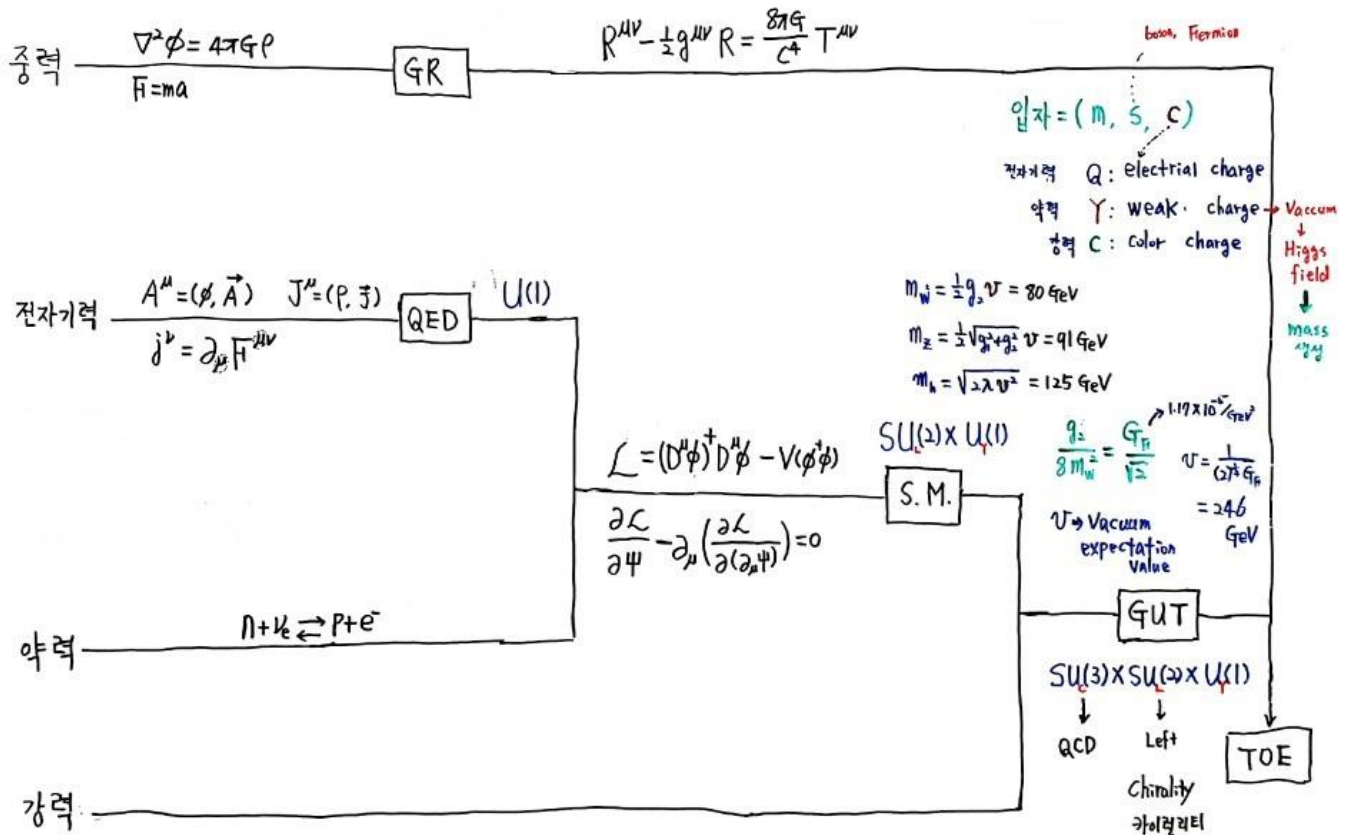


제 10 회 137 억년 우주의 진화 10 강 입자물리학  
(박문호 박사님 강의를 초록한 것입니다.)

Top down 식으로 우주의 4 가지 힘을 먼저 보자



고전 역학의 중력이 아인슈타인에 의해 상대론적 4 차원 버전으로 바뀐다.

GR(general relativity)은 일반상대성 이론이다.

다음은 전자기력(electromagnetic force)이다

전자 기력을 양자화 한 것이 QED(quantum electro dynamics)이다.

다음은 약력(weak force)이다.

약력이 QED 와 만난다. 약력과 QED 가 만나는 이론이 표준모델, SM(standard model)이다.

1960 년대 와인버거, 살람, 글라쇼 같은 학자들이 연구했다.

마지막으로 강력(강한상호작용: strong force)이 SM 과 만나 결합해서 GUT(grand unified theory)를 만든다.

QED 부터는 미시세계로서 양자역학이다. Quantum 이다.

그러나 중력은 거시세계로서 양자화가 되어 있지 않았다.

SM 과 강력이 만나서 GUT 를 만들었다. 그러나 아직 중력과 통합 한 이론은 완성되지 못했다.

그 노력 중 하나가 super string 이론이다. super string 은 아직 실험결과를 내어 놓지 못했다.

만일 된다면 TEO(theory of everything)가 될 것이다. 이름은 만들어 놓았다.

모든 자연과학자들의 꿈이지만 아직 완성되지 못했다.

QED 는  $U(1)$ , SM 은  $SU(2) \times U(1)$ 이며, GUT 는  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 이다. 이것이 결론이다.

GUT 는 이제까지 인류가 획득한 최고의 지식이다. 입자 물리학이 통합된 가장 최근의 이론이다.

special unitary 3, 2, 1 로 구성되어 있다. 입자물리학이 거의 통합된 가장 최고의 이론이다. Unitary 는 행렬의 값이 1 인 행렬이다.

가장 중요한 것은 인덱스  $c, l, y$  의 의미이다.

$c, l, y$  가 무슨 의미인지 물리적으로 정확하게 알면 거의 다 이해한 것이다.

모든 정보는  $c, l, y$  에 있다.

QED 의  $U(1)$ 과 SM 의  $U_y(1)$ 은 완전히 다르다.

$U_y(1)$ 은 약전(약력과 전자기력) 상호작용의 symmetry 이다. 이것이 자발적으로 붕괴되는 현상이 힉스 메카니즘이다.

$c$  는 color 인데 color 를 다루는 분야를 QCD(quantum chromo dynamics)라 한다. 우리말로 양자색채역학이다.

글루온들 사이의 역학관계이다. 원자 핵 속을 이해하는 학문이다.

$l$  은 left, right 의 left 인데, chirality 를 다룬다. 우주의 모든 입자는 오른쪽 입자와 왼쪽입자가 있다.

입자의 세계에는 입자가 쌍으로 있다. 오른쪽은 오른쪽으로 회전하고 왼쪽은 왼쪽으로 회전한다. up quark 도 오른쪽 회전 up quark 왼쪽 회전 up quark 이 있다.

쌍으로 있다. 그런데 뉴트리노는 왼쪽 밖에 없다. 오른쪽 뉴트리노는 없다.

거시 세계에는 오른쪽 왼쪽이 없다.

미시세계에서는 입자는 반드시 오른쪽 왼쪽 입자가 있다. SUI 2 는 왼쪽 입자에 대해서만 적용된다.

중력은 뉴턴의  $F=ma$  에서 시작된다. 가로선 위에는 장 방정식이고 밑에는 운동 방정식이다. 장이라는 개념과 입자의 운동이라는 개념을 잘 따라와야 한다. 장 방정식과 운동방정식이 쌍으로 되어 있다.

상대론적 운동방정식에 해당되는 것이 측지선 방정식이다.

내비게이션 할 때는 일반상대성 이론을 풀어서 그 공식으로 GPS 가 운영된다.

달까지 가는 것은  $F=MA$  로 되지만, 인공위성으로 측정하는 NAVI 는  $F=ma$  로는 안 된다. 그것은 측지선 방정식과 일반 상대성 이론을 적용해야 된다.

푸아송(Poisson) 방정식이라고하는데

파이는 중력 포텐셜이고, 로우는 물질(지구)의 밀도이다.  $G$  는 만유인력 상수이다.

이것에 해당하는 4 차원 방정식이 아인슈타인의 중력장 방정식이다.

지구상에서 인간이 만든 가장 위대한 공식이다.

아인슈타인이 1905 년에서 1916 년까지 11 년 동안 유도했던 공식이다.

