

# 현대우주론: 가정과 한계



황재찬  
2012.09.26

내가 그 박식한 천문학자의 말을 들었을 때,  
증명과 숫자들이 내 앞에 즐지어 싸여있었을 때,  
더하고, 나누고, 측정할 도표와 도형들이 내 앞에  
보여졌을 때,  
내가 앉아서 그 천문학자가 강의실에서 큰 박수를 받으며  
강의하는 것을 들었을 때,  
나는 까닭 모르게 곧 피곤하고 실증이 나서,  
자리에서 일어나 밖으로 빠져 나온 뒤 나 홀로 거닐면서,  
촉촉하고 신비로운 밤 공기 속에서, 이따금,  
하늘의 별들을 말없이 올려다보았다.

Walt Whitman (1865)  
『When I Heard the Learn'd Astronomer』

## Universe (宇宙)

四方上下 曰宇 ← 공간  
古往今來 曰宙 ← 시간  
以喻天地 ← 우주

淮南子(劉安) ~150B.C.

## 우주

“우주는 실제하지만 볼 수는 없다. 상상할 수  
있을 뿐이다.”

Alexander Calder (1898-1976)

## 우주론

“우주론 – 큰 규모에서의 우주, 그 역사와 미래에 대한  
탐구.”

J. Bernstein, et al  
*Cosmological Constants* (1986) p1

## 철학의 기능

“철학의 기능 중 하나는 우주론을 비평하는 것이다.”  
Alfred North Whitehead  
*Science and the Modern World* (1925) p. vii.

“그 자신의 한계를 아는 것이 바로 철학을 구성한다.”  
Immanuel Kant  
*Critique of Pure Reason* (1781)

“철학은 이제껏 세상을 해석하는 것으로 스스로를 제한해  
왔다. 하지만 중요한 것은 세상을 변화시키는 것이다.”  
Karl Marx, *The Eleventh Thesis*  
*Theses on Feuerbach* (1845)

## 우주론(천문학)의 상황

- ❖ 천구상에 투영된 한 면만 보임
- ❖ 가서 볼 수 없음
- ❖ 상이 왜곡됨
- ❖ 제어가 가능하지 않음
- ❖ 재생 불가능
- ❖ 단 한번 일어난 상황

“이러한 상황에서, 우리는 검증이 완전히 불가능하지만  
우주론에 필요한 특수한 가정을 하지 않고는 우주에 대한  
모델을 만들 수 없다.”

G. F. R. Ellis (1975)

## 가정과 한계

- ❖ 행운에 맡겨진 가정 (Good luck assumption)  
우리가 아는 물리원리가 다른 곳에서도 적용됨  
검증 불가능
- ❖ 과학 원칙 (Scientific policy)  
“Ockham’s razor”, 기왕이면 단순한 설명을 채택함  
검증 불가능
- ❖ 불확실성 (Uncertainty) 혹은 오차  
통계적 (random, in measurements)  
가정에 따른 (systematic, in assumptions) 오차
- ❖ 어떠한 설명도 유일하지 않을 가능성

## 과학의 현실

“문제는 우리가 관측할 수 있는 우주가 단 하나 뿐이라  
는 것으로, 더구나 우리는 사실상 단 하나의 점에 불과한  
시간과 공간이라는 위치에서 관측할 수 있을 뿐이다.”

G. F. R. Ellis (1975)

“현실의 과학은 미리 생각해놓은 이론에 맞추어 관찰을  
선택하고 무시하며 실험을 조작하는 기예와 더 관련이  
있다. 자세한 관찰은 과학적 사유를 방해한다. 현상은  
무시하고 소위 정수를 파악하라. 따라서 과학에서는  
관찰이 아니라 이론이 먼저다. 그 비법은 대상을 고립화,  
단순화, 이상화, 추상화 (그리고 가급적이면 수학적)된  
모델로 만들고 이를 바탕으로 분석과 통계적 기법을  
통해 모델을 검증, 구현하는 것이다. 이 과정을 통해  
대상의 개성은 무시된다.”

JH, *KLAS Newsletter* (2011) arXiv/1206.6297

## 자연의 법칙

“사람들은 '자연의 법칙'을 이야기 하지만 이건 잘못된 말이다. 자연에 법칙이란 없다. 단지 자연의 일시적인 습관들이 있을 뿐이다.”

Alfred North Whitehead  
*Dialogues of Alfred North Whitehead* (1954)

“물리개념들은 인간정신의 자유로운 창조물로,  
그것이 어떻게 보이든, 외부 세계에 의해 유일하게  
결정되지 않는다.”

Albert Einstein (1936)

## 우주모델

“과학은 설명하려 하지 않으며, 해석하려고도 하지  
않는다. 과학은 주로 모델을 만든다. 모델이라는 것은  
수학적인 구성물을 의미하며 특정한 언어적 해석을  
추가하여 관찰된 현상을 기술한다. 그러한 수학적으로  
구성된 모델의 유일한 정당화는 그것이 예상한 대로  
작동하는가에 있다.”

John von Neumann, quoted in *Chaos*  
by James Gleick (1988) 273p

“과학의 목적은 복잡한 사실로부터 가장 단순한 설명을  
찾는 것이다. 우리는 추구의 목적이 단순함이기에 사실  
자체가 단순하다고 생각하는 오류에 쉽게 빠질 수 있다.”

