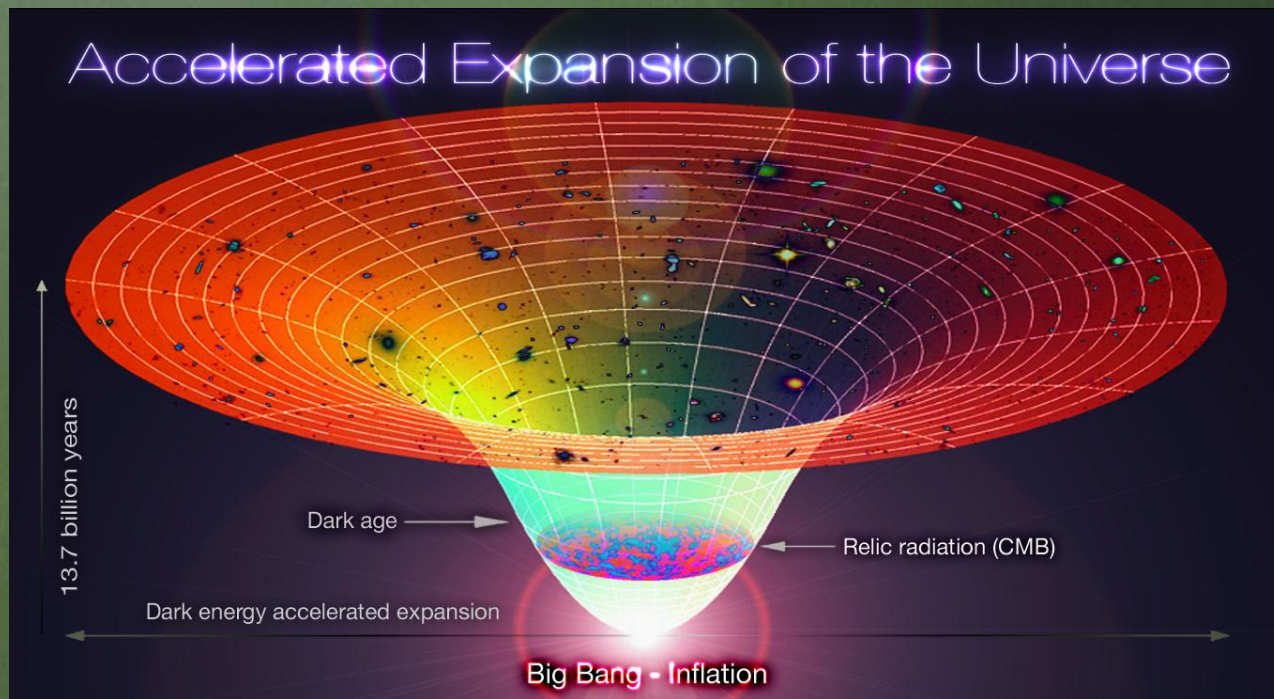


16장 우주론



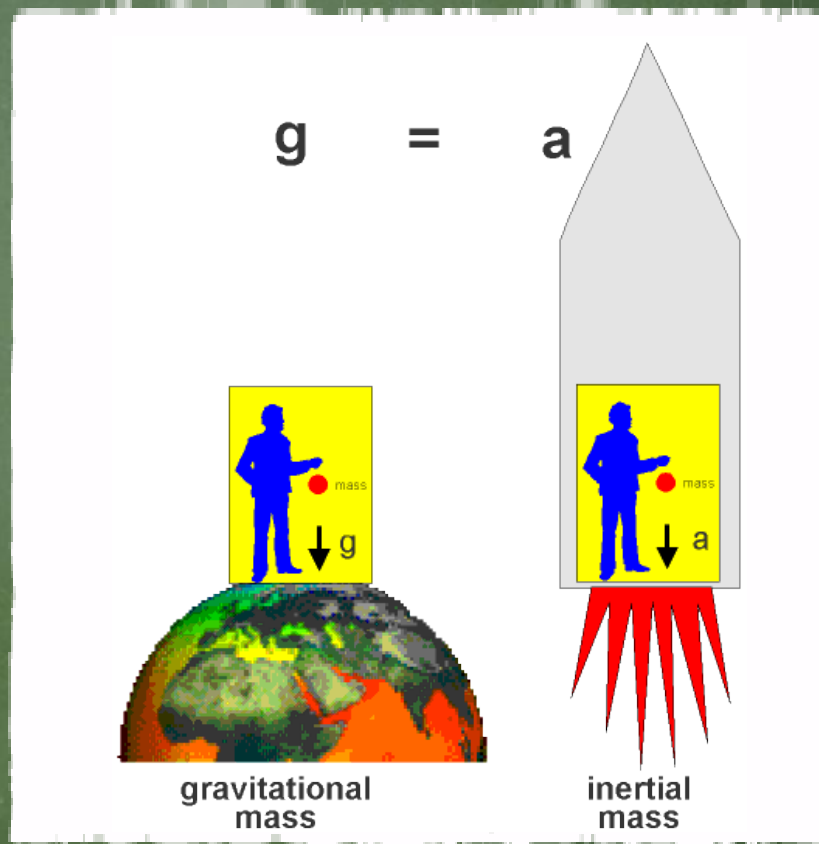
큰 17기로의 여행

상대성이론의 일반화

물리법칙은 관찰자에 대해 불변이어야 한다.