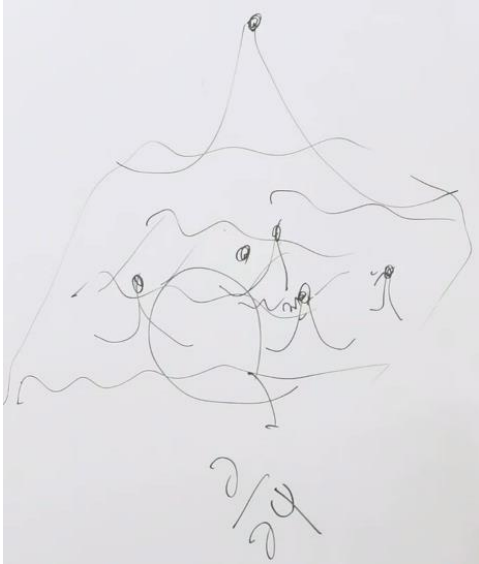
모두 장 방정식 (field equation)이다.

전자기력 필드의 상호 운동관계에서 생기는 방정식이 맥스웰 방정식인데, 전자기장 텐서이며  $4 \times 4$  메트릭스이다. 맥스웰 방정식은 방정식 4 개를 1 개로 만들었다.

약력은 뉴트리노와 일렉트론 뉴트리노가 상호작용을 하면 양성자와 전자가 왔다 갔다 한다.  
 일렉트론 뉴트리노가 반대편으로 넘어가면 앤티 일렉트론 뉴트리노라는 반물질이 된다.  
 이 간단한 공식이 별 속의 핵융합 과정을 설명한다.  
 파울리는 뉴트리노를 예측하여 노벨상을 받았다.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \psi} - \partial_\mu \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu \psi)} \right) = 0$$

오일러-해밀토니안 공식이다. 여기서부터는 익숙하지 않을 것이다. 입자물리학이다.  
 프사이는 필드이다. 좌표가 아니라 field 를 갖고 미분을 한다.  
 지금까지 각 나라 국민 한 사람 한 사람을 갖고 미분 했다면, 입자 물리학에서는 나라별로 미분을 하는 것이다.  
 전자기파로 가득 차 있는 field 를 quantize 하면 입자가 된다. 입자물리학에서는 미분을 할 때 필드로 미분을 한다. 게임의 룰이 다르다.  
 파살을 쓰는 것은 개별 포인트(좌표)가 아니라, 여러 가지 필드를 미분한다.



(field 를 미분하면 입자가 된다)

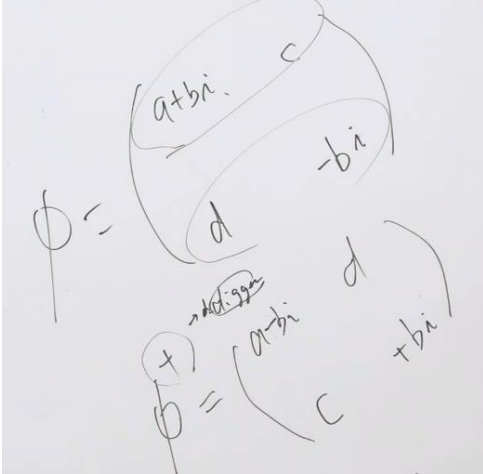
진공 장을 미분한다는 개념이 나온다. 필드에도 여러 종류의 필드가 있다.  
 그것을 다루는 것을 입자물리학이라 한다.

해밀토니안은  $H=T+V$  (T: 운동 에너지, V: 포텐셜 에너지)가 되고,  
 라그랑지안은  $L=T-V$  가 된다.  
 양자역학에서는 주로 해밀토니안을 쓰고 입자 물리학에서는 주로 라그랑지안을 쓴다.  
 라그랑지안 텐시티는 4 차원 시공에서의 라그랑지안의 밀도이다.

질량을 만드는 힉스메카니즘에서 사용하는 라그랑지안 텐시티가 공변미분(covariant derivative) 형태로 주어진다.  
 공변미분 속에 여러 가지 field 가 coupling 되는 양상이 그 속에 모두 들어있다.

시공에 대한 미분이다. 복소수 행렬이다.

파이가 숫자가 아니고 행렬이면 데거(dagger: 단검)를 취하면 행을 열로 바꿔야 한다.  
그리고 허수를 취해 줘야 한다. .(그림 참조)



공부 잘하는 방법은 무식하게 용감해 지는 것이다.  
하나도 어렵지 않다. 단지 모를 뿐이다. 알면 된다.  
그냥 조작하는 것이다. 바꾸는 것이다. 재능의 80%는 용기이다. 용기가 있으면 다한다.

먼저 결론을 알면 된다.  
이것을 풀면 된다. 노벨상이 이곳 전체에서 20 여개 나왔다. 이것을 풀면 질량이 나온다.

$$m_W = \frac{1}{2} g_2 v = 80 \text{ GeV}$$

$$m_Z = \frac{1}{2} \sqrt{g_1^2 + g_2^2} v = 91 \text{ GeV}$$

$$m_h = \sqrt{2\lambda v^2} = 125 \text{ GeV}$$

$m_W, m_Z, m_h$  의 질량이 나온다. 모든 것이  $v$  에서 나온다.

$v$  는 vacuum 이다. 질량이  $v$  에서 나온다.  
진공 에너지에서 우주가 만들어 졌다. 기절할 일이다.

$$\begin{aligned}
D_\mu &= \partial_\mu + \frac{i}{2} g_1 Y B_\mu + i g_2 \tau \cdot W_\mu & \tau = \frac{1}{2} \sigma \\
&= \partial_\mu + \frac{i}{2} g_1 Y B_\mu + \frac{i}{2} g_2 \sigma \cdot W_\mu & \sigma \cdot W_\mu = \sigma_1 W_\mu^1 + \sigma_2 W_\mu^2 + \sigma_3 W_\mu^3 \\
\sigma_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} & \sigma_2 &= \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} & \sigma_1 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\
&= \partial_\mu + \frac{i}{2} (g_1 Y B_\mu + g_2 \sigma_3 W_\mu^3) + \frac{i}{2} g_2 (\sigma_1 W_\mu^1 + \sigma_2 W_\mu^2) \\
&= \partial_\mu + \frac{i}{2} \left[ \begin{pmatrix} g_1 Y B_\mu & 0 \\ 0 & g_1 Y B_\mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} g_2 W_\mu^3 & 0 \\ 0 & -g_2 W_\mu^3 \end{pmatrix} \right] + \frac{i}{2} g_2 \left[ \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^1 \\ W_\mu^1 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -i W_\mu^2 \\ i W_\mu^2 & 0 \end{pmatrix} \right] \\
&= \partial_\mu + \frac{i}{2} \begin{pmatrix} g_1 Y B_\mu + g_2 W_\mu^3 & 0 \\ 0 & g_1 Y B_\mu - g_2 W_\mu^3 \end{pmatrix} + \frac{i}{2} g_2 \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^1 - i W_\mu^2 \\ W_\mu^1 + i W_\mu^2 & 0 \end{pmatrix} & g_1 &= \sqrt{g_1^2 + g_2^2} \sin \theta_W \\
& & g_2 &= \sqrt{g_1^2 + g_2^2} \cos \theta_W \\
g_1 B_\mu &= -g_1 Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu & W_\mu^\pm &= \frac{1}{\sqrt{2}} (W_\mu^1 \mp i W_\mu^2) \\
g_2 W_\mu^3 &= g_2 Z_\mu \cos \theta_W + e A_\mu
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_\mu &= \partial_\mu + \frac{i}{2} \begin{pmatrix} -g_1 Y Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu & 0 \\ 0 & -g_1 Y Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu \end{pmatrix} + \frac{i}{2} g_2 \sqrt{2} \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^+ \\ W_\mu^- & 0 \end{pmatrix} \\
&= \partial_\mu + \frac{i}{2} \left[ e \begin{pmatrix} Y & 0 \\ 0 & Y-1 \end{pmatrix} A_\mu + \begin{pmatrix} -g_1 Y Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu & 0 \\ 0 & -g_1 Y Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu \end{pmatrix} Z_\mu \right] + \frac{i}{2} g_2 \sqrt{2} \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^+ \\ W_\mu^- & 0 \end{pmatrix} \\
& \text{scalar doublet } \phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} & Y &= 1 \\
D_\mu \phi &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ \partial_\mu h \end{pmatrix} + \frac{i}{2} e \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} A_\mu \\
&+ \frac{i}{2} \begin{pmatrix} -\sqrt{1-\sin^2 \theta_W} + \sqrt{1-\cos^2 \theta_W} & 0 \\ 0 & -\sqrt{1-\sin^2 \theta_W} - \sqrt{1-\cos^2 \theta_W} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} Z_\mu + \frac{i}{\sqrt{2}} \frac{g_2}{2} \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^+ \\ W_\mu^- & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} \\
&= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ \partial_\mu h \end{pmatrix} + \frac{i}{2\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{g_1^2 + g_2^2} \end{pmatrix} Z_\mu + \frac{i}{2} g_2 \begin{pmatrix} W_\mu^+ \\ 0 \end{pmatrix} (h+v) = \begin{pmatrix} \frac{i}{2} g_2 W_\mu^+ (h+v) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \partial_\mu h + \frac{i}{2\sqrt{2}} \sqrt{g_1^2 + g_2^2} (h+v) Z_\mu \end{pmatrix} \\
\frac{1}{2} m_W^2 &= \frac{1}{8} g_2^2 v^2 & m_{W^\pm} &= \frac{1}{4} g_2^2 v^2 \\
\frac{1}{2} m_Z^2 &= \frac{1}{8} (g_1^2 + g_2^2) v^2 & m_{Z^0} &= \frac{1}{4} (g_1^2 + g_2^2) v^2 \\
m_{\gamma^0} &= \frac{1}{2} \sqrt{g_1^2 + g_2^2} v
\end{aligned}$$

시간과 공간에 대하여 공변미분한다.

