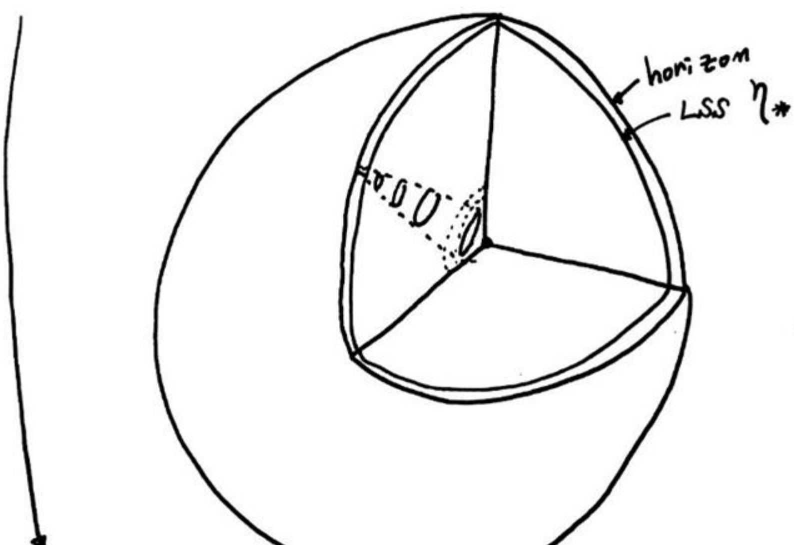
제7회 137억년 우주진화

3강 우주론

2015.04.12

앞에 보이는 사람을 보고 있다고 한다면
언제적 사람인가?
태양은 언제적 태양인가? 8분전 태양
시리우스를 보았다면? 2011년 시리우스다 (현재 2015년)
(4년 전의) 실제 시리우스는 알 수 없다.
태양을 지금 당장 사라진다면 태양은 8분20초동안
그대로 있다.
안드로메다 겔럭시를 본다면 220만년 전 안드로메다 다.
퀘사를 보고 있다면 100억년전 퀘사다. 정확히
100억년전 퀘사다.