심지어는 **가속운동**하는 관찰자에게도 그렇게 되어야 한다!

등가원리



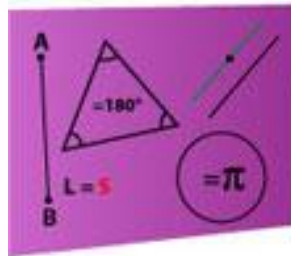
가속도와 중력은 국소적으로는 구별할 수 없다.

리만 기하학의 도움

DIFFERENT TYPE OF GEOMETRIES

2D

PLANE



Zero Curvature

Euclidian geometry

3D

SPHERE

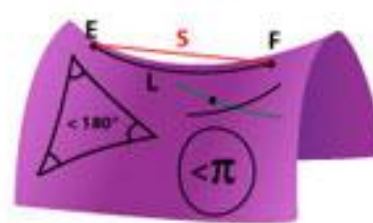


Positive Curvature

Elliptic geometry

3D

SADDLE



Negative Curvature

Hyperbolic geometry

(studied by Omar Khayyam, Girolamo Saccheri, Bernhard Riemann, ...)

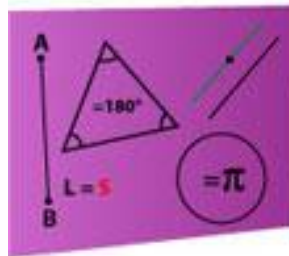
우리가 사는 시공간은 리만 다양체이다!

리만 기하학의 도움

DIFFERENT TYPE OF GEOMETRIES

2D

PLANE

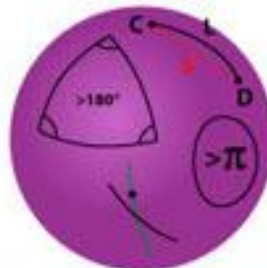


Zero Curvature

Euclidian geometry

3D

SPHERE

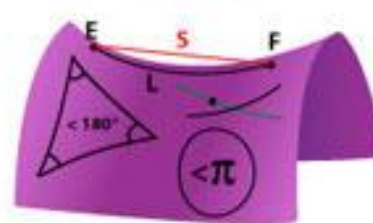


Positive Curvature

Elliptic geometry

3D

SADDLE



Negative Curvature

Hyperbolic geometry

(studied by Omar Khayyam, Girolamo Saccheri, Bernhard Riemann, ...)

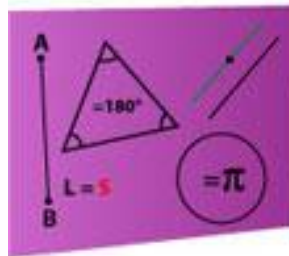


이 다양체에 사는 벌레는 왔다갔다 하면서 정보를 수집할 수 있다.

리만 기하학의 도움

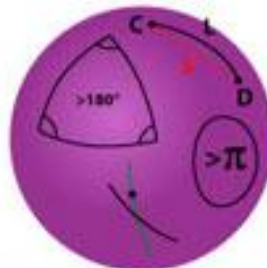
DIFFERENT TYPE OF GEOMETRIES

2D PLANE



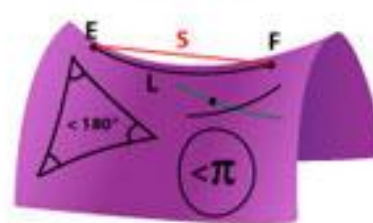
Zero Curvature
Euclidian geometry

3D SPHERE



Positive Curvature
Elliptic geometry

3D SADDLE



Negative Curvature
Hyperbolic geometry

(studied by Omar Khayyam, Girolamo Saccheri, Bernhard Riemann, ...)



이 벌레는 길이와 곡률을 측정할 수 있다.