Alfred North Whitehead  
*Concepts of Nature*, p. 163.

“[모델이란] 실재에 대한 과학적인 근사이다.”  
“연구자가 방법론적이지 아닌 존재론적인 유물론자가  
된다면, ... 다른 맥락에서는 유용했을 모델을  
우주적인 실재로 간주하게 된다면, 그는 결국에는 단지  
과학적인 퇴락으로 이어질 수 밖에 없는 길로 접어들  
것이다.”

Konrad Rudnicki  
*The Cosmologist's Second* (1982) 11, 92p

## 네 가지 가정

- ❖ **중력**  
뉴턴, 아인슈타인, 혹은 다른 중력
- ❖ **공간 기하 (부분 곡률)**  
균일-등방, 혹은 복잡한 기하
- ❖ **물질 구성**  
바리온, 복사, 암흑물질, 암흑 에너지, 장 (fields), ...
- ❖ **토폴로지 (전체 모습)**  
중력으로는 결정되지 않음

## 우주원리

- ❖ 우주의 큰 규모에서 물질의 3차원 공간분포가 균일하고 등방하다는 가정 (Einstein 1917).
- “오직 큰 규모의 구조만 고려한다면, 우리는 물질들이 거대한 공간에 걸쳐서 고르게 분포하고 있다고 표현할 수 있을 것이다.”  
A. Einstein (1917)
- “아인슈타인의 첫 우주론 논문은 순수하게 이론적인 연습으로서 단 하나의 천문학적인 상수도 포함하고 있지 않다.”  
Paul Feyerabend *Against Method* 3<sup>rd</sup> ed. (1993) 239p

“우주론에서 원리란 증거에 의해 지지되지 않는 가정과 같은 뜻으로 종종 쓰이는데, 그것 없이는 분야가 진행 될 수 없다.”  
Martin Rees (2000)

“우주를 단순하고 우아한 모델로 기술할 수 있는 우리의 능력은 주로 자료의 부족, 즉 우리의 무지에 기인한다.”  
J. Horgan *The end of science: Facing the limits of knowledge in the twilight of the scientific age* (1996)

## 우주원리 관측상황

- ❖ 우주배경복사는 아주 등방  
이중극 (Dipole) 온도 차이는  $10^{-3}$  수준  
다중극 (Quadrupole) 이상 온도 차이는  $10^{-5}$  수준
- ❖ 은하분포는?  
대규모 은하 적색이동 (거리 대신) 조사  
불확실
- ❖ 실제 검증은 어려우며, 호라이즌 너머에서는 원리상 검증 불가능  
호라이즌=우주의 나이 동안 빛이 간 거리
- ❖ 큰 규모에서 우주(은하들의 분포)가 균일-등방한지는 아직도 관측으로 검증해야 함

## 고대 힌두 우주원리

- “우주는 무한히 불균일하다. 우리 위치는 시간이나 공간상 특이한 곳이 아니지만, 평균적이지도 전형적이지도 않다. (무한히 퍼진 변수들에서 어떤 평균이나 중간값을 얻는 것은 무의미하다.)”  
Rudnicki (1982)
- 우주는 팽창과 완전한 붕괴 사이를 순환하며, 주어진 한 순간에도 무한히 많은 우주가 있다.
- “이것 말고도 셀 수 없이 많은 우주가 있다.”  
Bhagavata Purana 6.16.37

# 관측사실

## 1. 우주의 존재

명백함.

“우주가 어떻게 되어있는가 보다는, 그것이 존재한다는 것이 신비로운 사실이다.”

Ludwig Wittgenstein (1922)

아직은 철학의 영역임

“철학은 호기심에서 시작한다. 그리고, 최선의 철학적인 사고를 마친 뒤에도, 그 호기심은 남는다.”

A. N. Whitehead (1861-1947)

“과학은 우리가 아는 것, 철학은 우리가 모르는 것이다.”

Bertrand Russell (1872-1970)

## 2. 어두운 밤하늘

- ❖ 어두운 밤하늘은 별들이 균일하게 무한히 펼쳐진 영원히 정적인 우주에서는 불가능함

Johannes Kepler (1610)

Olbers' paradox

Edgar Allen Poe (1848) *Eureka*

- ❖ 현대 우주론에서는 관측 가능한 영역이 유한한 시간 동안 존재해 왔으며, 유한한 빛의 속도로 해결됨

## 3. 거리-적색이동 관계

- ❖ 1929년 허블

- ❖ 적색이동 (redshift  $z$ ) 이 거리 ( $d$ )에 비례:  $z \sim H d$

- ❖ 도플러-피조 효과를 이용해 은하가 멀어져 가기 때문으로 해석:  $v \sim z c$  for  $v \ll c$ .

증명은 어려움!