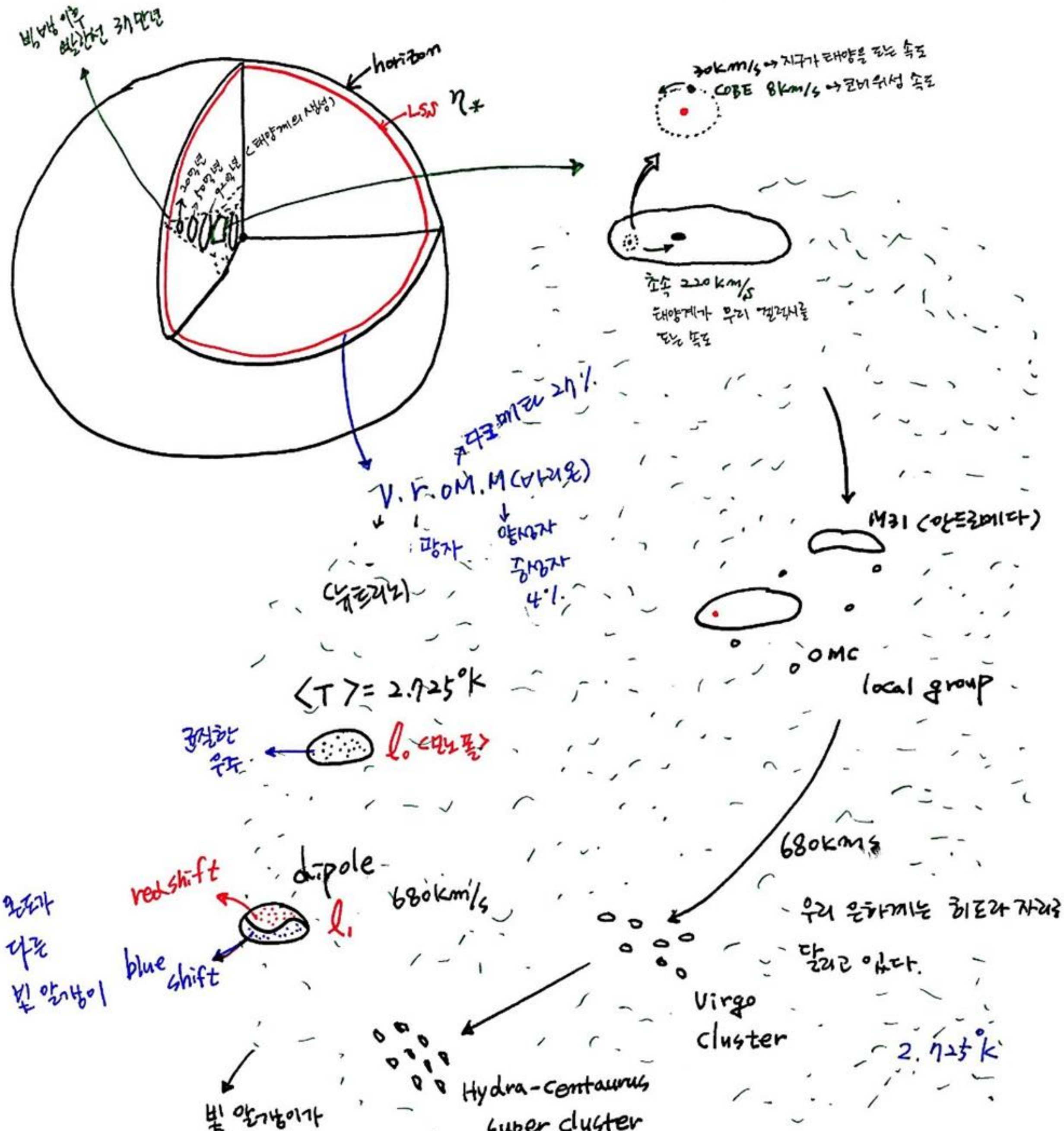
우주의 모든 중심은 나다.
안드로메다 겔럭시에 있는
어떤 외계인이 있다면
그가 중심이 되면 또다시
우주의 중심이 된다.
껍질의 두께 7만년이다.
LSS는 지금의 우주다.
나에게 유일하게 보이고 있는
우주는 빨강색 안의 수박껍질
같은 그것만 보고 있다.
WMAP가 찍고 있는 것이
빨강색이다.
지구가 눈동자라면 목성과
같은 행성은 눈썹과 눈의
거리라고 한다면
가장 가까운 별은 거의
미국까지 정도라고 생각하는
개념이다
그러나 사실 우주론에서
별과 별의 이야기는
그 거리는 개념화시킬수
있는 것 자체가 아주
어려운 이야기다.



137억년 전 우주를 본다. 가상이 아니다. 사진을 찍은
것이다. 정확히 빅뱅 이후 38만년에 만들어진 빛이
지금의 나에게 닿았다. 우주는 한 번도 나를 떠난 적이
없다.
LSS → Last scattering surface를 찍고 있다.
여기에 어떤 논리적 비약도 없다. LSS의 Baby 우주를
찍었다. 내 어렸을 적 사진 속의 내가 분명 나이듯
137억년 (-38만년) 전에 찍은 baby 우주도 실제
우주다. 나를 떠나지 않는 우주가 거기 있다.

$z=\infty$ —— η_* $z=1089$, 38만, 3,000k —— η_0 $z=1$, 137억년

LSS - Last scattering surface



빛 알갱이가
가득 차 있다.

이 바다가 CMB

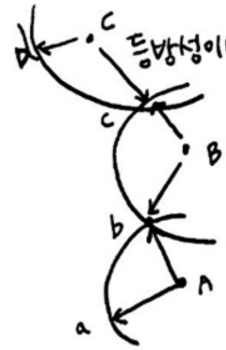
실제로 빛알갱이를 찍었다. → 윌슨과 펜지아스가 찍고
→ 코비 위성이 찍었다.
↳ 600개의 포인트를 찍었다.

13.7 η_0
↓
0는 지금을 말한다.