공변미분이 여러 형태가 있는데 힉스 질량을 구하기 위한 용도로 유도된 공변미분 형태이다. 편미분일 경우  $\partial x$  나  $dx$  는 같다고 생각해도 된다.

타우는 1/2 시그마이다

시그마가 파울리 매트릭스의 2 차원 무한소 회전자이다. 대칭변환을 할 때 회전이 나온다. 어떤 함수에 무엇을 곱해도 절대치 크기가 바뀌지 않게 하는 함수가 있다.

게이지 변환은  $e^{i\theta}$  를 곱해 준다는 말이다. 게이지 변환은 연속회전이란 의미이다.

보통 대칭은 180 도나 360 도 돌렸을 때 같아지는 것이지만, 원판은 어떤 각도로 돌려도 대칭이다.

삼각형은 120 도를 돌려야 대칭이 된다. 중간에 어떤 값도 대칭을 맞추지 못한다.

그러나 원판은 무한소로 돌려도 동일하다. 이러한 변환을 게이지 변환이라 하며, 그렇게 하기 위해 수학적으로  $e^{i\theta}$  를 곱해주는 것이다.

$e^{i\theta}$  의  $\theta$  값이 어떤 값이 와도 상관없다는 것이다. 이런 것을 연속대칭의 세계라 한다. 그것의 세계이다. 게이지 이론이다. 2 차원 무한소회전이 시그마이다.

시그마는 1,2,3 가 있으며 각각은 2\*2 매트릭스이다.

$$\sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

상수도 행렬로 표시할 수 있다. 단위 행렬로 표시한다.

$B_\mu$  가 electron field 이다. 포톤과 관계있다. 포톤이 합쳐져 있다. 여기에서 포톤이 나온다.

W 에서 W 입자가 나온다. 여기서 다 만들어 진다.

이것 유도하는 데서 노벨상이 2 개 나왔다.

답은 나와 있다. W 는 80GeV 이고, Z 는 91GeV, 그리고 H 는 125GeV 가 나왔다.

Zu 가 나중에 Z 파티클이 된다. 그리고 Au 가 포톤 필드이다.  
e 는 일렉트론 charge 커플링 항목이다.

3 년전에도 이것을 다 풀었다. 그런데 왜 다시 하느냐? 이것 밖에 없기 때문이다.  
이것만 숙달하면 입자물리학이 무엇인지 실제로 해보는 것이다.  
1 시간 투자해서 입자 물리학이 무엇인지 진짜 느껴봐야 한다.  
초기 투자가 필요하다. 초기투자는 그냥 하는 것이다.  
하나도 모르는 것 당연하다. 그럴 때는 그냥 따라 그린다. 그것이 초기 투자이다.  
그러다 보면 몸에 붙는다.  
몸에 붙으려면 한 3 년 걸린다. 그리고 의미를 알려면 몸에 붙고 2-3 년 걸린다.  
그런 단계를 생각하지 않고 어렵다고 하는 것은 넌 센스이다.  
몸에 붙어야 의미를 안다.  
잘 모르고 어려울 때는 무지하게 중요하다고 자기 최면을 걸어야 한다.

우주의 모든 입자가 어떻게 질량을 획득했는가?  
이 말은 우주가 어떻게 출현 했는가와 같은 이야기이다.  
지금 풀고 있는 이 수식에서 우주가 어떻게 출현했는가를 그대로 보는 것이다.

양성자가 질량이 없으면 양성자가 아니다. 질량은 어디서 왔는가 봤더니 진공에서 왔다.  
지난 백 년 동안 수 많은 과학자들이 붙어서 풀었고, 실험으로 증명한 것이다.

진공의 바다에 입자들이 들어가 해엄을 쳤다. 처음에는 입자들의 질량이 없었다.  
해엄을 칠 때 저항이 생긴다. 그 저항의 크기를 계산한다.  
 $D\mu$  가 입자이고  $\phi$  가 바다이다.  $D\mu$  속에 우주의 모든 입자들이 들어 있다.  
이 입자들이 바다에 들어간다. 바다와 입자들이 엉겨 붙는다.  
이것을 COUPLING 이라고 하며 그 엉겨 붙는 정도를  $g_1, g_2$  로 표시된다.  
바다에 들어가는 여러 입자들이 허우적거리며 해엄치는 모든 사건들을 계산한다.  
해엄이 힘든 정도에 따라 질량이 정해진다

얇이 있는 그릇에 연필, 이쑤시개, 바늘을 집어 넣고 돌리면, 감기는 얇의 두께가 모두 다르다. 이것이 진공 즉 힉스장이다. 무엇을 넣느냐에 따라 coupling 되는 정도가 다르다.  
그 정도를 계산하는 것이다.

그러려면 각자를 분리해 주어야 한다. 먼저 포톤( $A_\mu$ )을 분리시킨다.  
Z 입자가 포톤과 붙어 있으므로 Z 입자를 포톤과 분리 시킨다.  
분리 되어 있던 것을 결합시켰다가 다시 분리 시킨다.  
먼저  $A_\mu$ (포톤)을 분리 시키고 다음은  $Z_\mu$  를 분리시키고 마지막으로  $W^{+-}$  를 분리 시킨다.

힉스 입자의 속성은 spin 이 0 이고 질량이 있다. 스칼라 입자이다.  
미분이다. 이것이 값이 아니고 연산자이다. 연산자를 갖고 힉스 field 에다 오퍼레이션을 하는 것이다. 그러면 질량이 나오는 것이다.  
지금까지 구한 것은 공변미분 도함수를 구했다. 파이라는 함수에다가 공변미분을 하는 것이다. 공변미분에 해당하는 파이가 이렇게 주어진다.

( $h+\nu$ ) 힉스 입자와 진공 장에 대하여 풀면 바로 진공에서 모든 것이 나왔다는 것을 보여준다.  
 scalar doublet 스칼라 이중항은 행렬로 표시 되는데 1 행 2 열이며, element 가 2 개 있다.  
 하나는 0 이고, 하나는 힉스장과 vacuum 장이 합쳐진 스칼라 함수이다.  
 그런데 스칼라 실항수 이중항에서  $Y=1$  이다.  $y$  는 weak charge 이다.  
 전체 이야기는  $c, l, y$  만 알면 되는데 그 중에서 특히  $y$  만 알면 거의 다 알게 된다.

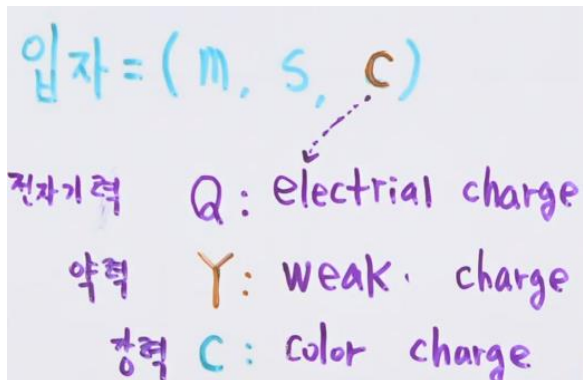
스칼라 이중항을 오퍼레이션하면  $y=1$  일때 포톤 필드가 제로가 된다.  
 포톤이 사라진 것이다.  
 빛은 진공을 경험할 수 없다.



빛은 전자기 필드에서 나왔다. 전자기 필드를 양자화 하면 빛이 된다. 물리학적으로 빛의 본질은 electromagnetic field 를 quantize 한 것이 빛이다.  
 전자기 필드를 양자화하면 이 필드가 뭉치고 올라가 한 점이 된다.  
 한 포인트의 실체가 된다. 이것이 빛 알갱이이다. 이것이 광자이다.  
 광자의 엄마는 전자기파이다.  
 전파가 곧 빛이다. 전자기 필드를 양자화하면 빛이 된다. 빛과 전기는 같은 것이다.

진공은 전기를 띠지 않는다. 전기 현상은 전기를 띤 입자끼리만 작용한다.  
 플러스 전기를 띤 양성자와 마이너스 전기를 띤 전자하고만 작용한다.  
 진공은 전기 전하가 제로이다.