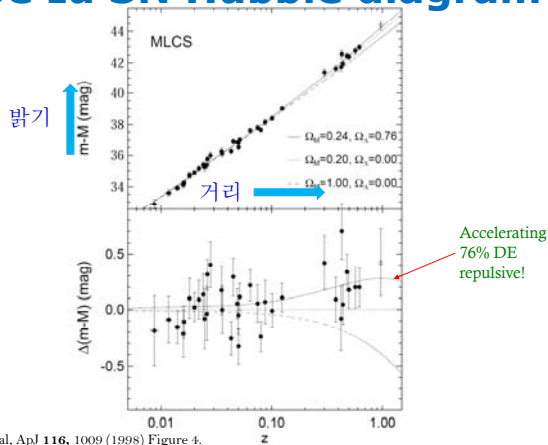
- ❖ 다른 가능성: Expanding space, Receding motion, Alternative gravity, Decreasing  $c$  or  $h$ , Increasing mass or  $e$ , Shrinking atom, Tired light, ...

“관측은 항상 이론을 동반한다.”

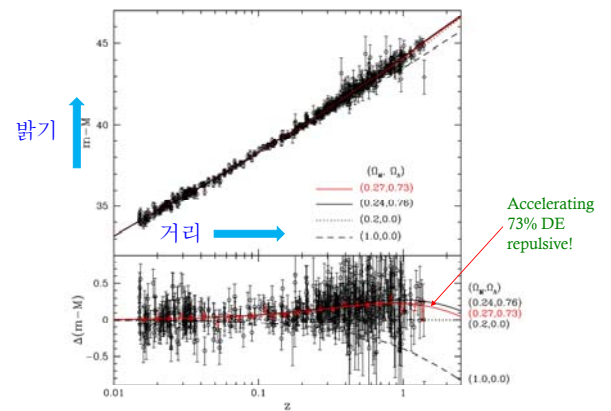
Edwin Hubble

- ❖ 1998년 Type Ia supernova 관측 → 현재 팽창이 가속중임  
→ **암흑에너지 (Dark Energy)**

## Type Ia SN Hubble diagram



## Recent UNION2 data



# 암흑에너지 해석

“그것의 성질은 (상수이든 변수이든) 이론 물리학의 중대한 문제이다.”

“암흑에너지의 존재에 대한 유추는 우주가 큰 규모에서 균일하고 등방하다는 가정에 기반하고 하고 있다.”

G. F. R. Ellis (2009)

# 4. 우주의 나이

- ❖ 최근 가장 오래된 별떼 (globular clusters)의 이론적으로 추정된 나이가 15%정도 줄어듬
- ❖ 우주모형의 나이는 최근 일어난 가속을 고려하면 증가됨
- ❖ 최근 추정:  $t = 13.7 \pm 0.2 \text{ Gyr}$  (WMAP)
- ❖ 추정된 우주모형의 나이가 가장 오래된 천체의 나이와 비슷한 것은 표준우주모형에 신빙성을 더해줌

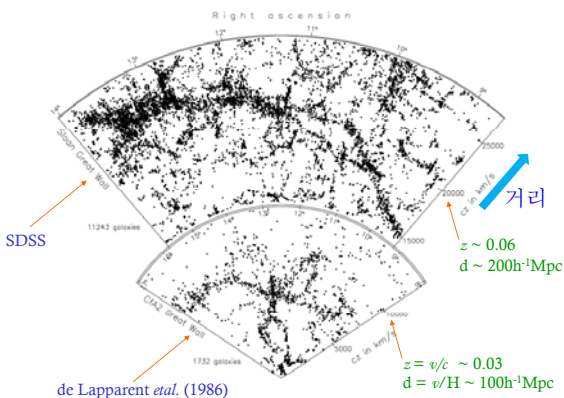
# 5. 우주거대구조

- ❖ 은하들은 3억 광년 (100Mpc) 보다 큰 규모에서는 대략 균일하게 분포. **불확실**
- ❖ 작은 규모의 구조는 균일한 분포에서 조금 벗어남. **불확실**
- ❖ 더 작은 규모에는 비선형 구조. **명백**

# 암흑물질

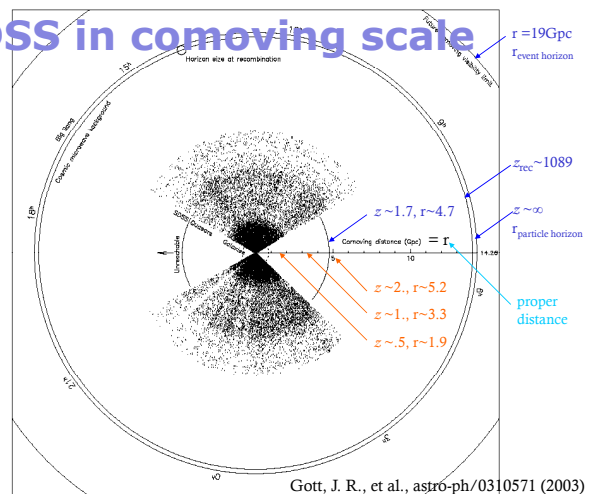
- ❖ 빛을 내는 물질로 관측된 은하나 은하떼, 우주거대구조의 분포와 시선속도로 추정된 중력을 내는 물질 분포 사이 **불일치**
- ➔ 은하나 은하떼, 거대구조에서 뉴턴 중력이 안 맞거나 **암흑물질(dark matter)**의 존재 요구