원천/배경

source/background

힘/장

force/field

장 방정식
field equation

운동

motion

운동 방정식
equation of motion

원천/배경

source/background

힘/장

force/field

운동

motion

장 방정식: 곡률
field equation

측지선 방정식: 길이
geodesic equation

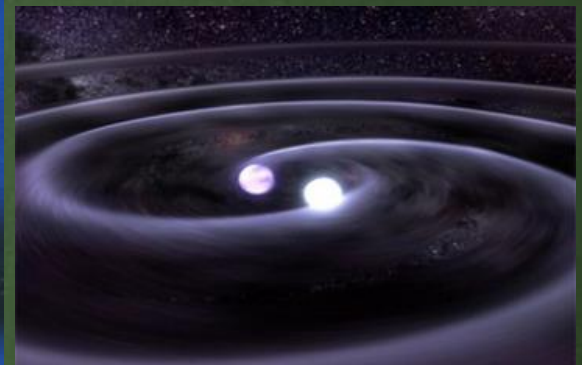
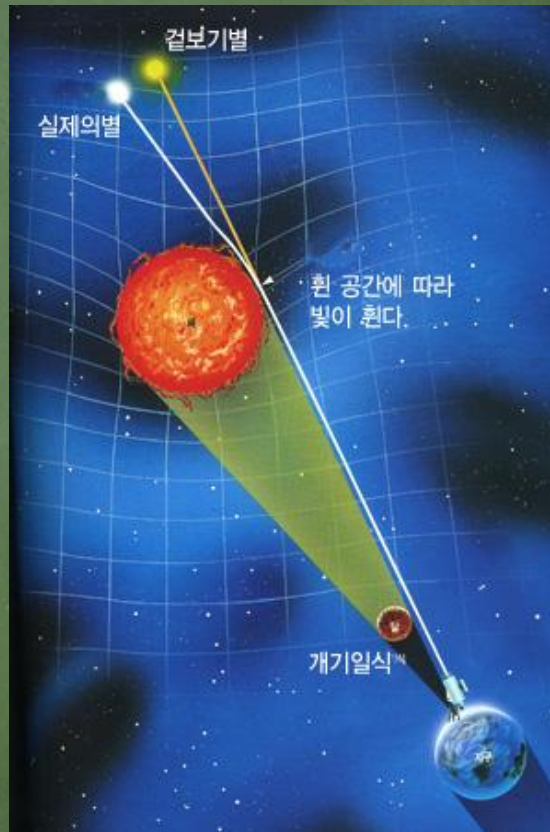
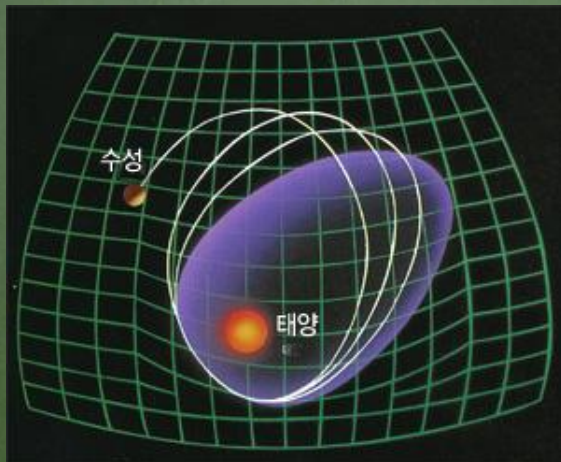


일반상대성이론

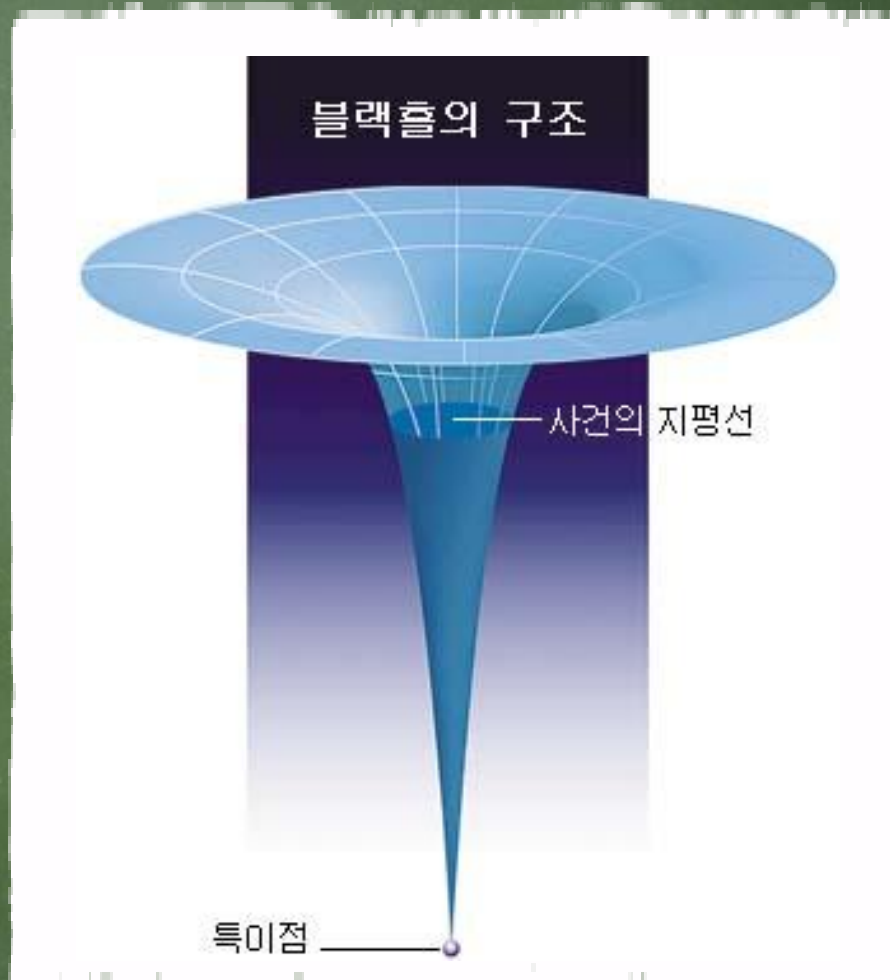
$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

