

2015. 04. 05

제 1회 1310년 우주 진화

2강

$$1^\circ \text{K} = 1.24 \times 10^{-4} \text{eV}$$

$$\lambda_{\text{max}} T = 0.289 \text{ cm}^\circ \text{K}$$

6 람다

$$|A_{\mu}| = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$$

지구에서 태양까지 거리 (8분 20초)

$$|l_y| = 9.5 \times 10^{15} \text{ m}$$

광년 (빛이 1년 간 거리)

$$|p_c| = 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$$

(3.26 광년)

$$z_{\text{dec}} = 1089$$

decoupling

$$z_{\text{rm}} = 3233 \quad T_{\text{rm}} = 5 \text{만 } 5 \text{천년}$$

$$T_0 = 2.725^\circ \text{K}$$

$$300^\circ \text{K} = 26 \text{ meV}$$

$$1^\circ \text{K}, 1l = 2 \text{만개}$$

$$3^\circ \text{K}, 1l = 2 \times 10^4 \times 3^3 = 5.5 \times 10^4 \text{ photons}$$

$$H_0 = 100 \text{ h km/s Mpc}$$

$$= 3.24 \times 10^{-18} \text{ h/sec}$$

$$T_{\text{dec}} = 3000 \text{ K}$$

$$\lambda_{\text{dec}} = 31.8 \text{ 만년}$$

강의 4시간 할 때 + that's all을
해기하면 그 단어가 전부라는 뜻이다.

강의 피드백을
해하면
잘 모르겠다
← 30% 개념 30%, 수학적 해석 30%
그리고 λ, 공간, ... 등등

할 때
무엇을 모르는가? 용어를 알지 못한다. 강제의
자연과학이 그렇게 되어 있다.

자연과학이 느낌이 인지 않는다.

자연과학은 구성 요소가 적다. 역사.

강제는 두 가지지만 자연과학은

많은 것이다. 물리학 강제를 따져도

10개가 넘지 않는다. 그걸 하지 않아서

느낌이 오지 않는다.

공부를 한다고 하면 '유니버설 랭귀지' 책

표지에 있는 용어를 방에 붙여 놓고

그냥 봐야 한다.

자연과학은 이해의 대상이 아니다.

" 그것은 지금까지 양식이 ^(보) 변해온

것 중에 가장 중요한 것이다."

1960년대 후반
하버드 퍼실 교수

말을 잘 그리는 것이다. - 박문호 박사

그러면 그것은 무엇인가.

사람들이 무엇을 보았나?

그 때 디케와 피보스로
 잡음을 찾기 위해 전파망원경
 해리를 하고 있었다.
 전파를 받고 있듯이 뇌를
 들린 전파기를 띄어 보았다.
 워싱턴과 펜지아스는 우주 탄생의
 시대를 잡아낸 것이다.
 천문학 50년간 역사상 가장 위대한
 발견이라고 NASA의 물리학자들은
 말할 정도이다.
 그들이 발견한 것이 $T_b = 2.725 \pm 0.005 \text{ K}$ 이다.
 빅뱅 탄생 당시의 빛이다.
 영하 270° 에 존재하는 평자의
 대자를 세어보니 지금 존재하는
 별이 내는 빛보다 10 배가 넘는다.
 COBE \rightarrow WMAP \rightarrow Planck 등의
 위성들이 나오게 되려 갔다.

인간이 볼 모든 것을 나열한 것 중에 가장 중요한
 것은 "4080 MHz 대역의 안테나의 잉여 노이즈"
 600 리터 밖에 있지 않는 노이즈이다.

전파 망원경의 3.5°K 의 과열을
 측정했다. 1964년 봄 워싱턴. 펜지아스가
 전파 망원경의 노이즈를 잡아 내었다.
 노이즈를 만약 측정해야 전파 망원경을
 작동 시킬 수도 있다. 액체 헬륨으로 디텍트
 한다. 액체 헬륨이 4°K 이다.
 1964년 봄에 측정하는 ^{노이즈} 값은 3.5°K 였다.