모든 관측된 자료를 점으로 찍어 확인해 보니 플랑크 곡선과 일치했다. 이 발표를 하는 순간 참가한 모든 학자가 자발적 기립박수를 쳤다. 우주 탄생 메아리를 측정한 것이다.

$$\frac{du}{d\lambda} = 8\pi ch \frac{\lambda^{-5}}{e^{\beta\frac{hc}{\lambda}} - 1}$$

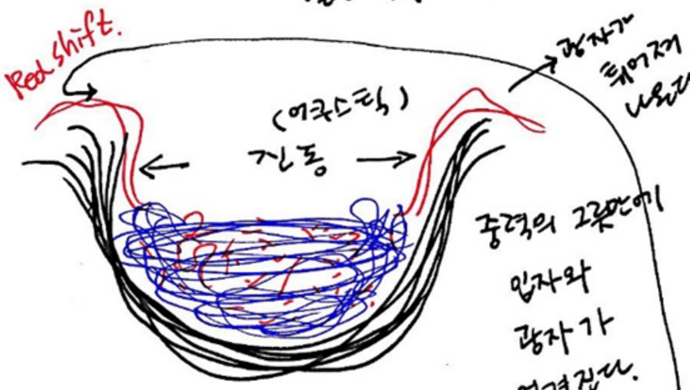
의 공식이 만든 곡선과 일치하였다.



등방성이며 균질성을 보장한다.

A가 바라본 a는
B가 바라본 b와 같다.
B가 바라본 c는
C가 바라본 c와 같다.

등방성이며
A.B.C가 바라본 우주는
같은 우주다.



빛의 소리를 듣는다. 중력의 그릇을 벗어나 광자가 벗어나며 투명한 우주로 빛이 나갔다. 38만년에 뿌려진 빛 알갱이를 COBE 위성 등이 측정한 것이다.

빛으로 된 연못을 상상해 보라. 그 연못이 어쿠스틱 하며 진동이 일어나고 그 힘에 의해 중력의 그릇을 탈출하였다.

코비 위성이 측정한 균질한 우주는 측정한 결과 그대로 등방성 우주이다. 측정할 수 있다는 의미는 고정된 어떤 인자가 있음을 증명한다.

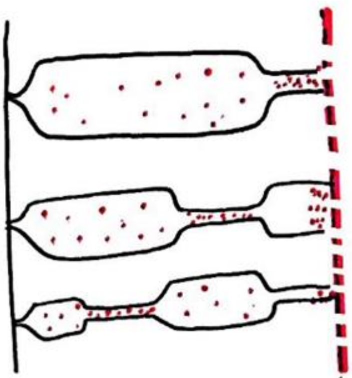
자동차가 100km/h로 가고 알 수 있는 이유는 바닥이 고정되어 있기 때문이다.

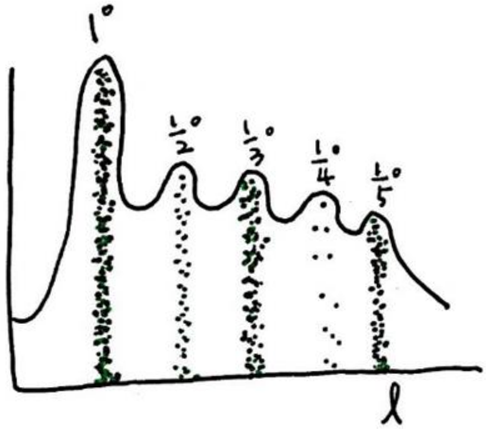
그러나 내가 있기 위해서는 비등방성이 필요하다. 왜냐면 물질이 등방성으로 모두 같다면 변화가 없기 때문이다.

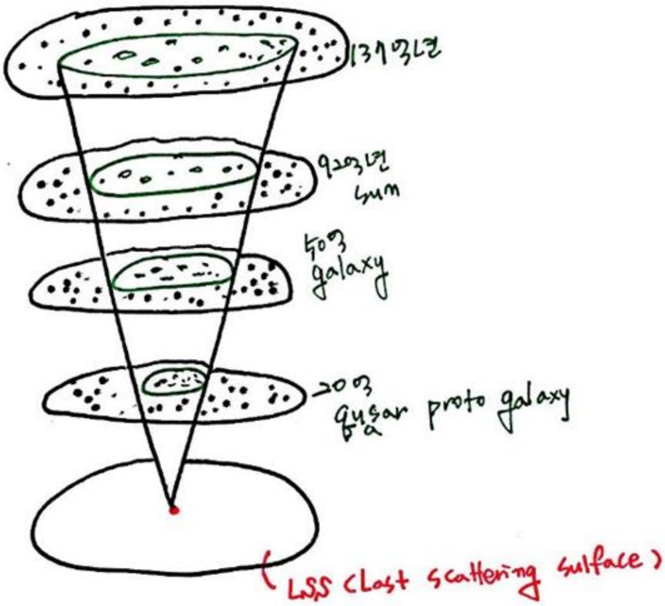
COBE 위성은 l_0, l_1을 측정한 이후로 다음은 비등방성 데이타를 찾아야 했다.