$$\ddot{x}^{\mu} + \Gamma_{\nu\rho}^{\mu} \dot{x}^{\nu} \dot{x}^{\rho} = 0$$

일반상대성이론의 검증

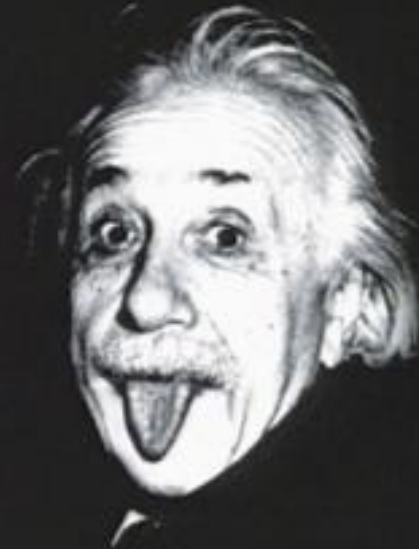


블랙홀

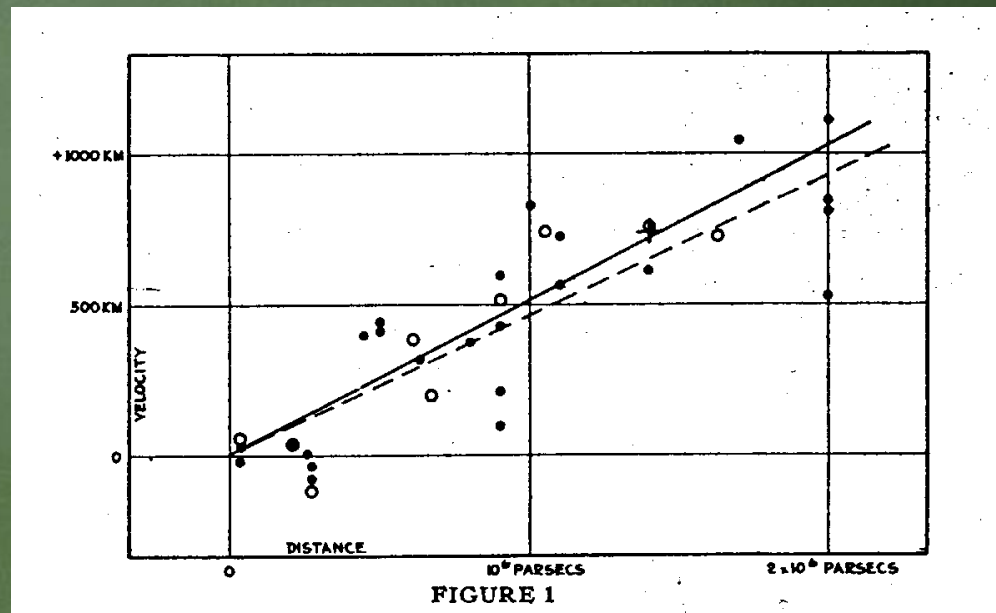


우주론

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Delta g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



허블의 관찰



허블의 관찰: 우주는 팽창한다.

정상상태우주론 VS. 빅뱅우주론

기준	빅뱅 모델	판정	정상우주 모델
원소의 양	수소와 헬륨의 양 예측 무거운 원소 실패	>	설명 못함
은하 형성	은하의 진화 설명 곤란	<	시간이 충분
은하 분포	초기 우주는 먼 곳에만 존재	?	젊은 은하들 균일 분포
우주배경복사	빅뱅의 메아리	?	
우주의 나이	우주의 나이 < 별들의 나이	<	문제가 되지 않음