전하에는 3 종류가 있다. 이것이 오늘 강의 중 가장 중요한 부분이다.



우주의 모든 입자는 세가지 속성 밖에 없다.  
 mass, spin, charge 이다.  
 입자물리학에서 힉스 메카니즘은 입자의 질량이 어떻게 출현하는가를 설명한다.  
 그리고 spin 이 설명이 되어야 한다.  
 그런데 가장 문제가 되는 것은 charge 이다.

우주에는 3 종류의 charge 가 있다.  
 우리가 흔히 보는 전기는 전자기장에서 온 전기이다. electrical charge 이다.  $Q$  로 표시한다.  
 두 번째 전하는 weak charge 가 있다. 이 weak charge 가  $Y$  로 표시된다.  $Y$  비밀만 알면 된다.

세 번째 charge 가 C 로 표시하는데 이것이 color charge 이다.

charge 의 종류에 따라 전자기 상호작용, 약력, 강력으로 구분된다.  
진공은 electric charge 가 제로이지만 weak charge 의 바다이다.  
weak charge 가 vacuum 이다.

그래서 빛은 진공을 경험할 수 없다. 진공의 바다에 빛은 헤엄칠 수 없다.  
W 입자와 Z 입자는 진공의 바다에서 헤엄친다. 그래서 질량을 얻는다.  
그러나 빛은 진공의 바다에서 헤엄칠 수 없다.  
저항이 없으므로 질량이 제로이다. 저항이 질량이다.

저항 값이  $g_1, g_2$  이다.  
저항이 제로가 된 이유는  $y$  값이 1 이기 때문이다.

$W^-$ :80 GeV  
 $W^+$ :80 GeV  
 $Z^0$ :91 GeV  
 $W^-, W^+, Z^0$ 가 매개하는 힘이 약력이다.

$r$ (포톤):0, 포톤은 질량이 제로이다.

에너지가 100GeV 이상이면  $W^-, W^+, Z^0$  그리고  $r$ 가 같은 형제였음이 밝혀진다.  
100GeV 이상이 되면  $W^-, W^+, Z^0$ 의 질량이 0가 된다.  
처음에는 한 형제이었으나  $W^-, W^+, Z^0$ 는 진공의 바다를 지나는 동안 질량을 얻어 무겁게 된 것이다.

지금 이 수식들은 진공의 바다에서 질량을 얻는 과정을 설명하는 것이다.  
질량 제로에서 양성자의 80 배 이상의 질량을 얻는 과정을 힉스 메카니즘이라고 한다.

1997 년 와인버거의 랩톤모델이다.  
W 입자와 Z 입자의 질량을 예측했다.

이 과정에서 다른 페르미가 연구 했던 다른 관계식이 있었다.

$$\frac{g_2}{8m_W^2} = \frac{G_F}{\sqrt{2}}$$

$$G=1.17 \times 10^{-5}/GeV^2 \quad v=246 \text{ GeV}$$

이  $v$  값을 vacuum expectation value(진공 기대 값)라고 한다.  
진공이 246GeV 라는 상상을 초월하는 에너지를 갖고 있는 것이다.  
진공의 바다가 에너지로 가득하고 그 에너지를 입자들이 획득하는 것이다.  
여기에서 보통 노벨상의 10 개에 해당하는 장외 노벨상이 나왔다.

$Y$  하나가 엄청난 의미를 갖고 있다.  $Y$  가 weak charge 이다.  
vacuum 이 weak charge 인 것이다.

진공은 전기 charge 는 없고 전부 weak charge 로 가득 차 있다. 진공에 weak charge 가 얼마나 있는지도 계산해 낼 수 있다.

천문학에 우주를 이해 못하는 가장 큰 이유가 태양 때문이다.

태양 때문에 별이라는 개념이 와 닿지 않는다.

뒤집어서, 지금 이 핵스 메카니즘을 피부로 느끼지 못하는 이유는 전기 때문이다.

인류는 우주의 4 가지 힘 중에서 중력장은 당하기는 하지만 볼 수는 없다.

그러나 눈만 뜨면 볼 수 있는 필드가 딱 하나 있다.

바로 전자기장이다. 전기를 끄고 깜깜한 곳에서 전자기장이 뭔지 느껴봐야 한다.

지금 다시 전기 스위치를 켜면 쏟아지는 포톤을 보게 된다.

우리는 낮에는 태양광과 밤에는 전기 불 빛을 통해서 항상 전자기장을 보며 산다.

만일에 우리가 전기 없는 시대에서 동굴 속에서만 살았다면 전기장을 아무리 설명해 줘도 모를 것이다.

마찬가지로 다른 장도 충분히 있을 수 있다. 우리가 못 볼 뿐이다.

지금 전기를 끈 상태에서는 전자기장을 못 본다. 못 본다고 해서 전기장이 없는 것은 아니다.

마찬가지로 weak charge 는 볼 수는 없지만 이론으로, 입자가속기를 통해 증명해 보일 수 있다. 반드시 있다.

과학을 한다는 것은 너무나 당연했던 것을 뒤집어 봐야 한다.

우리는 태어나면서부터 전자기장에 젖어 있었기 때문에 모든 것을 전기적 현상으로만 생각한다.

그러나 그것은 우주의 4 가지 힘 중 한가지일 뿐이다. 그러나 약력도 있다는 것이다.

weak charge 가 있다는 것을 내가 2 시간동안 수식으로 보여준 것이다.

그것이 있다는 결정적 증거는 입자가속기에서 그것을 만들어 내었다.

그래서 핵스 입자를 찾았다.

전기장이 있듯이 진공장도 있다. 전기장이 플러스, 마이너스 전하가 있듯이 진공장에는 weak charge 가 있다.

weak charge 는 전기장과 상호 작용하지 않는다.

전자기장이 양자화 된 것이 빛이므로 빛은 진공을 경험할 수 없다.

전자기장은 전기 전하를 띤 입자들끼리 만 동작한다.

dark matter 가 뭔지는 모르지만 확실한 것은 dark matter 가 원자로 되어 있지 않다는 것이다. 만일 dark matter 가 원자로 구성되어 있으면 반드시 전기를 띤다.

그러면 전자기파로 교신할 수 있다.

그러나 지금까지 DM(dark matter)이 detect 되지 않았기 때문에 원자로 구성되어 있지 않다고 과학자들은 확신한다.

그런면 dark matter 이 있다는 것을 어떻게 아는가?

DM 은 중력장과 coupling 되어 있다. 중력장에 영향을 미친다.

그렇게 때문에 그 크기를 측정할 수 있다.

그래서 DM 이 있다고 확신한다. 그러나 DM 도 전자기장과 상호작용하지 않는다.

상호작용하지 않는다고 존재하지 않는 것은 아니다.  
빛은 진공과 인터랙션 하지 않는다 .그래서 빛의 질량이 0 이다.  
힉스장과 인터랙션 한다는 말은 질량을 얻는다는 말이다.  
인터랙션하지 않았기 때문에 질량이 제로이다.

(2 교시)

입자물리학과 우주론은 분리되어 있지 않다. 분리한다는 것이 넌 센스이다.  
서로 매칭되기 때문에 정확도와 완결도가 매우 높다.

의문이 풀리기까지 시간이 걸린다. 나도 3 년전, 5 년전, 7 년전과 비교해도 느낌이 다르다.

방법 중 하나는 기본으로 들어가는 곳에 집중적으로 투자를 해야 한다.  
기초가 부실하면 고층빌딩을 지을 수 없다.  
기본단계에 에너지의 90%를 투자해야 한다.  
아니면 나중에 더 깊이 들어가면 위험해 진다. 무너진다.  
재미 없고 딱딱한 기본 단계를 숙달할 정도로 하고 나면, 다른 단계가 없다는 것을 알게 된다. 그것으로 다 된다.