여기서 l_2를 측정하기 위해서는 우리의 은하계의 노이즈를 제거해야만 했다. 노이즈를 없애기 위해 남극에 찾아 간다. 그 노력을 하며 우주를 찾으려 하였다.

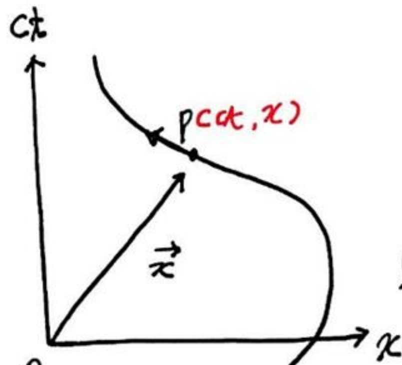
비등방성 우주를 찾는 이야기는 한 편의 영화를 만들어야 한다.



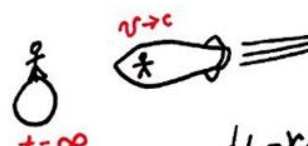




유주는 회전하지 않고
영원히 팽창한다.
시공의 팽창는 광속의
제한 받지 않는다.



$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \gamma\tau$$



$t=\infty$

$l \to 0$

$$dt = \gamma d\tau$$

$$l = l_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

속도가 광속이 될 때 → 내가 가야할 길이 사라진다.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \qquad \frac{dt}{d\tau} = \gamma$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

x^0에서 측정

$$\vec{x} = (ct, x) \qquad \vec{x}\cdot\vec{x} = (ct)^2 - x^2 \qquad \vec{u} = (c\gamma, v\gamma)$$

4차원 속도 벡터

시간 공간

$$\vec{u} = \frac{d\vec{x}}{d\tau} = \left(\frac{d(ct)}{d\tau}, \frac{dx}{dt}\frac{dt}{d\tau}\right) = \left(c\frac{dt}{d\tau}, v\frac{dt}{d\tau}\right) = (c\gamma, v\gamma)$$

원점의 시간

$$|\vec{u}| = \sqrt{\vec{u}\cdot\vec{u}} = \sqrt{(c\gamma)^2-(v\gamma)^2} = \gamma\sqrt{c^2-v^2} = \frac{\sqrt{c^2-v^2}}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{c\sqrt{c^2-v}}{\sqrt{c^2-v}}$$

$$= c$$

세월의 속도는 광속이다. 빛은 늙지 않는다. 공간으로 향하여 시간이 사라지는 물질이 빛이다. <시간이 zero 밖에 없다.>

우주론에서 이벤트는 (ct, x) 이다. 우주 전체가 이벤트의 연속이다.

$$\vec{p} = m\vec{u} = (m\gamma c, m\gamma v)$$
$$= (mc, mv)$$
$$= \left(\frac{mc^2}{c}, mv\right) = \left(\frac{E}{c}, mv\right) = \left(\frac{E}{c}, p\right), \quad mc^2 = E$$

$$m\gamma = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = m$$

$$\vec{p}\cdot\vec{p} = m\vec{u}\cdot m\vec{u} = m^2\vec{u}\cdot\vec{u} = m^2\vec{u}^2$$

$$\vec{p}\cdot\vec{p} = \left(\frac{E}{c}\right)^2 - p^2 = m^2c^2$$
$$E^2 - c^2p^2 = m^2c^4$$
$$E^2 = c^2p^2 + m^2c^4$$

$$\boxed{E^2 = (cp)^2 + (mc^2)^2}$$
$m=0$ $E^2 = (cp)^2$ $E = cp$ $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$

대전에서 서울 오는 버스에서 하나를 발견한다.

창 밖을 보지 않는 시대다.

137억년 우주 진화 상대성 이론을 할 때면 벚꽃이 피고 개나리를 본다.

"지구 표층사" 무덤에 흙이 뭉개지고 그 곁에 진달래가 피어 있다.

봄이 다시 또 오고

그것을 보며

→ 이게 도대체 뭐란 말인가.

