

제 5회 13103년 우주 강타

4강 "자연과학s hierarchy"

2013년 04월 14일

지성이 있는 종족과 천체의 종족이 동일한 지배하에 있다는 것을 뉴턴이 밝혔었다. 그 이후에 맥스웰에 의해 전기와 자기가 동일한 현상임을 증명하였다.

맥스웰 eq. 이 강력한 공학이 된 이유는 공변성 때문이다. 공변이야 말로 현대 물리학의 핵심이다

나와 함께 한 것이 함께 변하는 현상이 공변이다.

"인간 관계는 공변하지 않다."

물리 현상에서 공변현상이 증명되는 이유는 예측 가능한 system으로 바뀌는 에너지를 측정할 수 있게 되었다.

물리학을 느끼는 것은 공변성을 얼마나 느끼는가이다.

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + V(r)$$

$$H = \frac{p^2}{2m} + V$$

$$H \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad p \rightarrow -i\hbar \nabla$$

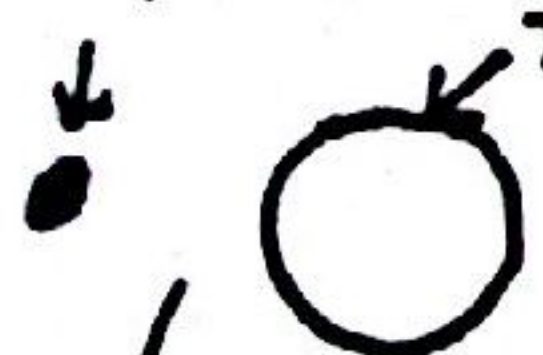
$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi$$

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

$$(i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc) \psi = 0$$

$$(\gamma^\mu p_\mu - mc) \psi = 0$$

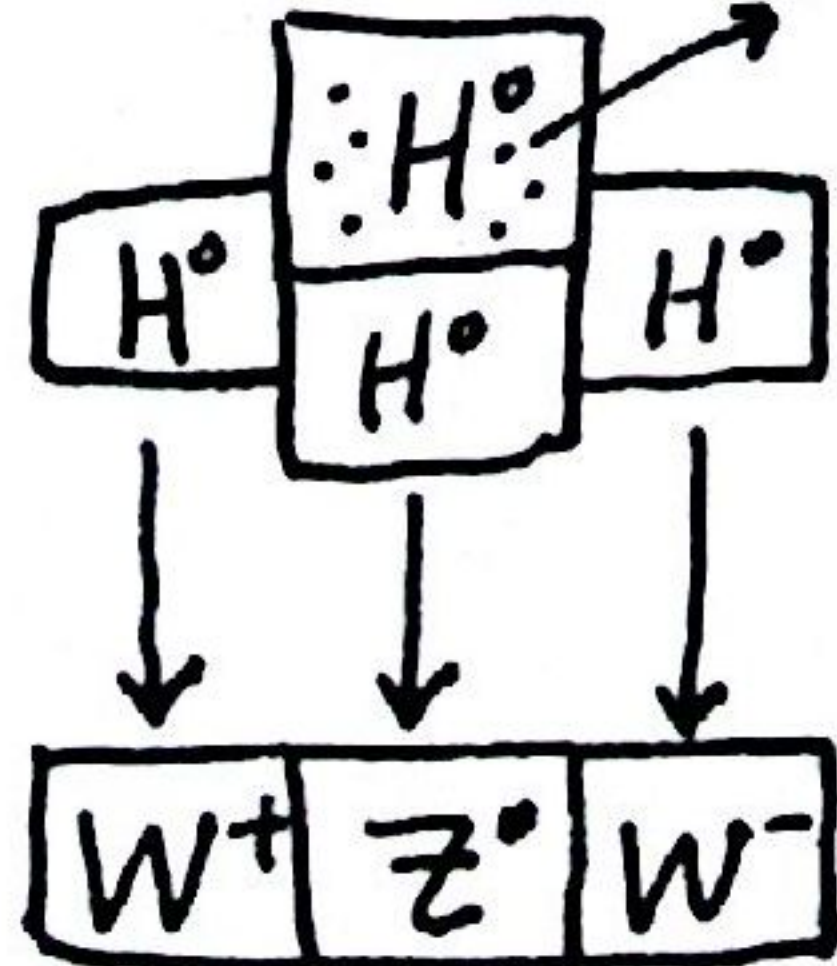
골드스톤



대칭
자발적
붕괴



힉스 입자



위크 보손
광자

보존량 Z^0, W^\pm, r

$4 = 3 + 1 \rightarrow$ 힉스(higgs)

4개의 힉스장

$4 = 3 + 1$

게이지 입자

골드스톤 보손 $s=0$

$m=0$

벡터 보손 $s=1$

$m=0$

게이지 보손 $s=1$

$m \neq 0$

W^\pm, Z

$$E = K \cdot E + P \cdot E = \frac{1}{2} m v^2 + V(r)$$

$$H = \frac{P^2}{2m} + V(\text{potential energy}) \rightarrow P \rightarrow i\hbar \nabla$$

$$H \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$$

$$H = m a = \frac{dp}{dt}$$

$$\nabla \cdot \phi = 4\pi \epsilon_0 \rho$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$V_{gm} = \frac{GMm}{r}$$