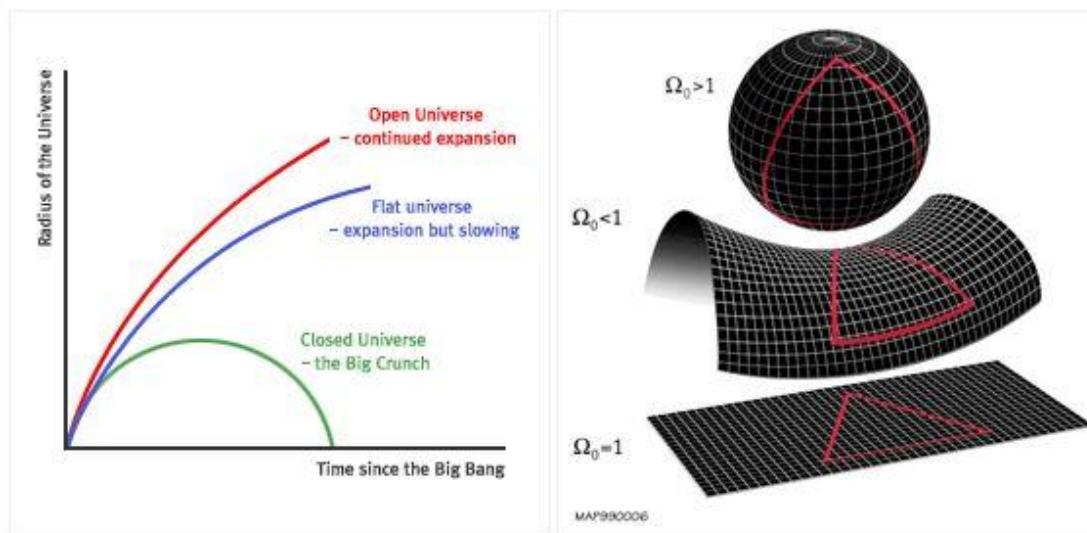
우주배경복사



펜지아스와 윌슨

프리드만 방정식

$$3\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + 3\frac{K}{a^2} = 8\pi G\rho + \Lambda$$



우주의 미래. 우주의 미래는 세 가지 가능한 시나리오로 설명될 수 있다. $\Omega_0 < 1$ 이면 우주는 계속해서 팽창하다가 전체적으로 얼어붙게 되고, $\Omega_0 > 1$ 이면 인젠가 팽창을 멈추고 수축되기 시작하여 대함몰(Big Crunch)로 끝난다. 그리고 $\Omega_0 = 1$ 이면 우주는 평탄한 상태를 유지하면서 영원히 팽창한다.

프리드만 방정식은 우주를 기술한다.

빅뱅 이론의 문제점



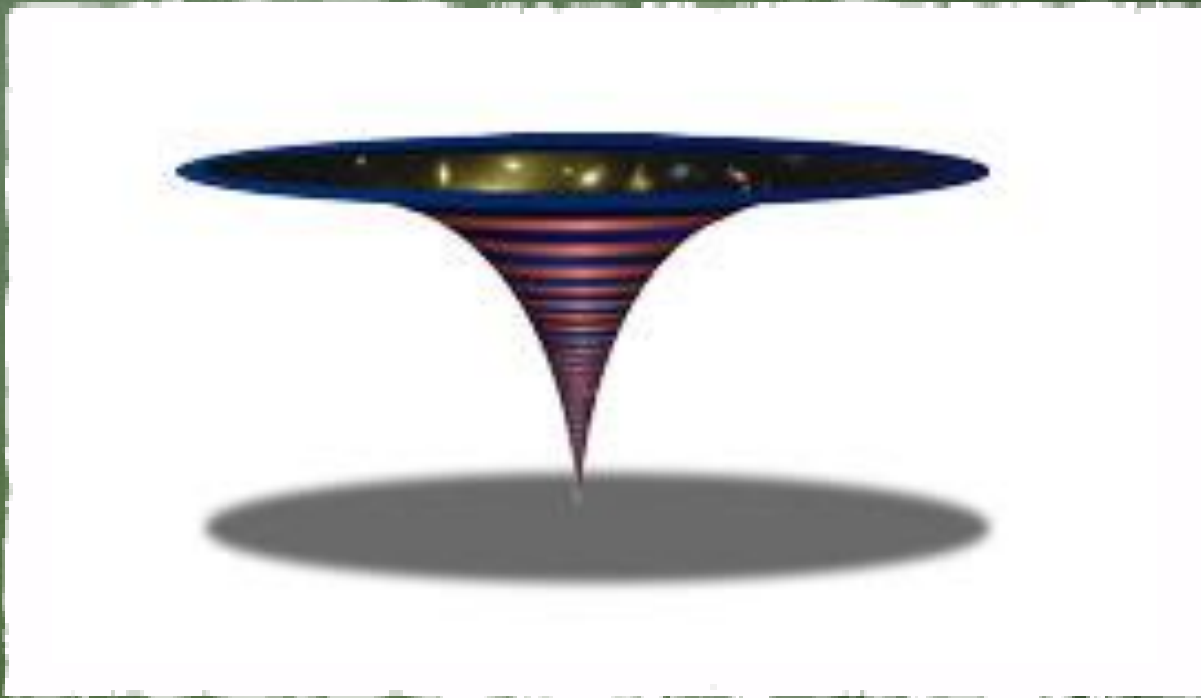
세상은 이렇게 굴곡이 심해야 하지 않을까?

빅뱅 이론의 문제점



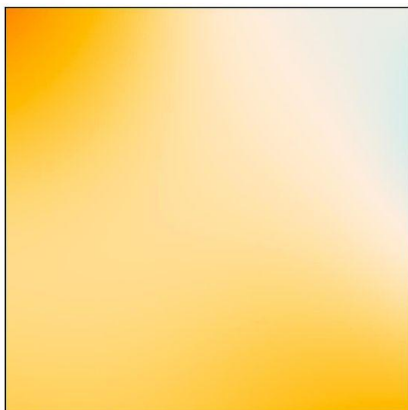
우리가 이렇게 작은 부분만 본다면, 굴곡이 없을 수 있다.