# LSS: non-linear structure

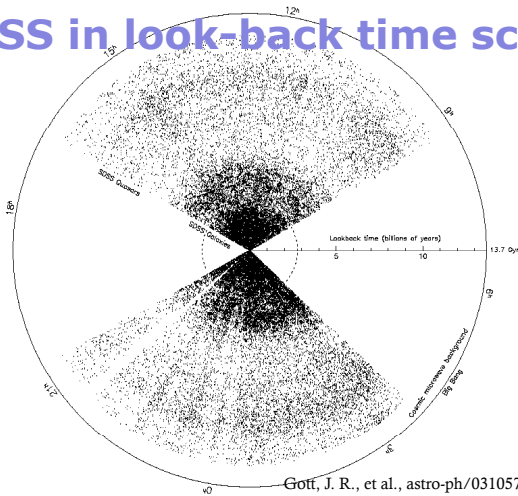


<http://www.sdss.org/>

# SDSS in comoving scale



## SDSS in look-back time scale



Gott, J. R., et al., astro-ph/0310571 (2003)

## SDSS DR7 LRG 통계분석

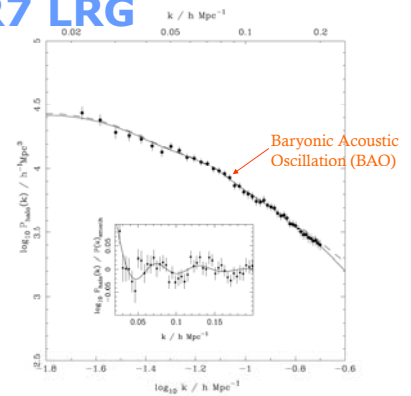


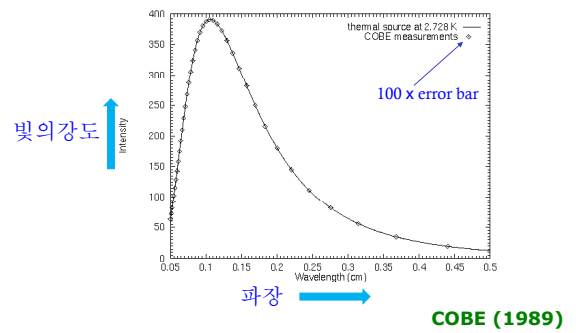
Figure 4. Points with errors show our measurement of  $f_{gal}(k)$ . We show  $\chi^2_{min}$  as error bars; recall that the points are positively correlated. We plot the best fitting WMAP5+LRG  $\Lambda$ CDM model  $(\Omega_m, \Omega_b, \Omega_c, \sigma_8, \tau_8, h) = (0.291, 0.0474, 0.709, 0.808, 0.820, 0.696)$  with best fitting nuisance parameters  $\alpha_1 = 0.172$  and  $\alpha_2 = -0.236$  (solid curve), the which  $\chi^2 = 40.0$ ; the dashed line shows the same model fit with  $\alpha_1 = 0$  for which  $\chi^2 = 43.2$ . The BAO inset shows the same data and model divided by a spline fit to the smooth component,  $f_{smooth}$ , as in Fig. 4 of PFB. In Section 5.1 we find the significance of the BAO detection in the  $f_{gal}(k)$  measurement is  $\Delta\chi^2 = 3.5$ .

Reid et al, arXiv:0907.1659v2

## 6. 우주배경복사

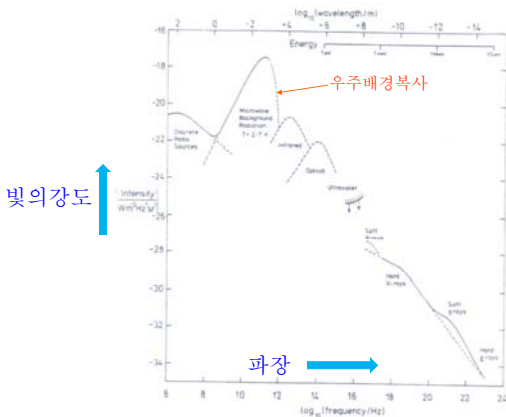
- ❖ 온도가 2.725K인 거의 완벽한 흑체.  
1cm<sup>3</sup>에 400개 정도의 광자.  
TV 잡음의 1%.
- ❖ 천분의 1도 정도에서 이중 온도 비등방성: 아마도 우리 움직임 때문
- ❖ 십만분의 1도 정도에서 다중 온도 비등방성.  
당시 존재한 구조의 영향으로 발생  
현재 보이는 우주구조들이 자라나는 과정에서 남긴 흔적  
구조형성이론에 제한을 줌.
- ❖ 현대 우주론에 따르면, 우주배경복사는  
우주의 규모가 지금보다 천 배 작고,  
온도는 지금보다 천 배 높은 3000K,  
우주의 나이가 38만년일 때를 보여주는 것으로 해석.
- ❖ 우주배경복사가 이와 같이 우주론적이라는 직접증거는 없다.