4080 MHz 대역 모든 주파수를 잡아내려고
 하였다. 정해진 값을 찾기 위해 모든
 노이즈 값을 찾아서 삭제하였다. 그러나
 지속적으로 3.5°K 의 잉여 노이즈가
 있었다.

모든 방향을 돌리면서 전파망원경의 값을
 측정했는데 3.5°K 의 잉여 온도(노이즈)가
 나왔다. 지구의 빛빛 소리 등을
 제거했는데도 3.5°K 가 나왔다.
 워싱턴과 펜지아스는 1년간 자리를 모아
 논문을 발표했다. 이 사실이 무언인지
 몰라서 프린스턴 대학의 디케 교수와
 피보스를 찾았다.

제자 윌킨슨
 WMAP
 이름을 따왔다.

$$P_i = \Omega_i \quad \Omega_i = e^{\frac{S_i}{k}}$$

확률 상대수

$$S_i = k \ln \Omega_i$$

$$\Omega_0 = \Omega_R \Omega_A \quad \Omega_R = e^{\frac{1}{k} [\Delta E - \beta \Delta \eta]}$$

$$P_i \rightarrow \Omega_i \quad \Omega_i \rightarrow \bar{n} \rightarrow dN \rightarrow dE \rightarrow du$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$$

$$= 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{sec}$$

$$\frac{du}{dE} = \frac{8\pi}{c^3 h^3} \frac{E^3}{e^{\beta E} - 1}$$

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

$$\frac{du}{d\omega} = \frac{h}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{e^{\beta \hbar \omega} - 1}$$

$$\frac{du}{d\lambda} = 0 \quad \lambda_{\max} T = 0.289 \text{ cm} \cdot \text{K}$$

빈의 변위 공식

$$u = Q - W + \mu N$$

$$du = dQ - dW + \mu dN$$

$$du = T ds - p dv + \mu dN$$

$$dQ = T ds$$

ideal gas

$$\Omega_i = \frac{\Delta x_i \Delta y_i \Delta z_i \Delta p_{ix} \Delta p_{iy} \Delta p_{iz}}{h^3}$$

상태, 위상 공간의 요소

$$\Omega_N = \Omega_1 \Omega_2 \dots \Omega_N = \prod_i \Omega_i$$

$$\Omega_N = \prod_i \Omega_i = \frac{1}{h^{3N}} \prod_i \int dx_i dy_i dz_i dp_{ix} dp_{iy} dp_{iz}$$

$$E = h\nu$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$k = 6.8 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{Å}^{-1}$$

$$u(s + \Delta Q) = u(s) + \frac{\partial u}{\partial s} (\Delta Q) + \frac{\partial^2 u}{\partial s^2} (\Delta Q)^2 + \dots$$

$$du = \frac{\partial u}{\partial s} (\Delta Q)$$

$$\tilde{\omega} \equiv \frac{1}{T} \quad \Delta x \Delta p \geq h$$

물리학에서 공학의 중요성은 분명히
계산을 통해 정량적으로 확인할 수
있음이다.

과학자로 공부하기 어렵다는
비유를 들 수 있다.

조금 더 쉽고 간단하게 풀어야 하는
수많은 문제들이 있음
함수 있다.

$$= \frac{V^N}{h^{3N}} \pi \int d^3p_x d^3p_y d^3p_z = \frac{V^N}{h^{3N}} \frac{\pi^{\frac{3N}{2}}}{\frac{3N}{2} (\frac{3N}{2} - 1)!} (2m\epsilon)^{\frac{3N}{2}}$$

체적의 방위 무시

$$\Omega_N = C V^N (2m\epsilon)^{\frac{3N}{2}}$$

$$S = k \ln \Omega_N = k \ln [C V^N (2m\epsilon)^{\frac{3N}{2}}]$$

$$= k \ln C + kN \ln V + \frac{3}{2} Nk \ln \epsilon$$

$$= C + kN \ln V + \frac{3}{2} Nk \ln \epsilon$$

U, N 일정

온도는 이렇게
하저고 양쪽하여
만들어진 결과이다.

$$du = Tds - pdv + \mu dn$$

$$Tds = pdv \quad \frac{ds}{dv} = \frac{P}{T} = Nk \frac{1}{V}$$

$$\frac{ds}{du} = \frac{3}{2} Nk \frac{1}{u} = \frac{1}{T}$$

$$PV = NKT$$

$$u = \frac{3}{2} NKT \quad \frac{u}{N} = \frac{3}{2} KT = \frac{1}{2} m v^2 \quad KT = \frac{1}{3} m v^2$$