인플레이션

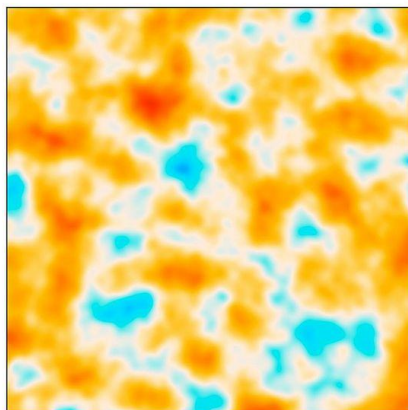
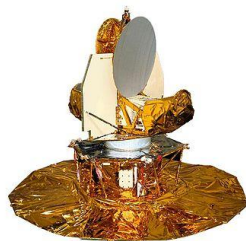


급격한 가속팽창이 우주를 평탄하게 만들었다.

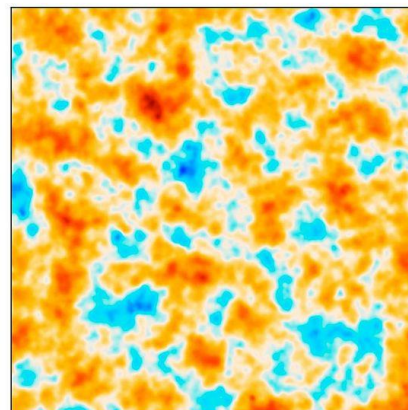
우주배경복사



COBE

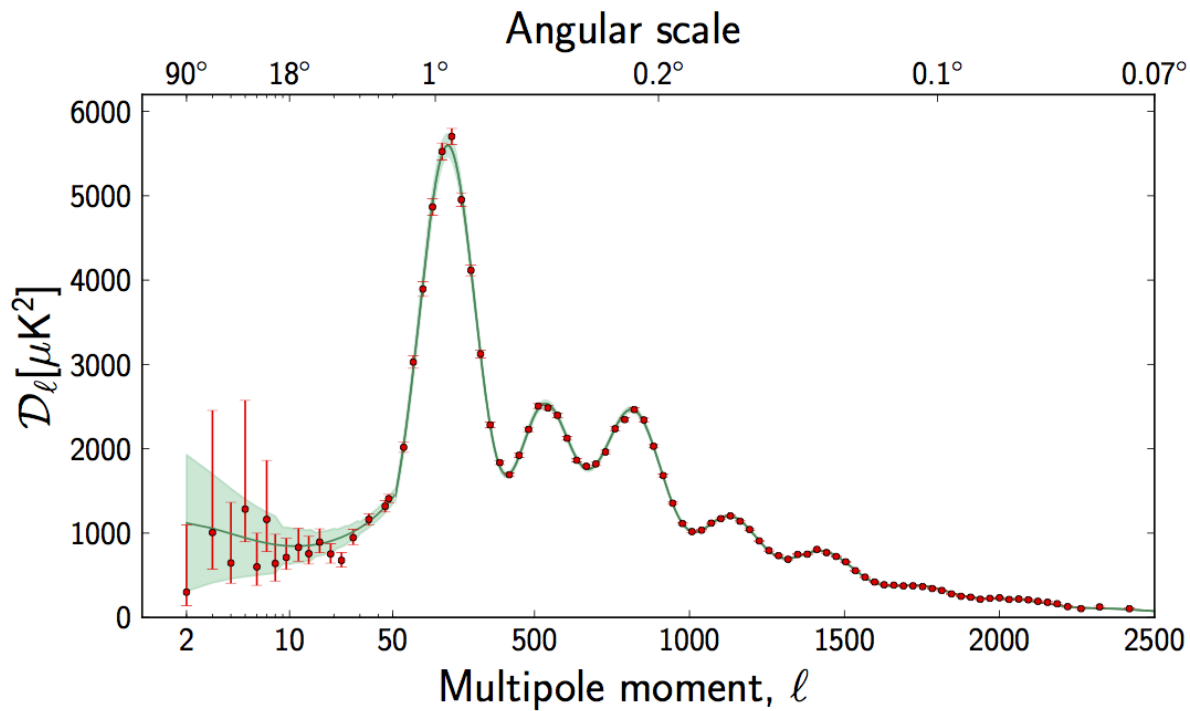


WMAP