## CMB Spectrum

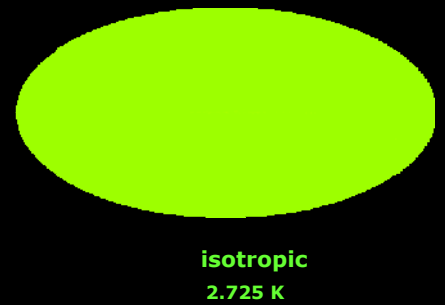


COBE (1989)

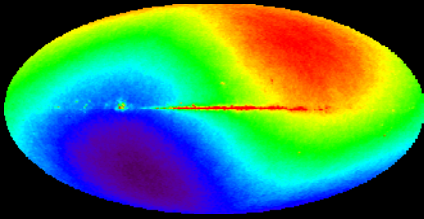
## Complete Photon Spectrum



## CMB Complete Sky

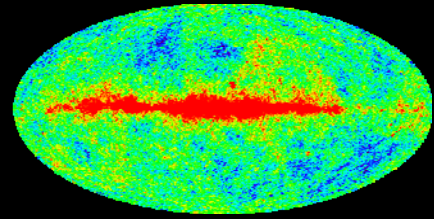


$\delta T/T \sim 10^{-3}$  level



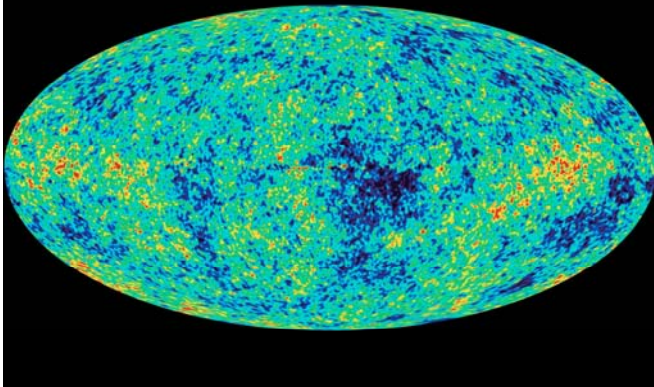
Dipole: perhaps due to our motion relative to CMB rest frame

$\delta T/T \sim 10^{-5}$  level

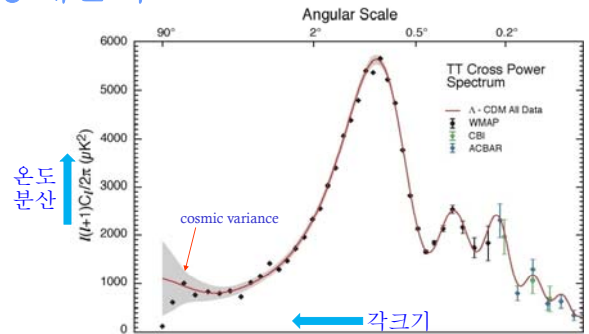


WMAP Satellite

WMAP



### WMAP 온도 비등방도 통계분석



## 7. 가벼운 원소 함량

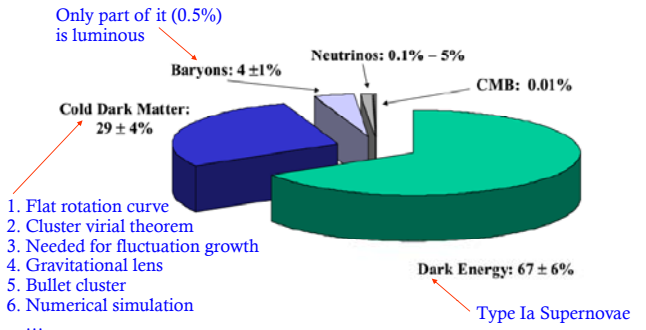
- ❖ 초기우주 가벼운 원소 핵합성: 수소 ~ 수분까지 H, D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  생성
- ❖ 그 이상 Fe까지는 별 내부에서 생성 (핵융합)
- ❖ Fe 이상 U까지는 별이 폭발(supernova)하며 생성
- ❖ 이론으로 추정된 baryon 물질의 밀도: 초기우주 핵합성으로 만들어진 H, D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  값이 관측값과 일치하기 위해서는 바리온양이 총밀도의 4% 정도
- ❖ Alpher와 Herman (1948)은 이 과정에서 우주배경복사 예측
- ❖ 원소의 기원에 대한 현대의 신화!

## 8. 우주를 구성하는 물질

- ❖ 빛을 내는 최소한의 바리온(원자)을 구성하는 물질: **~ 0.5% 이내**
- ❖ 바리온의 총량 (초기우주 핵합성으로 추정): ~ 4%
- ❖ 은하의 회전과 은하계의 운동에서 추정, 중력은 있지만 빛을 내지 않고 있는 물질, **암흑물질 (dark matter): ~ 20-30%**
- ❖ 최근 우주를 가속시키고 있는, 미는 중력을 내는 가상의 에너지, **암흑에너지 (dark energy): ~ 70%**
- ❖ 총량은 우주의 공간곡률이 0인 정도



## Matter Contents



Freeman and Turner, astro-ph/0308418 (2003)

## 9. 물질과 반물질 비

- ❖ 우주는 물질이 반물질을 압도하고 있다.
- ❖ 각 입자에는 반입자 (전하의 부호가 반대) 존재  
입자와 반입자가 만나면 → 100% 빛으로 소멸됨
- ❖ 현재 우주는 입자가 반입자에 비해 압도적
- ❖ 물질의 개수를 빛의 개수와 비교하면,  
 $\eta \equiv n_{\text{Baryon}}/n_{\text{Photon}} \sim 10^{-10}$
- ❖ 이 비율은 시간에 따라 일정함  
필연적인 결과인가?  
우리우주의 우연한 특성인가?