한 개의 입자가 갖는 에너지

$$PV = NKT$$

$$P = \frac{NKT}{V} = \frac{NKT}{\frac{mN}{e}} = \frac{e}{m} KT$$

$$eV = mN$$

$$P = \frac{e}{m} KT = \frac{ec^2}{mc^2} KT = \frac{ec^2}{mc^2} \cdot \frac{1}{3} m v^2$$

$$P = \frac{1}{3} \frac{v^2}{c^2} ec^2 \quad P = W P c^2$$

$$W = \frac{v^2}{3c^2}$$

$$RDU \quad W = \frac{1}{3}$$

$$MDU \quad W = 0$$

$$ADU \quad W = -1$$

$$v = 500 \text{ m/sec}$$

$$W = \frac{500^2}{3(3 \times 10^8 \text{ m/sec})^2} = 10^{-14} \approx 0$$

이상기체는 운동 에너지 밖에는
없다. photon 기체는 서로
상호 작용이 없다.

복사 지배 우주

물질 지배 우주

암흑에너지 우주

photon 양자비를 이상
기체로 두고 계산을 해도
계산이 나온다.

광자 분자 - 질량 600배
중간이다.

이 공식에 의해

우주가 복사 지배 우주, 물질 지배 우주,

암흑에너지 지배 우주로 나뉘는 것

알 수 있다.

$$du = T ds - p dv + \mu dN$$

$$\frac{du}{dt} = -p \frac{dv}{dt} \quad \dot{u} + p \dot{v} = 0$$

$$V = \frac{4\pi}{3} r^3 \quad \dot{V} = \frac{4\pi}{3} \cdot 3r^2 \dot{r} = \frac{4\pi}{3} \cdot 3r^2 \cdot \frac{\dot{r}}{r} = \frac{4\pi}{3} \cdot 3r \dot{r} = 4\pi r \dot{r}$$

$$\dot{V} = 3 \frac{\dot{r}}{r} V \rightarrow r(t) = R(t) C(u)$$

$$\dot{V} = 3 \frac{\dot{R}}{R} V \quad u = \epsilon V \quad \dot{u} = \dot{\epsilon} V + \epsilon \dot{V}$$

$$\dot{u} + p \dot{V} = \dot{\epsilon} V + \epsilon 3 \frac{\dot{R}}{R} V + p 3 \frac{\dot{R}}{R} V = 0$$

$$V(\dot{\epsilon} + 3\epsilon \frac{\dot{R}}{R} + 3p \frac{\dot{R}}{R}) = 0$$

$$\dot{\epsilon} + 3 \frac{\dot{R}}{R} (\epsilon + p) = 0 \quad \epsilon = \epsilon C^2 \quad \dot{\epsilon} = 0 \quad \epsilon = p$$

$$\frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon} = -3(1+w) \frac{\dot{R}}{R} \quad \ln \ell = -3(1+w) \ln R \quad p = -\epsilon = -\epsilon C^2 = -1 \dot{\epsilon} C^2$$

$$\ell = \ell_0 R^{-3(1+w)} \quad w = -1$$

$$H_0 = 3.24 \times 10^{-18} \text{ h/sec}$$

$$\frac{1}{H_0} = \frac{1}{3.24 \times 10^{-18} \text{ h} \cdot \text{sec}}$$

$$= 9.18 \times 10^9 \text{ h}^{-1} \text{ yr}$$

$$= \frac{9.18 \times 10^9}{0.71}$$

$$= 131 \text{ 억 년}$$

$$u = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{GMm}{r}$$

$$u = \frac{1}{2} m (\dot{r})^2 - \frac{GMm}{r} \frac{4\pi}{3} r^3 \rho$$

$$r(t) = R(t) W \rightarrow \text{Convincing}$$

$$0 \sim 1 \quad \text{scale factor} \quad 0 \sim 1 \quad R(t_0) = 1$$

$$2u = m \dot{r}^2 \omega^2 - \frac{8\pi G}{3} R^2 \omega^2 m \rho$$

$$\frac{2u}{R^2 m \omega^2} = \left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{8\pi G}{3} \rho$$

$$\left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{K C^2}{R^2}$$

하벨상수

$$K = \frac{-2u}{m C^2 \omega^2}$$

이항기제타 광자의 공동점운 운동만 가지고 있고 서로 상호작용하지 않는다는 사실이다.