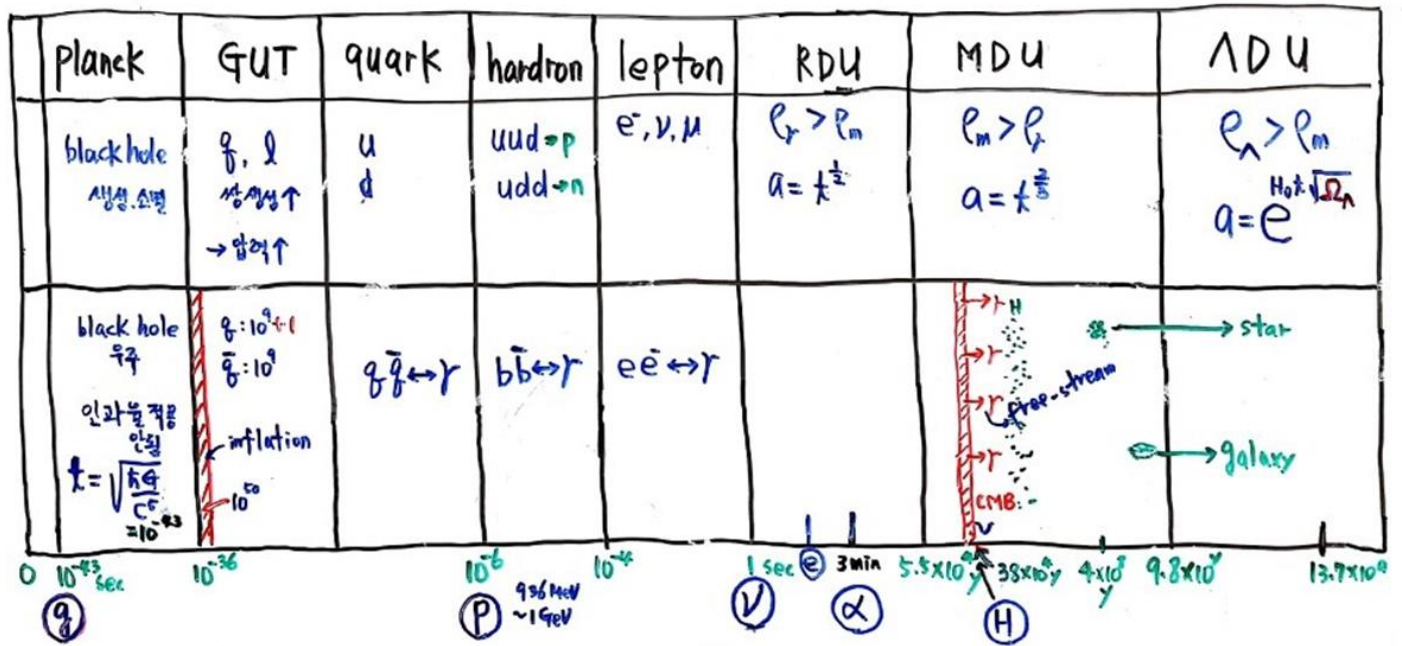
이 강의를 10 분 단위로 4-5 개 만들어서 유튜브에 올려 전국의 자연과학 공부하는 사람들 모두 이것을 풀어보게 했으면 좋겠다.  
진품을 봐야 된다. 힉스 메카니즘을 그대로 풀었다.  
보면 볼 수록 수학적 구조가 아름답다. 하나의 군더더기가 없다.

우주론에서 어렵다는 CMB 도 입자물리학과 링크되지 않고는 전모를 보기 힘들다.

입자들은 언제 출현 했는가?

입자물리학의 관점에서 우주의 시대구분은 상당히 의미가 있다.

빅뱅에서 지금까지 물질이 진화해오는 과정, 137 억년 우주의 진화이다.



Planck 시대는 black hole 이 생성 소멸하고 우주 전체가 black hole 이 가득 찬 시기이다.

시공간이 분산되어 있어 인과율이 적용되지 않는다.

그리고  $10^{-43}$  초에 중력이 분리되어 나온다.

GUT 시대는 grand unified theory 가 적용되는 시기이다.

Quark 과 lepton 이 급격하게 쌍 생성되는 시기로 열역학적으로 우주 압력이 극도로 오르는 시기이다.

$10^{-36}$  초에 인플레이션이 일어났다. 우주가  $10^5$  배로 커진다.

출발점에서 우주는 양성자보다도 작았다. 인플레이션 이론은 현대 우주론의 총아이다.

Quark 이  $10^9 + 1$  개이고 antiquark 이  $10^9$  개 이었다. Quark 와 antiquark 이 같이 소멸하고 물질이 1 개만 생겼다.

$10^9$ : 1 의 비율로 물질이 생겼다.

Quark 와 antiquark 이 만나서 photon 을 만들었다

$10^{-6}$  초에 proton(양성자)가 유리되어 나온다.

hadron 은 baryon 이라고도 한다.

up quark 2 개와 down quark 1 개가 합쳐져 proton(양성자)이 되고, down quark 2 개와 up quark 1 개가 합쳐져 neutron(중성자)가 되었다.

baryon 과 antibaryon 이 충돌하여 photon(광자)이 만들어 졌다.

Lepton 시대에는 전자, 뉴트리노, 뮤온이 존재 했다. 전자와 양전자가 충돌하여 광자를 만들었다.

**RDU(radiation-dominated universe)**에서는 포톤의 밀도가 물질 밀도보다 높다.

우주의 반지름이 늘어나는데  $a = t^{\frac{1}{2}}$ 으로 늘어 난다.

1 분에서 5 분 사이에 헬륨 밀도로 많은 입자들이 생성된다.

빅뱅 후 1 초 시점에 뉴트리노( $\nu$ )가 나오고, 15 초 후에는 전자( $e$ )가 나오며 빅뱅 후 3 분 시점에 헬륨원자인  $\alpha$  파티클이 생성된다.

RDU 에서 MDU(**matter-dominated universe**)로 바뀌는 시기는 빅뱅 이후 5.5 만년이 지났을 시점이다

MDU 시대에는 물질의 밀도가 포톤의 밀도보다 높으며 우주의 반지름은  $a = t^{\frac{2}{3}}$ 로 늘어난다

MDU 시대에 우주에서 엄청 중요한 사건이 일어난다.

빅뱅 후 38 만년이 되는 시점에 포톤이 자유롭게 되고,

이 포톤을 2003 년 WMAP 가 측정하였다.

이것을 CMB(cosmic microwave background)라 한다.

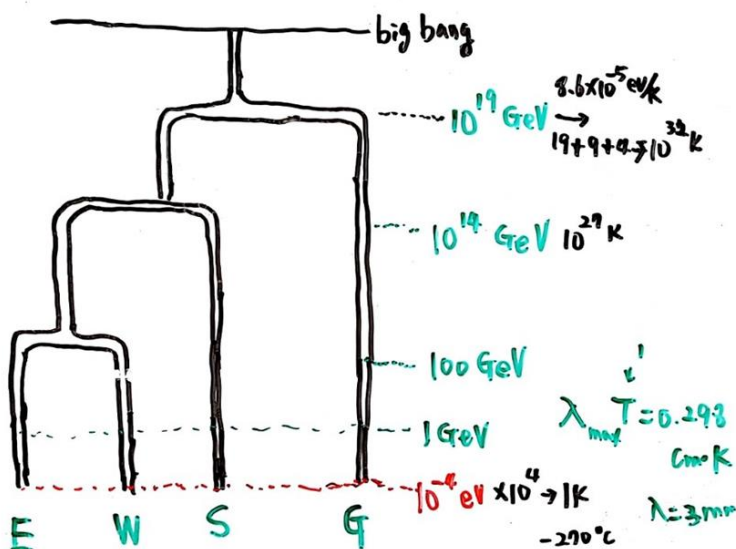
이 시점에 별의 재료가 되는 수소(H)원자(atom)가 출현한다.

수소 원자들이 모여서 별이 탄생한다. 빅뱅 후 약 4 억년 경이다. 그 후에 갤럭시가 생긴다.

빅뱅 이후 98 억년이 지나는 시점에서 우주가 가속 팽창되는  $\Lambda$ DU 시대가 된다.

**$\Lambda$ DU(lamda-dominated universe)**시대는 Dark energy 가 지배하는 시대이다.

다크 에너지가 물질 에너지보다 많다. 우주는 지수 함수  $a = e^{Ht\sqrt{\Omega_\Lambda}}$ 로 팽창한다.



우주의 4 가지 힘 중 빅뱅 후 제일 먼저 처음 빠져 나오는 힘이 중력(G)이다.  
이어서 강력(S)이 빠져나오고 , 그리고 세번째 W) 네번째(E)가 한꺼번에 나온다.  
중력이 나오는 시점의 에너지가  $10^{19}$  GeV(온도  $10^{32}$  K)이고  
강력이 나오는 시점의 에너지는  $10^{14}$  GeV( $10^{27}$  K)이다.  
W 와 E 가 분리된 지점이 100GeV( $10^{15}$  K)이다.

100GeV 보다 높으면 W 와 E 는 하나가 된다.  
양성자 질량은 1GeV 이다.  
현재의 에너지는  $10^{-4}$  eV 이다. 온도로 바꾸면 1k(-270 도 C)이다.  
에너지를 온도로 바꾸는 식은  $8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ 이다.

1 도 K 일때 파장은 2-3mm 정도이다. 우주가 팽창하면 온도가 떨어진다.  
아타카마 사막 천문대 ALMA 는 Atacama Large Millimeter/submillimeter Array 의 약자이다.  
5000m 꼭대기에 mm 사이즈 파장을 측정하기 위해 세운 천문대이다.