창 밖을 보는 사람이다. 또 봄이 왔다. 날파리가 날고 몸이 찌뿌둥해지고, 꽃이 피고 그렇게 지구 표층이 일어나는 사건을 바라 본다.

비행기를 타고 갈 때 관찰한다. 비행기가 이륙하고 몇 분이 지나지 않아 파란 하늘을 만난다. 소나기가 쏟아지고 봄바람이 살랑거리는 날씨와 상관 없이 영원히 푸른 하늘을 생각 한다.

어느 곳을 두고 생각이 머무는가를 생각해 보자.

가우시안은 엔트로피를 최대로 하는 분포다.
평균값과 분산이 주어지면 엔트로피를 최대로 하는 분포다. 변화가 그 쪽으로 간다.

가우시안 코히런트 스케일 인베이런트

과학계로 들어오는 경우와 그렇지 않는 경우는 매우 다르다. 과학의 뿌리는 통계 확률이다.
통계에는 정치. 감정. 사상이 들어 있지 않다.
매스미디어에 조장하는 지식이 부풀거나 왜곡되어 있다.

과학은 우연에 기댄다. 자연 그대로 두고 세어 보자는게 과학이다. 모든 것을 셀 수 없으니 샘플링을 해서 숫자를 센다.

열역학은 동전 하나를 천 번 던지것이 아니라 동전 천개를 동시에 던지는 개념이다.

의심하는 것 부터 배운다. 의심을 하는 사람은 그 분야의 연구자다. 일반인이 가설을 세우며 의심한다.

자연 과학은 인간의 감각이 끝나는 곳에 있다. 만유인력, 열역학, 중력장 방정식 등으로 바라 본다.

인문학을 제대로 알기 위해서는 과학의 강을 건너야 한다.

$\boxed{\text{자연 = 가우시안}}$

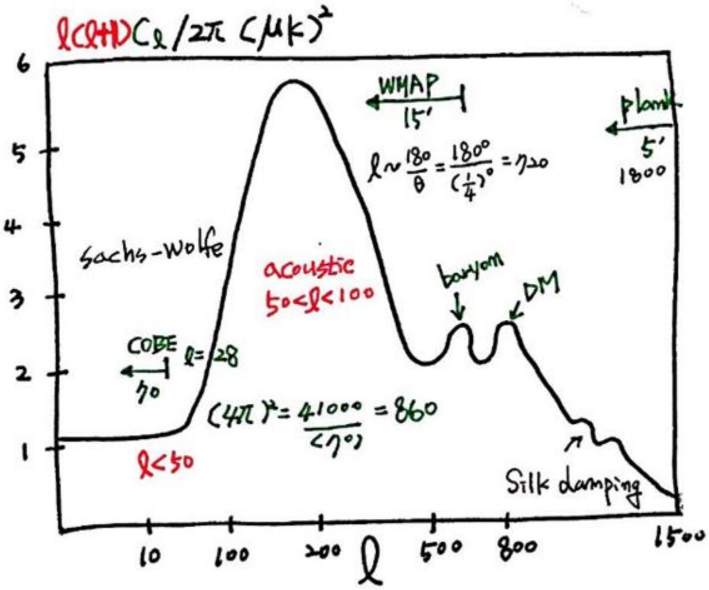
인문학이 접근한 변은 이진용자의 변과 같은 세계다.
상상만 하다 죽는게 그 쪽의 세계다.

과학의 강을 건너고 본 인문학은 눈물이 쏟아진다.

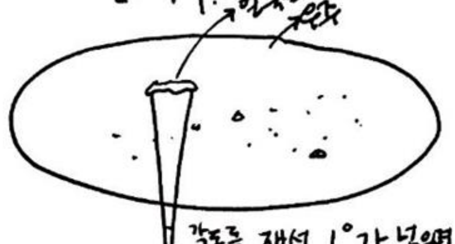
"일어날 확률이 높은 쪽으로 일이 일어난다."

---

l_2를 발견한다는 것은 나를 만든 우주를 발견한다는 것이다. 온도가 서로 다른 우주를 찾는 과정은 과학자들의 소망이며 축음이었다.



l 값이 50 이하면
inflation에 의해
생긴 결장을
볼 수 있다.
우주론은 엄밀과학이다.
38만년의 baby 우주를
측정한다. l에서 찾는
온도는 $\frac{1}{10만}$°K의 온도다.
상상을 초월한 엄밀함이
필요하다.