공간에 흩뿌려져 있는 광자의 수를 알기 때문이다. 4080Mhz 대역 영역 40Hz가 가지는 의미가 여기에 있다. 반사방 때 파장40Hz 광자의 숫자가 지금 2억개의 빛이 뿌려져 있는 양이라는 의미 10배가 된다.

우주 팽창의 파리를 들었는지 이거 1 밀리과 펨토미터의 공을 걸러준다.

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{Kc^2}{R^2}$$

$$\rho = \rho_0 R^{-3(1+w)}$$

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_0 R^{-3(1+w)} - \frac{Kc^2}{R^2}$$

$$R(t) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^x \quad K=0$$

$$\frac{\dot{R}}{R} = \frac{x \left(\frac{t}{t_0}\right)^{x-1} \frac{1}{t_0}}{\left(\frac{t}{t_0}\right)^x} = \frac{\frac{x}{t_0}}{\frac{t}{t_0}} = \frac{x}{t}$$

$$\frac{\dot{R}}{R} = H(t) = \frac{x}{t} \quad H_0 = \frac{x}{t_0} \rightarrow t_0 = \frac{1}{H_0} x = t_H x$$

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 \Rightarrow \left[x \left(\frac{t}{t_0}\right)^{x-1} \frac{1}{t_0} \right]^2 = \left[\left(\frac{t}{t_0}\right)^x \right]^{-3(1+w)}$$

$$2(x-1) = [-3(1+w)+2]x$$

$$x = \frac{2}{3(1+w)}$$

$$RDH \quad w = \frac{1}{3} \quad x = \frac{1}{2} \quad R(t) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_0 = \frac{1}{2} t_H$$

$$MDH \quad w=0 \quad x = \frac{2}{3} \quad R(t) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$t_0 = \frac{2}{3} t_H$$

$$\textcircled{H} \quad \frac{1}{2} m v^2 - \frac{G M m}{r} = 0$$

$$K=0 \quad v = Hr$$

$$\frac{1}{2} m H^2 r^2 = \frac{G m}{r} \frac{4\pi}{3} r^3 \rho_c$$

$$H_0^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_c \quad \frac{8\pi G}{3} = \frac{H_0^2}{\rho_c} = \frac{H_0^2}{\rho_c}$$

$$\left[\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 - \frac{H_0^2}{\rho_c} (\rho_m + \rho_{rel} + \rho_\Lambda)\right] R^2 = 0$$

WMAP 사이트에 들어가 보라.

수천만 번 데이터를 수정하여
내어 놓은 결과를 여기에 올려
놓고 있다.

프랑크 곡선

블랙 바디 라디에이션.

한 지점의 온도를 알면
우주의 변화를 모두
알 수 있다.

별자 평행 상태가

개지고 나면 모든 우주의
온도가 같다. 그 온도를
알면 우주를 알 수
있다.

빅뱅 우주를 이렇게 보라.

$$R^3(1+w) \rho = \rho_0$$

$$R^3 \rho_m = \rho_0 \quad \rho_m = \frac{\rho_{m0}}{R^3} \quad R^4 \rho_{rel} = \rho_{rel0} \quad \rho_{rel} = \frac{\rho_{rel0}}{R^4}$$

상대론적 물질

$$\left[\left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{H_0^2}{c_0^2} (\rho_m + \rho_{rel} + \rho_\Lambda) \right] R^2 = 0$$

$$\left[\left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{H_0^2}{c_0^2} \left(\frac{\rho_{m0}}{R^3} + \frac{\rho_{rel0}}{R^4} + \rho_{\Lambda0} \right) \right] R^2 = 0$$