빅뱅당시  $10^{32}$  K 이던 온도가 쿨 다운되어 영하 270c 까지 떨어졌다.  
그것을 파장으로 변환하면 mm 사이즈이기 때문에 5000m 꼭대기에 mm 사이즈 파장을  
측정하기 위해 망원경을 설치한 것이다.

멕시코에 있는 지구상 가장 큰 전파망원경이 측정하는 것이 얼마나 미세한 것인가 하면  
달에서 파리가 날개 짓 할 때 나오는 에너지를 지구에서 측정한다는 것이다..

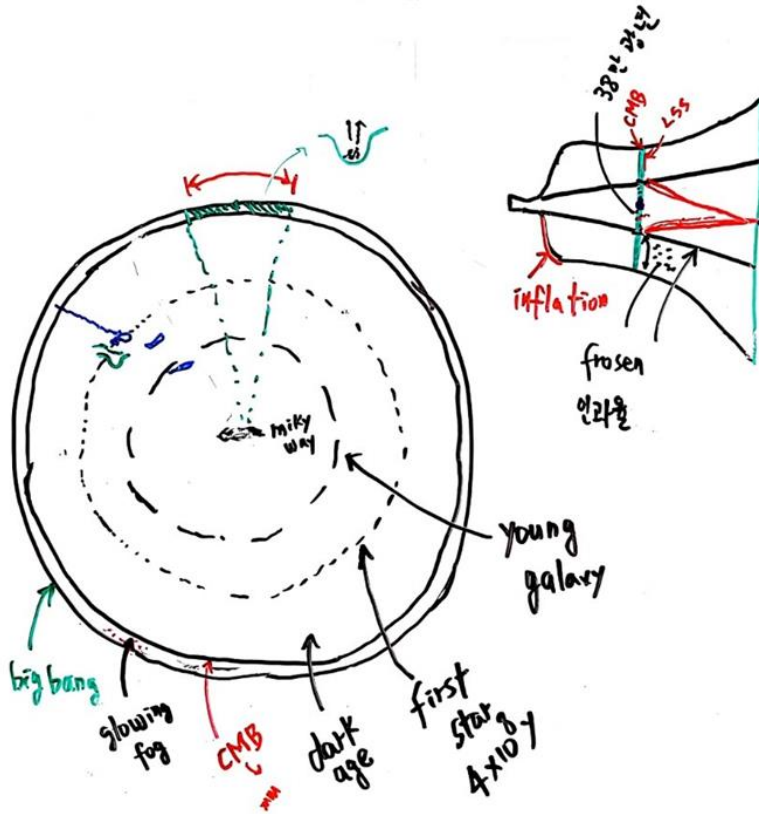
전파망원경의 detector 는 반드시 액체 헬륨 속에 담겨 있다. 액체 헬륨이 4 도 K, 영하  
270 도 C 정도 된다.

그래야만 우주에서 나오는 미세한 전파만 디텍터할 수 있다.  
우주에 가는 망원경들은 모두 액체 헬륨 속에 담겨 있다.  
우주에는 섭씨 영하 270 도 보다 낮은 온도는 거의 없다. 갤럭시는 10 도 K 정도이다.

우주에서 베이비 우주의 파장을 측정할 수는 있지만 다른 잡음과 섞여 버린다.  
잡음이 제일 많은 것이 우리 밀키 웨이 에서 나오는 것이다.  
2000 억개 의 별에서 나오는 수 많은 파장이다.  
2000 억개 별이 가까워서 내는 소리가 엄청나게 크다. 노이즈를 최대한 줄여야 한다.  
그래서 밀키웨이에서 나오는 모든 전파 작용의 지도를 만들어야 했다.  
그것을 그릴 수 있는 지역이 남극이다.  
그래서 조지 스무트가 남극에까지 가서 측정했다.  
모든 잡음을 제거하고 나야 베이비 우주의 목소리를 측정할 수 있는 것이다.  
그만큼 측정하기가 어렵다.

측정 데이터는 매 3 년마다 업그레이드 되어, 새로운 측정 값을 전 세계 과학자들에게 제공되고 있다. 수 천만번 측정한 것이다.  
지구상에서 가장 정밀한 것이다.

지금 모든 이야기는 빅뱅 후 38 만년 경과한 시점에서 나온 CMB 에 관한 것이다.  
CMB 가 어떤 사건인지 이해하는 것이 중요하다.



맨 마지막 원이 빅뱅이다.  
빅뱅과 CMB 사이에 glowing fog 이다. 불꽃 같은 안개이다.  
CMB((cosmic microwave background)의 M 이 mm 사이즈임을 의미한다..  
dark age 는 암흑시대이다. 아직 별이 생기기 전이다.  
다음이 first star 이다. 태초의 별이 생겼다. 빅뱅 이후 4 억년 후이다.  
다음 원이 young galaxy 이고 제일 가운데 있는 것이 우리의 갤럭시이다.  
축구 껍질을 우리가 뒤집어 쓰고 있다. 우리는 빅뱅에 갇혀 있다. 빅뱅 속에 있는 것이다.

우주가 생기자 말자 급격히 팽창한다. 이것이 인플레이션이다.  
빛이 가는 선이 event horizon(지평선)이다. 지평선 너머는 보이지 않는다.  
지평선 너머에서 어떤 일이 일어나든 우리 우주에는 영향을 미치지 못한다.  
지평선 너머도 우리 우주는 맞다. 그 지평선 너머를 frozen 이라 한다. 인과율이 동작하지 않는다.  
우주에서는 빛이 도달하는 영역 내에서만 영향을 미친다.

CMB 에서 나오는 빛이 우주의 곡률에 따라 휘어 질 수도 있다.

그런데 측정 결과는 직선으로 온다.

마지막으로 CMB 를 탈출한 면을 LSS(last scattering surface)라 한다.

볼 수 있는 가장 큰 부위의 지름은 38 만 광년(거리)이다. 그 지름 안에 있는 물질 들만이 서로 인터랙션할 수 있다

그 바깥에 있는 것은 빛으로도 도달 하지 않기 때문에 서로 상호 작용을 하지 않는다..

호수 가운데만 녹았다.

우주가 광속도보다 빨리 팽창했다.

CMB 영역을 제외하고는 모두 얼어있다. 시간이 지나면 원이 광속도로 늘어난다.

늘어나면 얼어 붙었던 물질들이 녹는다(연결된다.)

38 만년 안에 있던 물질들은 연결되어 oscillation 한다. 그리고 시간이 지나면 새롭게 연결된 물질들이 중심을 향해 동시에 oscillation 한다.

1 기, 2 기, 3 기, 처럼 같은 해에 녹아 들어간 영역끼리는 맥박이 동시에 뛴다.

만일 인플레이션이 없이 생길 수 있는 곡선이 다 생긴다면 합치면 0 가 된다.

그러면 이런 곡선은 생기지 않았을 것이다.

이 곡선을 해석할 수 있는 이유는 가우시안 분포 곡선을 갖고, coherent 하고 adiabatic 하고 scale invariant 한 속성이 우주 harmonic oscillation 에서 나왔기 때문이다.  
우주의 지문 같은 것이다.

$$Q = I_3 + \frac{Y}{2}$$

$$Y = 2(Q - I_3)$$

	Fermion $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$						$S=0, 1, 2 \dots$ Boson
	Q	$I_3$	Y	①	②	③	
quark	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	u	c	t	gluon 8개  $W^-, W^+ Z^0$  $\gamma$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	d	s	b	
lepton	-1	$-\frac{1}{2}$	-1	e	$\mu$	$\tau$	
	0	$\frac{1}{2}$	-1	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	
higgs boson							

우주의 모든 입자는 fermion 과 boson 으로 나누어 진다.

fermion 에는 1,2,3 세대가 있다.

fermion 에는 quark 와 lepton 이 있다.

Q 는 electrical charge 이고,  $I_3$  는 isospin 이며, Y 는 weak charge 이다.

그리고 모든 것을 연결하는 입자가 힉스 입자이다.

힉스 입자에서 위에 있는 모든 입자들의 질량이 생겼다.

BOSON 에는 gluon 8 개, weak charge 인  $W^-$ ,  $W^+$ ,  $Z^0$  가 있으며 그리고 포톤( $\gamma$ )이 있다.

우주의 모든 입자를 boson 과 fermion 으로 해주는 것이 spin 이다.

fermion 의 spin 값은  $1/2$ ,  $3/2$ ,  $5/2$  처럼 반 정수로 가고

boson 은  $0$ ,  $1$ ,  $2$ ...처럼 정수로 간다.

