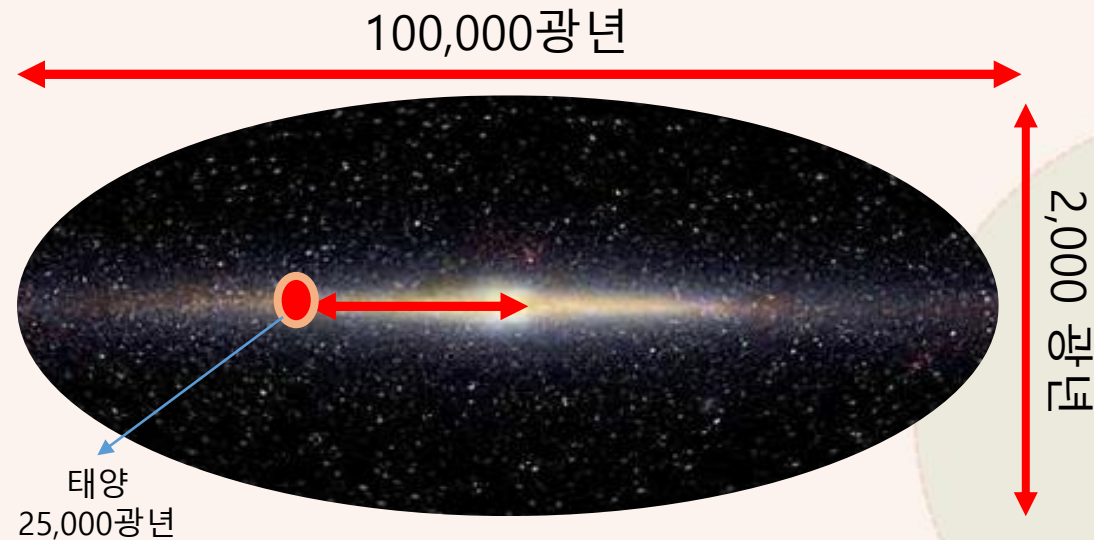
### 풀이)

광년은 빛이 1년 동안 여행한 거리를 의미하는 **길이의 단위**이다.  
따라서 광년은 시간의 단위가 아니다.

1광년 = 약  $9.45 \times 10^{15}\text{m}$



은하의 모습



우리 은하인 은하수(Milky Way Galaxy)의 모습

## 2. 질량과 일상생활

- ✎ 질량에 대한 정의는 길이나 시간처럼 정교하게 정의되어 있지 않습니다.
- ✎ 1kg에 대한 정의는 프랑스 Sevres의 국제도량형국에 보관되어 있는 킬로그램 원기로 정의합니다.

"1 킬로그램은 국제원기의 질량과 같다."

킬로그램 원기는 단단하고 부식되지 않으며 밀도가 아주 큰 물질인 백금-이리듐 합금으로 제작되었습니다. 킬로그램 원기를 그대로 복제한 2차 원기들이 각 나라의 표준국에 소장되어 있습니다.

아래 표는 극한적인 다양한 현상에서 질량을 나타냅니다.

현상	질량	현상	질량
은하계(milky way)	$4 \times 10^{41} \text{ kg}$	건포도	$1 \times 10^{-3} \text{ kg}$
태양	$2 \times 10^{30} \text{ kg}$	빛방울	$1 \times 10^{-6} \text{ kg}$
지구	$6 \times 10^{24} \text{ kg}$	적혈구	$1 \times 10^{-13} \text{ kg}$
산	$2 \times 10^{18} \text{ kg}$	DNA 분자	$2 \times 10^{-18} \text{ kg}$
747 제트 여객기	$4 \times 10^5 \text{ kg}$	우라늄 원자	$4 \times 10^{-25} \text{ kg}$
소형 승용차	$1 \times 10^3 \text{ kg}$	양성자	$1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$
사람	65 kg	전자	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$



1차 질량원기



2차 질량원기

② 질문: 킬로그램 원기를 백금-이리듐 합금으로 만든 이유는?

### 예제 3)

1 kg = 2.2 lb(pounds)인가?

풀이)

이 문제에서 주의할 점! 등호를 어떻게 해석해야 하는가?

1 kg = 2.2 lb(pounds)  
질량의 단위      무게(lb)의 단위



따라서 이 등식은 옳지 않다!

올바른 해석은 다음과 같다.

질량이 1kg인 물체의 무게는 지구표면에서 2.2lb이다. (무게는 지구표면에서 사람이 받는 힘을 뜻한다.)

질량 1kg인 물체는 우주의 어느 곳에 있더라도 질량은 변하지 않는다.

그러나 무게는 위치에 따라 달라진다.

예를 들어, 1kg인 물체를 달 표면에 가져 가면 무게는 1/6로 줄어든다.

그렇지만 파운드(파운드)는 영국에서 질량의 단위로 일상적으로 통용됩니다.

### 예제 4)

성인 뇌의 질량과 뇌 속의 세포 수를 어림하여 보자.

풀이)

뇌의 모양은 사람마다 다양하고 크기도 다르지만 뇌를 변의 길이가 10cm인 정육면체로 가정하자.  
그러면 뇌의 부피는,

$$V = (10\text{cm})^3 = 100\text{cm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$$

인체의 70%이상이 물로 이루어져 있다.

물의 밀도는  $1\text{g/cm}^3$ 이므로 뇌의 질량은 약 1kg정도이다.

뇌 세포를 반지름  $10^{-5}\text{m}$  (2교시의 표에서 적혈구의 직경 참조)인 구로 가정하면 각 세포의 부피는  
약  $(10^{-5}\text{m})^3 = 10^{-15}\text{m}^3$ 이다.

따라서 뇌 세포의 수는,

$$\text{뇌세포의 수} = \frac{10^{-3}\text{m}^3}{10^{-15}\text{m}^3} = 10^{12} \text{ 개}$$

※ 실제 측정에 의하면 어른 뇌의 질량은 약 1.3kg 이다.



### 3. 표준의 재정의

- ✎ 4개의 물리 기본상수(플랑크 상수, 기본 전하량, 볼츠만 상수, 아보가드로 상수)를 이용하여 표준단위 정의
- ✎ 가장 허술하게 정의되었던 질량을 아주 정밀하게 정의함



<표준단위와 물리상수>

기본상수	표기법	값	오차
플랑크 상수 (Plank constant)	$h$	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{Js}$	$1.0 \times 10^{-8}$
기본전하량 (Elementary charge)	$e$	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{C}$	$5.2 \times 10^{-9}$
볼츠만 상수 (Boltzmann constant)	$k$	$1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{J/K}$	$3.7 \times 10^{-7}$
아보가드로 상수 (Avogadro constant)	$N_A$	$6.022\ 140\ 76 \times \text{mol}^{-1}$	$1.0 \times 10^{-8}$

<CODATA에서 발표한 기본 물리상수>

지금까지 우주의 중심은 있는가에 대해 알아보았습니다.  
다음시간에는 결정론의 종말에 대해서 살펴봅시다.