## 10. 관측자의 존재

- ❖ 우리 우주에는 관측자가 존재한다는 사실을 잊으면 안됨
- ❖ 예를 들면, 자연 상수가 특별한 값을 가진 이유를 설명하고자 할 때, 만약 그 값이 지금과 다르면 그 결과로 우리가 존재할 수 없다면, 일단, 우리가 존재한다는 사실이 우리의 존재를 위해 허용된 값을 가진 우주를 관측할 수밖에 없다는 전제조건이 됨  
인류원리 (Anthropic principle)
- ❖ 자연상수 G (중력), c (상대론), h (양자론) 값이 조금 다르면 우리가 존재할 수 없음
- ❖ 우리 우주의 상황과 전혀 다른 조건을 갖춘 우주가 있다고 해도 “우리”는 그곳에 존재할 수 없다.
- ❖ 이런 식의 설명이 틀리지 않더라도, 예측력이 있는가?
- ❖ 다른 가능성:
  2. Design (from Designer)
  3. Good Luck (from ToE)

## 몇 주제들

## 1. 정밀 우주론

- ❖ 관측으로 표준우주모형의 이론적 변수들을 수 퍼센트 정밀도로 제한한다는 주장 (Precision cosmology)
- ❖ 표준우주모형은 다음의 (검증되지 않은) 가정에 기반:
  1. 암흑물질 Dark matter (구원1)
  2. 암흑에너지 Dark energy (구원2)
  3. 초기우주가속팽창 Inflation (구원3)
  4. 아인슈타인 중력
  5. 우주 원리 Cosmological principle
  6. 물리법칙의 보편성 Universality of local laws of physics
  7. 기계론적 유물론 Materialism (no non-material cause)
- ❖ 하지만, 관측은 단지 0.5% 만이 빛으로 보이고, 99.5% 는 보이지 않음!
- ❖ 무지에 대한 정밀도? Precision of Unknowns? (categorical mistake)

## 2. 검증 불가능한 우주론

### 검증불가능한 (형이상학적, 아이러니, 추측성) 우주론:

- ❖ 시작 이전: creation out of nothing, no boundary proposal, cyclic, pre-big-bang, ekpyrotic, ...
- ❖ 호라이즌 바깥: cosmological principle, multiverse, chaotic inflation, eternal inflation, many worlds, megaverse, string landscape, ...
- ❖ 다른 차원: string theory, M-theory, braneworld, Kaluza-Klein, parallel universes, ...
- ❖ 먼 미래: big crunch, big chill, big rip, cyclic, ...

관측으로 검증할 결과가 없음

# 다중우주Multiverse 주장

- ❖ 관측 불가능한 우주의 영역
- ❖ 검증되지 않은 물리이론에 근거한 주장  
어떤 검증이 가능한가?
- ❖ 관측 가능한 결과가 전혀 없음!
- ❖ 이론이 관측보다 우선함
- ❖ 개연성 있는 철학적 제안이지만  
과학으로 검증할 수 없는 주장일 뿐
- ❖ 과학으로서는 무책임함!

과학과 우주론에서 무엇이 더 중요한가?  
이론 (설명) 인가,  
관측 (실재에 대한 검증) 인가?

G.F.R. Ellis "Unity of the Universe" meeting Portsmouth (2009)

“장황하고 정확한 수학적 계산이 수행되었기 때문에 그 결과를 자연 현상에 적용하는 것이 절대적으로 신뢰할만하다고 가정하는 것보다 더 혼란 오류는 없다.”

A. N. Whitehead

“근거가 약한 가정들에 정교하고 격조 높은 수학적인 과정을 세우는 것보다 더 위험하고 음흉한 속임수는 아마 없을 것이다.”

Thomas Chamberlain, American geologist  
(1899) Cited in "Our Cosmic Habitat"  
by Martin Rees (2001) 4p

# 진정한 과학

“웬홀? 아기우주? 끈이론의 무한차원 초공간? ... 은, 실험으로 검증하거나 원리적으로 조작 해결할 수 없는 과학, 즉 아이러니한 과학이다. ... 이들의 근본 기능은 우주의 신비로움 앞에서 우리의 놀라움을 유지시켜주는 것이다. ... 물론, 이러한 아이러니한 우주론은 호킹, 린데, 휠러와 같이 상상력과 야심이 넘치는 시인들이 있는 한 앞으로도 계속될 것이다. ... 그들이 제공하는 전망은 한편으로는, 우리가 가진 경험적인 지식의 보잘것없음 앞에 겸허한 생각을 들게 하고, 다른 한편으로는, 인간의 끝없는 상상력 앞에 흥분을 자아내게 한다. ... 그러나 그것은 과학이 아니다.”

J. Horgan *The end of science: Facing the limits of knowledge in the twilight of the scientific age* (1996)

“우리는 진정한 과학은 개연성 있는 가설을 관측으로 검증하는 것에 기반한다는 것을 확고하게 주장하여야 한다. ... 이론은 실험이나 관측적인 검증에 복속되어야 한다. 이것은 과학에서 중심이 되는 사항이다.”