Charge 는 3 종류가 있는데 weak charge 가 vacuum 이다. vacuum 이 곧 Higgs field 이고 Higgs field 에서 질량이 생기는 매카니즘을 Higgs mechanism 이라고 한다.

공부해야 한다.

미치도록 공부해야 한다.

버틴 사람은 마지막 죽을 때 어디로 가는지 안다.

자신의 종교, 직업보다도 10 배나 공부를 중요하게 생각하는 사람만이 끝까지 갈 수 있다.

돈이 되는 것도 아니며, 어디에 써 먹겠다는 생각도 안 된다. 마지막 내 고향이 어딘가를 아는 길이다.

우주를 통째로 알아 보겠다는 것이다. 공부는 최소 30 년은 해야 한다.

2003 년도에 WMAP(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)로 빅뱅 당시를 측정했다.

W 는 이 연구를 위해 평생을 바친 월킨슨이 프로젝트 도중에 죽자 그를 기리기 위해 붙였다.

WMAP 가 2003 년부터 망 활약을 하기 시작하면서, 우주론이 정상과학으로 들어오고,

노벨상이 나왔다. 유럽에서는 뒤질세라 PLANCK 위성을 띄우고, 그곳에서 베이비 우주의 양양대는 소리를 다 찍고 있다.

지금 우리가 보는 빛은

태양에서는 8 분 20 초 전에 나온 빛이다.

시리우스에서는 8 년 전에 나온 빛이고,

안드로메다 갤럭시에서는 220 만년 전에 나온 빛이고

퀘사에서는 10 억년 전에 온 빛이다.

10 억년 전과 지금이 동시에 있는 것이다.

빅뱅은 137 억년 전인데 빅뱅은 볼 수 없지만, 빅뱅 후 38 만년 후의 빛인 CMB 를 2003 년에 찍었다. 그리고 지금도 찍고 있다.

우주론이 상상에 의한 것이 아니다. 측정에 의해서 이루어진 것이다.

우주선은 실재로 많다.

TV 채널과 채널 사이에 찌지직하는 잡음의 1% 정도가 Big bang 에서온 것이다.

Big bang 은 지금 여기에 있다.

우리 우주 안에도 우리와 관계없는 부분이 있다. 엄청나게 많다. 그것이 점점 녹으면서 줄어드는데 이것을 이해하는 것이 우주론에서 첫 번째 중요하다.

두 번째는 녹는 면적이 광속도로 자꾸 늘어난다,

137 억년전 빅뱅 후 38 만년이 지난 우주를 그대로 찍었다. 찍은 사진의 얼룩 중 가장 넓은, 지름 38 만 광년 영역 안에 모든 물질이 응축되었다

응축이 되면 온도가 올라간다. 온도가 올라가면 빛이 나온다.

그리고 물질이 압축되면 복사 압이 나온다.

복사압이 나오고 압축되고, 복사압이 나오고 압축되고 그 과정이 oscillation 이다.

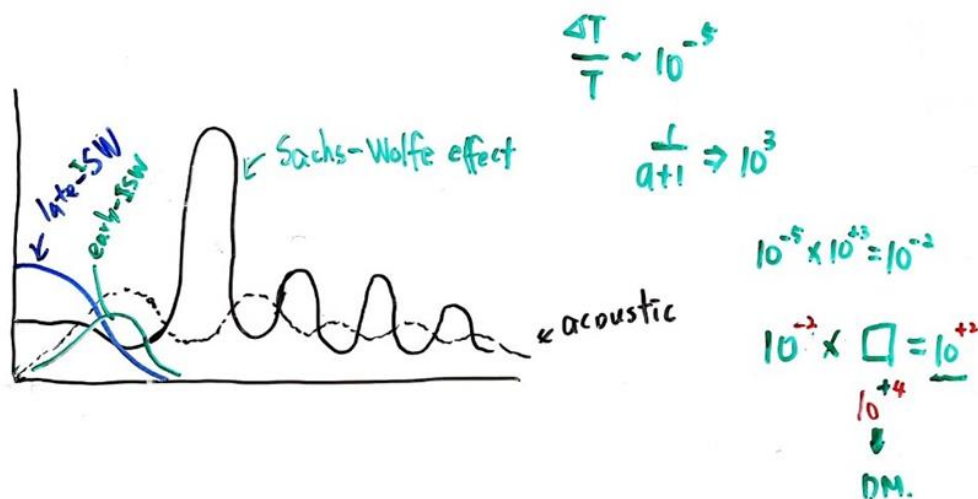
그것이 음파로 느껴진다. 빛의 oscillation 을 소리로 듣는다. 천상의 음악을 눈으로 본다.

음악은 귀로 듣지만 이 음악은 눈으로 본다.

박자세 홈페이지에 있는 푸르스름한 타원이 137 억년 전 베이비 우주의 모습이다.

이것이 온도 분포이다. 인공위성이 찍은 것을 구 좌표로 변환한 것이다.

울음소리가 보이나요?



물질이 갇히면 압력을 받고, 압력이 받아 압축되면 팽창하고, 팽창하면 식으니까 다시 압력을 받고 그래서 oscillation 한다.

이것이 양성자, 전자, 광자의 baryon-r fluid oscillation 이다. 그것이 천상의 음악이다.

천상의 음악을 귀로 듣는 것이 아니라 눈으로 본다.

왜냐하면 천상의 음악은 광자로 오기 때문이다. 38 만 광년의 지름 속 물질들의 모이고 흩어지는 바이브레이션을 지상에서 보는데 전부 광자를 통해서 본다.

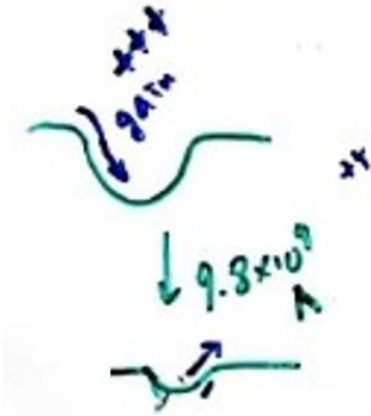
위 도표에서 점선이 음파의 울동이다.

그러다가 LSS 가 되면 빛이 자유롭게 된다.

그때 나오는 광자는, 압력이 최대치가 되면 광자는 떨어지고 압력이 최소치가 되면 광자는 휘하고 올라간다. 위상이 정확하게 반대이다.

이것이 Sachs-Wolfe effect 이다.

포톤이 중력 필드에 들어갔다 빠져 나올 때 에너지를 얻고 잃어버리는 과정, 중력필드에 따른 포톤의 에너지 변화이다.



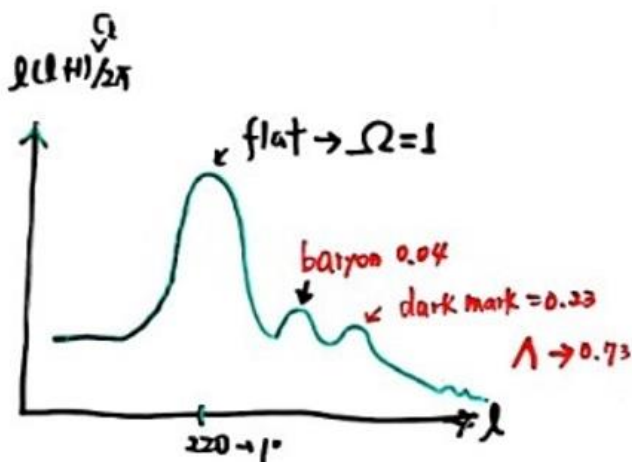
포톤이 수 천개의 갤럭시를 통과할 때 초기에는 포텐셜이 깊었으나, 98 억년 지나면서 우주의 가속팽창으로 인해 포텐셜이 상대적으로 밋밋해 졌다. 포텐셜로 포톤이 떨어 질 때 에너지를 얻고, 포톤이 나갈 때는 에너지를 잃는다. 그런데 처음에는 깊어서 에너지를 많이 얻었으나 나갈 때는 포텐셜이 얕아져서 에너지를 적게 잃는다.

그 에너지 차이 만큼 포톤이 되는데 그 양으로 에너지를 측정한다. 빅뱅 당시부터 137 억년 동안 포톤이 오면서 겪었던 모든 중력에 의한 인터렉션을 전부 적분해 준다. 그것이 late integrated Sachs-Wolfe effect 이다.

CMB 동안 구물대다가 늦게 나간 포톤들은 당시의 포텐셜 변화의 영향을 받는다. 그것을 early integrated Sachs-Wolfe effect 라 한다.

포톤은 중력의 시간적 분포 양상을 통과하면서 에너지를 얻거나 잃는다. 그 포톤의 양이  $y$  축이다. 그것을 다 측정했다. 초기에는 코비 위성이 그리고는 WMAP 가 그리고 지금은 PLANCK 위성이 하고 있다. 그 데이터를 수많은 과학자들이 분석하고 있다.