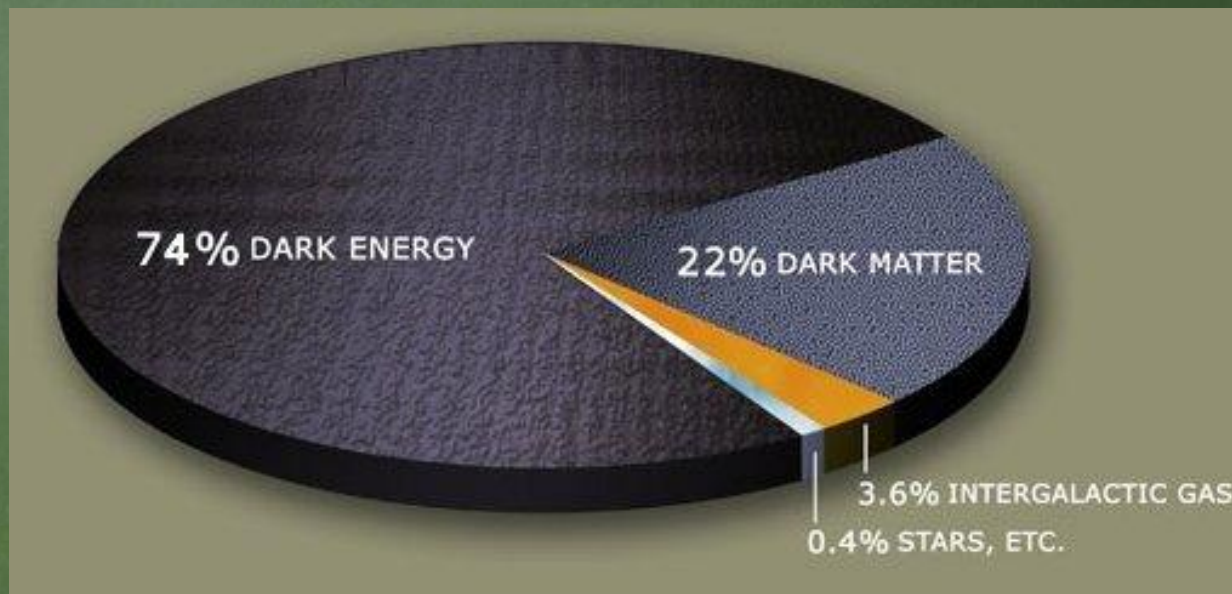


Planck

인플레이션 우주론과 우주배경복사



암흑물질과 암흑에너지



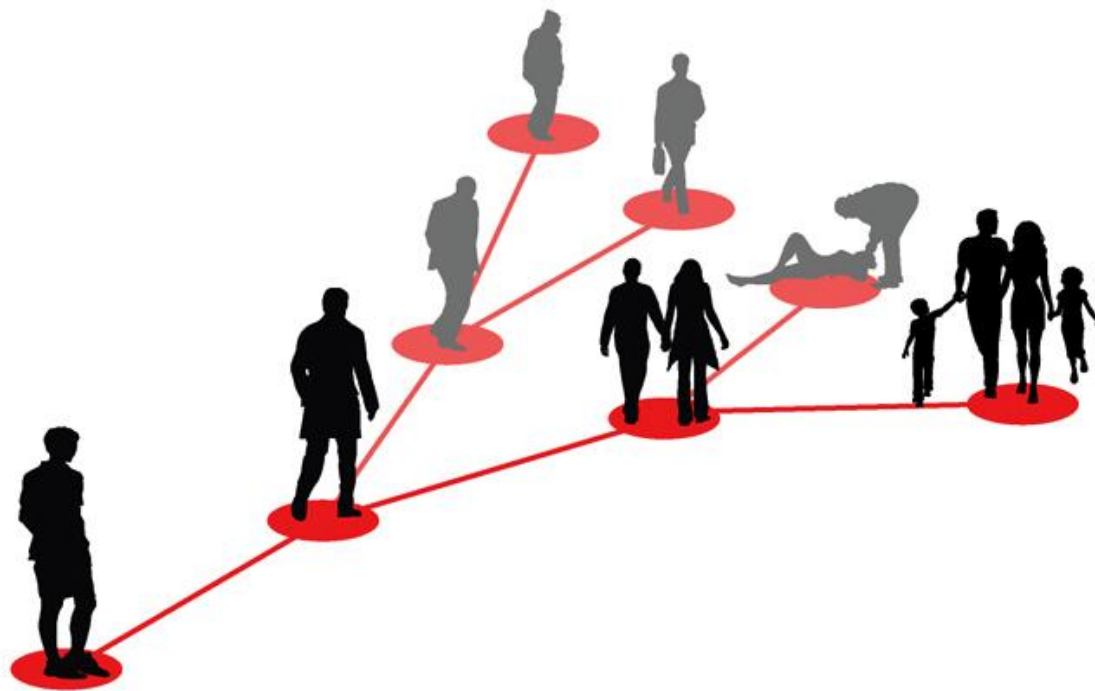
풀리지 않은 주제들

1. 우주 최초에는 특이점이 있었는가? 있었다면 무엇인가?
2. 인플레이션의 기원과 메커니즘은?
3. 암흑물질과 암흑에너지의 정체는?
4. 우주의 여러 상수들은 어떻게 결정되는가? 특히, 우주상수는 왜 그렇게 작은가?