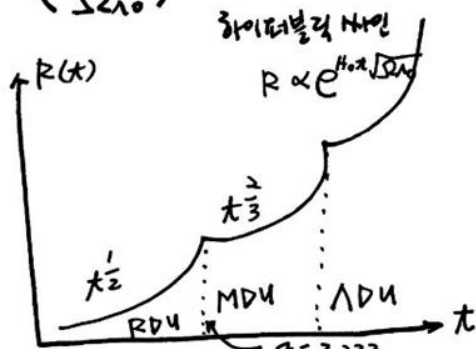
$$\left[\left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - H_0^2 \left(\frac{\Omega_{m0}}{R} + \frac{\Omega_{rel0}}{R^2} + \Omega_{\Lambda0} \right) \right] = 0$$

$$\Omega_{m0} = \frac{\rho_{m0}}{c_0} \quad \Omega_{rel0} = \frac{\rho_{rel0}}{c_0} \quad \Omega_{\Lambda0} = \frac{\rho_{\Lambda0}}{c_0}$$

$$t = \frac{2}{3H_0\sqrt{\Omega_{\Lambda0}}} \ln \left[\sqrt{\left(\frac{\Omega_{\Lambda0}}{\Omega_{m0}} \right) R^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{\Omega_{\Lambda0}}{\Omega_{m0}} \right) R^3} \right]$$

0.7가 팽창한다.

$$R(t) = \left(\frac{\Omega_{m0}}{\Omega_{\Lambda0}} \right)^{\frac{1}{3}} \sinh^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{2} H_0 t \sqrt{\Omega_{\Lambda0}} \right)$$



$$R(t) = \left(\frac{\Omega_{m0}}{4\Omega_{\Lambda0}} \right) \left[e^{\frac{3}{2} H_0 t \sqrt{\Omega_{\Lambda0}}} - e^{-\frac{3}{2} H_0 t \sqrt{\Omega_{\Lambda0}}} \right]$$

$$R(t) \propto e^{\frac{3}{2} H_0 t \sqrt{\Omega_{\Lambda0}}}$$

$$T = 10^9 \text{ K} \quad \rho_b = 10^{-24} \text{ kg/m}^3$$

$$\rho R^3(1+w) = \rho_0 \quad \rho_b R^3 = \rho_0$$

$$R = \left(\frac{\rho_0}{\rho_b} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{10^{-24}}{10^{-24} \text{ kg}} \right)^{\frac{1}{3}} = 3.47 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$T = \frac{1}{3} a T^4 = \frac{1}{3} \rho c^2 \quad \rho = \frac{a T^4}{c^2}$$

$$\rho R^4 = \rho_0$$

$$\frac{a T^4}{c^2} R^4 = \frac{a T_0^4}{c^2}$$

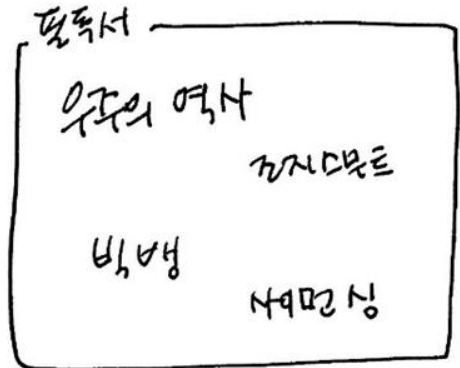
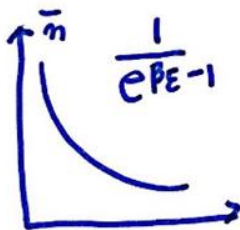
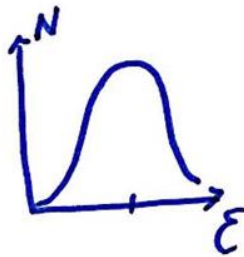
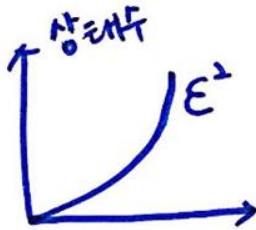
$$R T = T_0$$

$$3.47 \times 10^{-9} \times 10^9 = T_0 = 3.47 \text{ K}$$

$$(ds)^2 = (cdt)^2 - R^2(t) \left[\left(\frac{w}{r_1} \right)^2 + (w d\theta)^2 + (w \sin\theta d\phi)^2 \right]$$

FRW metric 양쪽를 제곱 광

$$(ds)^2 = 0 \quad \text{null interval}$$



현재 지평선 안으로 들어옴.

참고
DATA sheet

상대론적 양자.

가장 중요한 것은 양자를 이해하는
아래의 수식이다.