G. F. R. Ellis (2008)  
“Dark matter and dark energy proposals: maintaining cosmology as a true science?”

# 3. 빅뱅 이전

“아무것도 신의 힘으로 무에서 창조되지 않는다.”  
Lucretius (~100-55 B.C.)

“먼저 신은 하늘과 땅을 만들었다, ...”  
Genesis 1, *The Bible*

“신은 세상을 만들기 전에 무엇을 하고 있었을까? 일부에서는 그가 하늘과 땅을 만들기 전에, 그런 신성한 질문을 함부로 해대는 자들을 위해 지옥을 만들고 있었다고도 하지만, ... 창조 이전에는 시간이 존재하지 않았으므로 질문 자체가 적절하지 않다. 세상은 시간과 함께 만들어졌다.”  
Saint Augustine (354-430) *Confessions*

“우주는, 어떤 시간에 만들어진 것이 아니라, 시간과 함께 만들어졌다.”

J. D. Barrow (1999)

- ❖ 빅뱅자체나 그 이전에 대한 견해는 우리의 실험지식이 그에 못 미치기 때문에, 과학에 기반을 둔 논의조차 건강부회 (牽強附會, 이치에 맞지 않는 말을 억지로 자신에게 유리하게 이리저리 둘러대는 것)에 불과함
- ❖ 동의되는 (양자중력) 이론조차 없음!

“관측으로 확인되지 않은 생각을 굳게 믿는 것, ... 이러한 확인이 없다면 우리는 과학을 형이상학과 구별할 유일한 방법을 잃는다.”

M. R. Ribeiro, etal (1998)

“우주론자들은 실수는 자주하면서도 의심할 줄 모른다.”  
L. D. Landau (1908-1968)

## 4. 우주의 끝

- ❖ 팽창하는 물리우주모형에서는 유한한 호라이즌이 존재함.
- ❖ 호라이즌은 유한한 우리 우주의 나이 동안 빛이 간 거리 ~137억 광년  
← 유한한 우주의 나이 + 유한한 빛의 속도
- ❖ 우리에게 영향을 줄 수 있는 영역은 유한.
- ❖ 이러한 우주모형에서 그 너머에 무엇이 있는지는 우리에게 영향을 준 바가 없음.
- ❖ 그 너머는: 우리 인식영역 바깥.
- ❖ 그 존재에 대한 어떠한 표현도 가정이나 상상에 불과함.

“소크라테스는 당시 대부분 사람들과는 달리, 전문가들이 소위 *코스모스*라고 말하는 것과 하늘의 모든 일들이 왜 그러한지 따위의, 모든 것들의 본성에 대해 논의하는데 시간을 보내지 않았다. 그와는 반대로, 그는 그러한 문제에 집착하는 사람들의 어리석음을 지적하였다.”

Xenophon, cited in *Cosmology in Antiquity* by M. R. Wright (1995)

## 5. 어쨌든 그 너머는?

- ❖ 호라이즌 너머에 대한 **검증 불가능**한 제안:  
Cosmological principle, Chaotic inflation, Landscape, Multiverse, Island universe, Topological complications, ...
- ❖ 호라이즌 이 없는 검증 가능한 제안:  
Small universe, Closed model, ...
- ❖ 호라이즌 바깥은, 현재 우리의 인식영역 너머로, 어떠한 주장도 **원리상 검증이 불가능**

“우리의 [우주]모형이 [호라이즌] 보다 더 큰 규모에서 우주의 상황에 대하여 예측하는 경우, 그것이 아무리 그럴듯해도 전적으로 검증이 불가능하다.”

G. F. R. Ellis (1993)

## 6. 14 무기 (無記)

“붓다가 침묵을 지킨 우주론에 관련된 두 가지 질문은 ‘우주가 시간적으로 유한한지 무한한지’와 ‘우주가 공간적으로 유한한지 무한한지’에 대한 의문들이다. (이는 14무기중 8개에 해당한다. 여덟 개라고 한 이유는, 예를 들면, 공간에 대해 ‘유한하다’, ‘무한하다’, ‘유한하기도 하며 무한하기도 하다’, 그리고 ‘유한하지도 않고 무한하지도 않다’는 네 가지 가능성을 염두에 둔 것이다.) 붓다는 이 질문들을 해탈과 열반을 성취하는 것과 무관한 답변이 불가능한 형이상학인 추측으로 간주하여 일체의 말을 삼간 채 수행자들이 시간과 에너지를 소비하지 말 것을 권하였다.”

JH, *KLAS Newsletter* (2011) arXiv/1206.6297

## 7. 우주의 미래

- ❖ 미래에 대하여 우리가 무엇을 말할 수 있는가?

“예측은 아주 어렵다, 특히 미래는.”

Neils Bohr (1885-1962)

“과학의 다른 분야에서와 같이, [우주론에서도] 명확한 예측은 (비록 길기는 하겠지만) 유한한 미래에 대하여 서만 가능하다. ... 우리우주의 미래는 그저 매우 복잡한 정도가 아니라 무한하게 복잡할 것이다.”