네 개의 도표를 다 합치면 다음 그래프가 된다.



이 그래프를 모르면 우주에 살 자격이 없다.

이 곡선의 피크가 어디에 나올 것인가가 초미의 관심이었다.

$l$  값은 각도로 바꿀 수 있다.  $l$  값이 220 이면 각도로 바꾸면 약 1 도이다.

이 때 피크가 나오면 우주는 flat 하고 이 말은  $\Omega=1$  이라는 의미이다.

엄밀하게 측정돼서 나온 값이다.

2003 년 WMAP 가 측정하여 증명한 것이다.

우주의 구성이 물질입자(baryon)의 비율이 4%, 그리고 dark matter 가 23%, dark energy 가 73%로 나왔다.

이 곡선은 점점 더 정밀하게 만들어져 가고 있다. 그래서 우주에 대하여 명확하게 베이비 우주의 몸무게 등 모든 것이 다 나오고 있다.

모든 것은 포톤의 분포에서 온다. 그것이 온도로 주어진다.

$\frac{\Delta T}{T} \sim 10^{-5}$  이렇게 나온다.

지금 우주의 팽창하는 레이트가  $10^3$ 이다.

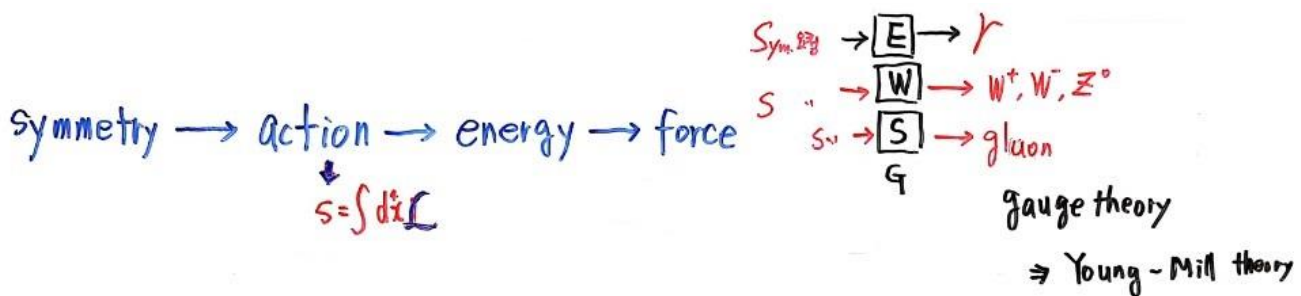
온도 variation 이 10 의 마이너스 5 승곱하기 10 의 3 승하면 10 의 마이너스 2 승 정도의 우주 물질의 불균형이 있어야 하는데 실제 측정된 불균률은 10 의 2 승이다. 빈 공간과 갤럭시와 별 등 물질이 얼마나 고르게 분포되어 있는가의 정도가 10 의 2 승인데 10 의 마이너스 2 승에 무엇을 곱해야 10 의 2 승이 되느냐는 문제이다.

즉 우리가 모르는 팩터에 의해 그 불균율이 10 의 4 승 정도로 확대되었다는 의미이다.

1 만배 정도 물질을 더 팽창시켜 주는 무언가가 있어야 한다는 것이다.

이것이 dark matter 가 있어야 되는 이유이다.

dark matter 는 포톤이 아니기 때문에 우리가 측정을 못한다. 중력으로만 측정할 수 있다.



symmetry 의 요청에 의해 action 의 구조가 결정된다.

작용이 에너지와 관계가 있고 에너지를 미분하면 force 가 나온다.

action 은 라그랑지안 텐시티와 관계가 있다.

그래서 오늘 2 시간 동안 라그랑지안을 스칼라 2 중항에 대하여 계산했다.

우주의 4 가지 힘이 왜 출현 했는가를 이해 해야 한다.

symmetry 가 그대로 있으면 force 가 존재할 수 없다.

symmetry 가 깨어지고 그것을 회복하려는 힘이 force 이다.

대칭의 요청에 의해 force 가 출현했다.

대칭이 전자기 상호작용에 요청했더니 포톤이 나왔고,  
weak force 에 요청했더니  $W^-$ ,  $W^+$ ,  $Z^0$  가 나왔으며,  
strong force 에 요청했더니 gluon 이 나왔다.

이 전체를 gaUge theory 라고 한다. 다른 말로 young-mills theory 라 한다.  
이것을 게이지 혁명이라 한다.

게이지는 파울리 매트릭스처럼 무한소 회전이다. 회전은 입자 세계의 state function 에 회전한다.

빛은 진공을 경험하지 못한다. 그래서 질량이 제로이다.

left 를 설명하지 않았다.

뮤온의 weak charge 가  $-1$  이라는 것을 기억해야 한다.

뮤온을 1960년대부터 측정했다.

뮤온의 수명이 200 만분의 1 초인데 지상에 도달하지 못해야 한다.

그런데 지상에서 측정이 된다.

보통 모든 입자는 오른 쪽, 왼쪽이 있다.

광속이 되면 공간과 질량은 사라지고 시간은 얼어 붙는다.

입자가 계속 오른쪽 왼쪽 회전을 하다가 광속이 되어 공간이 사라지면 오른쪽이나 왼쪽 하나의 상태만 가질 수 밖에 없다.

그것이 빛의 편광이다. 수직편광, 수평편광이다.

정지하고 있는 입자는 공간이 있으므로 오른 쪽 왼쪽으로 회전해야 한다.

그런데 이것이 물리법칙을 위배한다.

오른쪽 뮤온의 weak charge 는 0 인데 왼쪽 뮤온의 weak charge  $-1$  이다.

이것은 전하보전법칙에 위배된다.

공간이 있기 때문에 오른쪽 왼쪽을 하고 있는데, 이것이 물리법칙을 위배하는 것이다.

그래서 이 패러독스를 극복하기 위해서 입자물리학자들이 제 3의 입자를 상정했다.

왼쪽 입자의 마이너스 전하를 제 3의 입자에게 넘겨줘 버린다.

그러면 자신은 전하가 0가 된다.

전하가 0가 되었다는 말은 오른 쪽 입자가 되었다는 것이다.

오른 쪽 입자가 왼쪽 입자가 되려면 던져 주었던 마이너스 전하를 받아오면 된다.

나 혼자 오른 쪽 왼 쪽 하는 것은 불가능하다. 전하보전 법칙을 위반하기 때문이다.

그런데 전하만 떼어내면 된다. 그것을 누가 받아주기만 하면 된다. 전하를 던져 주었다는 것 자체가 왼쪽에서 오른 쪽으로 갔다는 것이 된다.

그 상정했던 제 3의 입자가 힉스 입자이다. 여기서 힉스 입자가 출현했다.

던져 주려면 바닷가에 가서 던져야 되고 물이 된다. 그래서 coupling 된다.

진공에서 질량을 얻었다는 것은 weak charge 의 전하보전 법칙과 링크되어 있다.

광속으로 달리는 존재는 질량이 없다

gluon 이 질량이 0 이다. gluon 이 양성자 속에서 quark 과 quark 을 연결해 주는데 이들이 광속도로 달린다.

광속으로 달리면 질량과 공간은 사라지고 시간이 얼어 붙는다.

오른 쪽 왼쪽은 공간 개념이다. 광속으로 달려서 공간이 사라지면 오른쪽 왼쪽 할 수 없다.

공간이 없어 진다는 것은 진공이 없어지는 것이다.

그러므로 질량을 얻을 수 없다.

포톤과 글루온은 광속으로 달리기 때문에 질량이 없다.

정지하거나 빛보다 낮은 속도로 달리는 존재는 공간이 있다. 공간이 있으면 오른 쪽 왼쪽 회전을 한다.그런데 그것이 물리 법칙을 위배한다.

그것을 회피하기 위해 제 3 의 입자가 필요하다. 그것이 바로 힉스 입자이다.

내 전하를 그 바다에 던져주면 전하 보전의 법칙은 고려하지 않아도 된다.

전하를 던져준다는 것이 그 바다에서 적시고 해엄을 친다는 것이고, 적시고 해엄칠 때의 저항이 질량에 해당되고 그 coupling 계수를  $g_1$ ,  $g_2$  로 계산했다.

그래서 광속, 특수상대성 이론과 링크된다. 분리하면 안 된다. 모두 결합되어 있다.

그것을 모두 결합하고 입자물리학 석사 수준이 되어야 우주론에 들어 갈 수 있다.

그러면 매일 숨막히는 신비가 내 주변에 있는 것을 보게 될 것이다.

인간으로 태어나 반드시 해야 할 일이다.