공학은 "푸리에 분석"이다

미분 가능한 모든 함수는 sin.cos 으로
표현 가능하다.
우리가 할 수 있는 건 온도 밖에 없다.
구면 파동계를 온도라는 값으로
계산해 낸다.

$\langle T \rangle = 2.725°k$

$\langle (\frac{\delta T}{T})^2 \rangle^{\frac{1}{2}} = 1.1 \times 10^{-5}$

$$\frac{\delta T(\theta, \phi)}{T} = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{l} a_{lm} Y_{lm}$$

$$Y_{lm} = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-m)!}{(l+m)!}} P_l(\cos\theta) e^{im\phi}$$

$$\langle a_{lm} \rangle = 0 \quad \langle a^*_{lm} a_{l'm'} \rangle = C_l$$

$$C(\theta) = \frac{1}{4\pi} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) C_l P_l(\cos\theta)$$

$$C_l = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} dk\, k^2 P(k) \frac{|\theta_l(k)|^2}{|\delta(k)|^2}$$

$n=1$

$$C_l(\eta_0) = \frac{\pi \Omega_{m0}}{2D^2(a_0)} \delta_H^2 \frac{1}{l(l+1)}$$

$$l(l+1) C_l^{LSW}(\eta_0) = \frac{\pi \Omega_{m0}}{2D^2(a_0)} \delta_H^2$$

과학은 이해의 대상이 아니다. 토론의 대상도 아니다. 숙달의 과정이다.

$$\theta_l(\eta_0) = [\theta_0(\eta_*) + \psi(\eta_*)] j_l(k(\eta_0 - \eta_*))$$
$$+ 3\theta_1(\eta_*)\Big[j_{l-1}(k(\eta_0 - \eta_*)) - \frac{}{k(\eta_0 - \eta_*)} j_l(k(\eta_0 - \eta)) \Big]$$
$$+ \int_0^{\infty} e^{-\tau} [\dot{\psi}(\eta) - \dot{\Phi}(\eta)] j_l(k(\eta_0 - \eta)) d\eta$$

SW effect.

$$\theta_0(\eta_*) + \psi(\eta_*) = -\frac{1}{3}\Phi(\eta_*)$$

자스없기 스펙트럼

$$P(k) = 2\pi^2 \delta_H^2 \frac{k^n}{H_0^{n+3}} T^2(k) \left(\frac{D(\eta)}{D\eta_0}\right)^2$$

$$\Phi(\eta_*) = \frac{3}{2k^2} H_0^3 \Omega_{m0} D^{-1}(a_0) \delta(\eta_0)$$

Horizon의 물질 분포등 정도

$$C_l(\eta_0) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} dk\, k^2\, 2\pi^2 \delta_H^2 \frac{k^n}{H_0^{n+3}} \Big[\frac{1}{2k^2} H_0 \Omega_{m0} D^{-1}(a_0) \delta(\eta_0)\Big]^2 \times j_l^2(k(\eta_0 - \eta_*)) \frac{1}{\delta(\eta)^2}$$

$$C_l(\eta_0) = \frac{\pi \Omega_{m0}}{D^2(a_0) H^{n+1}} \delta_H^2 \int_0^{\infty} dk\, k^{n-2} j^2(k(\eta_0 - \eta_*))$$

k

$$C_l(\eta_0) = \frac{\pi \Omega_{m0}}{D^2(a_0) H_0^{n-1}} \delta_H^2 \int_0^{\infty} \left(\frac{dx}{\eta_0}\right) \left(\frac{x}{\eta_0}\right)^{n-2} j_l^2(x)$$

$$j_l(x) = \sqrt{\frac{\pi/2}{x}} J_{l+\frac{1}{2}}(x)$$

$$= \frac{\pi \Omega_{m0}}{D^2(a_0)(\eta_0 H_0)^{n-1}} \delta_H^2 \int dx\, x^{n-2} j_l^2(x)$$

$$= \frac{\pi \Omega_{m0}}{D^2(a_0)(\eta_0 H_0)^{n-1}} \delta_H^2 \int_0^{\infty} dx\, x^{n-3} \underbrace{J^2_{l+\frac{1}{2}}(x)}_{\frac{1}{\pi l(l+1)}}$$