A. A. Starobinsky (2000)

## 불과 얼음

어떤 이는 세상이 불로 끝날 것이라 하고,  
어떤 이는 얼음이라 한다.  
내가 맞본 욕망으로부터 라면  
불을 선호하는 이들 편.  
하지만 만일 두 번 소멸할 수 있다면,  
나는 증오에 대해 충분히 알기에  
얼음으로 파괴되는 것  
또한 거룩하고  
만족할 만 하리라고.

Robert Frost 『Fire and Ice』

## 8. 궁극적인 질문

“물질의 궁극적인 기원에 대해: 왜 세계가 존재하는가?  
왜 무(無)가 아니라 무엇인가 존재하는가?”

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

“나는 세상이 존재한다는 것이 경이롭다: 무언가  
존재해야만 한다는 것이 얼마나 놀라운가, 혹은, 세상이  
존재해야만 한다는 것이 얼마나 놀라운가.”

Ludwig Wittgenstein (1889-1951)

“왜 도대체 존재가 있어야 하는가 - 왜 차라리 무(無)가  
아니고?”

Martin Heidegger (1889-1976)

철학적인 질문임

## 9. 조금 접근 가능한 질문

“우리는 어디에서 왔는가? 우리는 누구인가? 우리는  
어디로 가는가?”

Paul Gauguin (1897)

한편,

“답변이 불가능한 가장 거대한 질문에 대해 매달리는  
것 보다는, 답을 찾을 수 있는 작은 질문을 추구하는  
것이 좋다.”

Galileo Galilei (1564-1642)

- ❖ 이 태도가 근대 과학의 성격을 규정
- ❖ 하지만 우주론은 필연적으로 가장 거대한 질문과 관련



“우리는 어디에서 왔는가? 우리는 누구인가? 우리는  
어디로 가는가?”

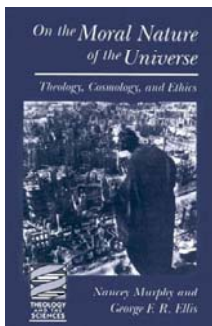
Paul Gauguin (1897)

## 10. 우주의 의미? 목적?

“우주가 더 잘 이해되는 듯싶을수록, 더 의미가 없는  
것처럼 느껴진다.”

S. Weinberg *The First Three Minutes* (1977)

- ❖ 과학은 그 근본에서 의미와 목적을 제거
- ❖ 과학이 ‘왜’를 외면하고 대신 ‘어떻게’에 대해서만 집중
- ❖ 따라서 물리우주론의 관점에서 보면 우주의 목적이나  
의미와 관련된 어떠한 것도 찾을 수 없는 것은 당연



드레스덴 폭격

“모든 것에는 의미가 있다,  
우리가 찾을 수만 있다면.”

Lewis Carroll, *Alice's  
Adventures in Wonderland* (1865)

“우주에 관해 가장 경악할만한 사실은 그것이  
적대적이라는 것이 아니라 무심하다는 것이다. 하지만  
이러한 무심함을 이해하고 죽음이라는 한계 안에 놓인  
삶의 도전들을 받아들이면 -- 인간이 그것을 얼마나  
바꿀 수 있는지 -- 우리가 하나의 종으로 존재하는 것에  
진정한 의미와 충만함을 가질 수 있을 것이다. 어두움이  
아무리 광대하더라도 우리는 우리자신의 빛을 들어야  
한다.”

Stanley Kubrick Interviewed by Eric Nordern,  
*Playboy* (September 1968); later published in  
*Stanley Kubrick: Interviews* (2001)

“그대는 한 권의 거룩한 책  
우주를 창조한 힘의 거울  
무엇을 원하든, 그대에게 물으라  
그대가 무엇을 찾든 그것은  
그대 안에 있다.”

Mawlana Jalal-al-Din Rumi  
The Rubais of Rumi: *Insane with Love*

## 결론

“우주론 자체는, 다른 모든 예술이나 과학과 마찬가지로,  
인간의 재능이 만들어낸 것으로, 사회적이거나 언어적인  
계약과 애매한 의사소통 수단에 영향을 받는다.”

M. R. Wright *Cosmology in Antiquity* (1995)

어찌됐든,

“무엇을 추구할지는 개인에게 달려있다; 더하여 모든  
사람은, 결과보다는 추구자체가 더 가치가 있다는  
레싱의 훌륭한 격언에서 위안을 찾을 수 있다.”

Albert Einstein (1940)

근본적인 질문들이 답변이 불가능한 우주론에서  
는 특히 그러함

또 다른 위안:

“천상에 대한 논의가 매혹적이고 중요한 것은 그에  
대한 우리의 지식이 불완전하다는 것으로 유지된다.”

Aristotle (384-322 B.C.)

그리고, 교훈:

“자신들에게는 평범한 것들을 우리가 모르고 있었다는  
사실에 우리의 후손들이 놀라워할 때가 올 것이다. ...  
많은 발견들이 우리가 기억에서 사라진 뒤에 올  
후세사람들을 위해 남겨져 있다. 모든 세대마다 밝혀낼  
것이 없다면 우주는 단지 애석하게도 한 작은 사건에  
불과할 것이다. ... 자연은 모든 것을 한번에 드러내지  
않는다.”

Seneca (4BC-AD65), *Natural Questions Book 7*

<http://bh.knu.ac.kr/~jchan/cosmology-20120926.pdf>