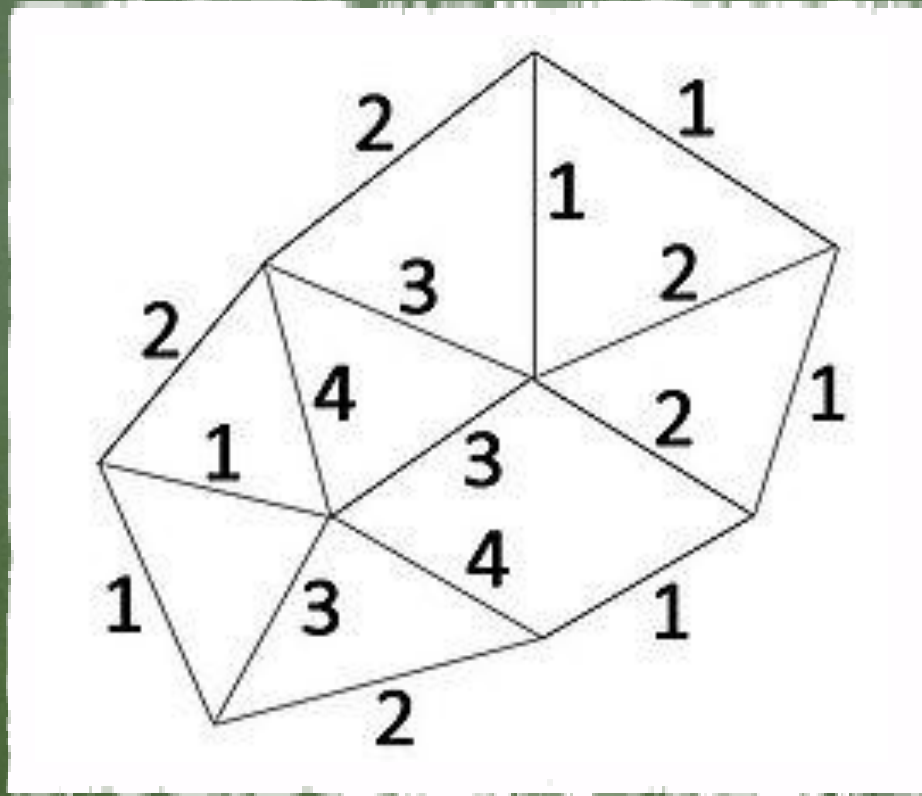
다중우주?



다시시각?

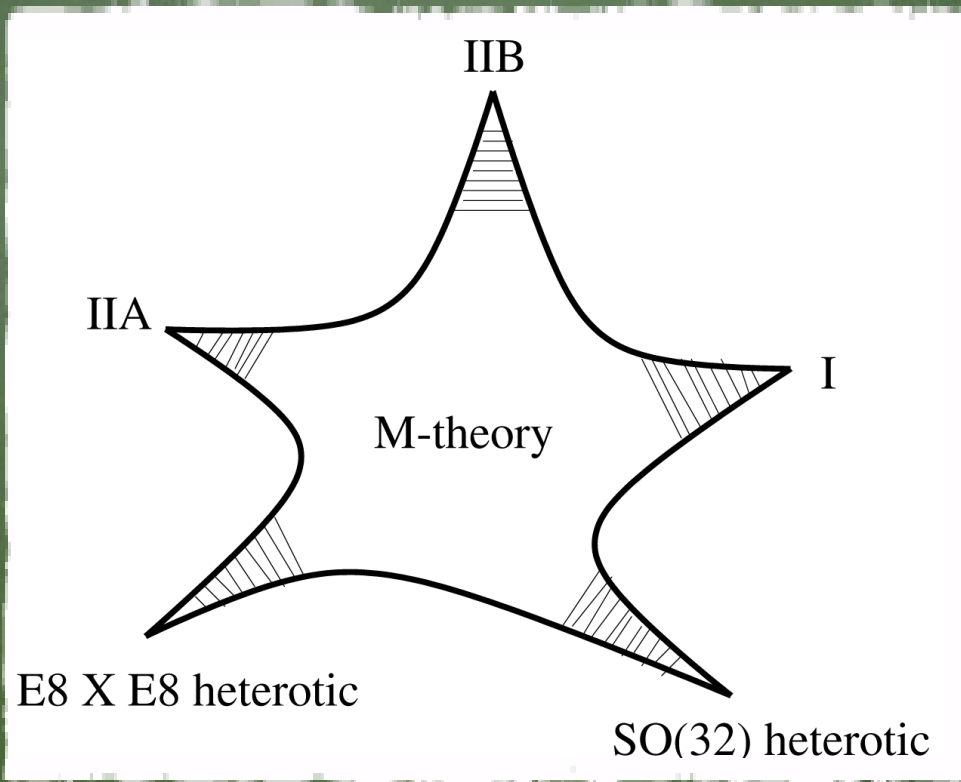


양자중력의 첫 번째 길: 비섭동적 방법



정준적 접근과 고리양자중력은 비섭동적 방법론이다.

양자중력의 두 번째 길: 섭동적 방법



끈 이론은 섭동적 방법론이다.

우리는 지난 수 십 년간 우주에 관해 많은 것을 알게 되었다.

그러나 또한 우리가 아직 알지 못하는 것들도 많이 남아있다.

가장 근본적인 질문이 답해질 수 있을까?