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$$

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

$$i\hbar \nabla^4 \psi - mc^2 \psi = 0$$

제5회 (31022) 연구진

478

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

제5회 (31022) 연구진

478

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

제5회 (31022) 연구진

478

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

2013.04.14

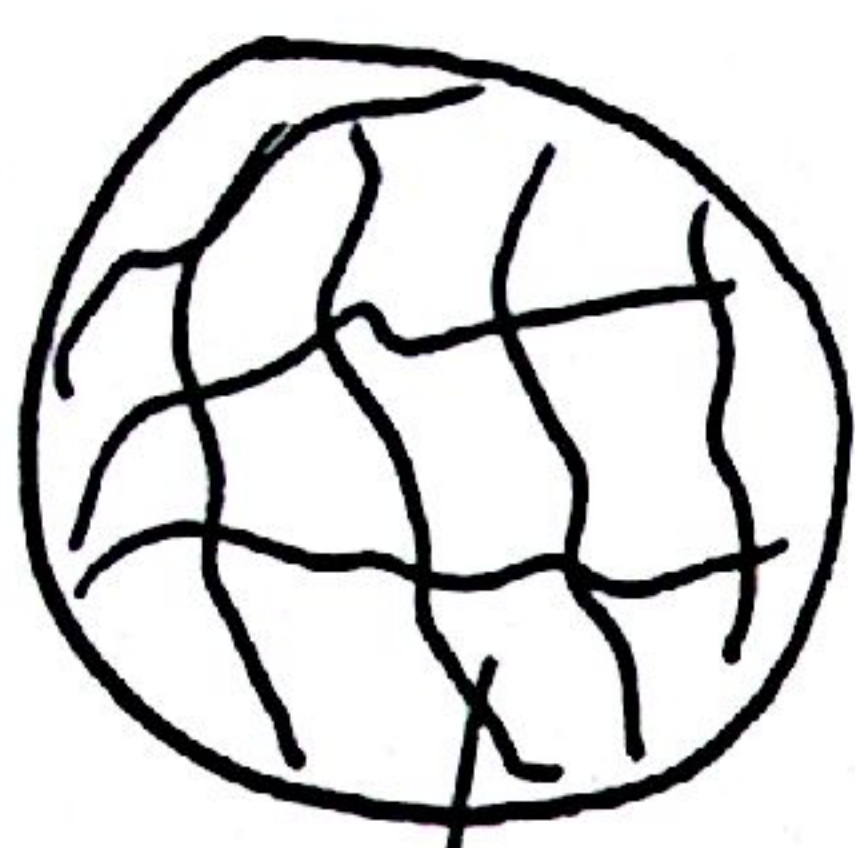
2013.04.14

진공-에너지가 가장 낮은 상태

최저 에너지 상태가 에너지가 "0" 이 아니다.

힉스장에서 입자가 이동할 때 충돌할 때 질량이 생긴다.

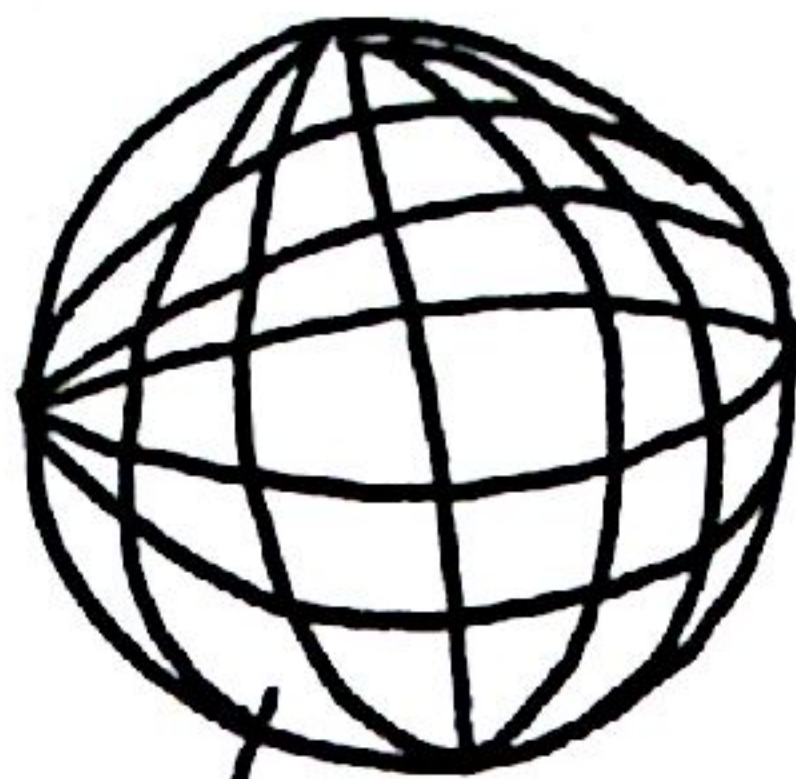
모든 질량은 힉스에서 나왔다.



작은 점 (입자) →

field를 대칭화할 때

field를 만드려 할 때



point를 이동시키는 에너지가

필요하다.

공간의 대한 미분을 통해 이 과정을 설명할 수 있다.

공간 미분

$$D_\mu = \partial_\mu + \frac{i}{2} g_1 Y B_\mu + i g_2 \vec{T} \cdot \vec{W}_\mu$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} g_1 Y B_\mu + i g_2 \vec{T} \cdot \vec{W}_\mu = \frac{1}{2} a_i$$

파울리 eq.

$T_i \Rightarrow$ 연산자 무한 회전 operator

내부공간의 회전 operator 이다.

회전하는 각도를 무수히 나누어 적는 것을 말한다.

물질 에너지 보존

$T_i \Rightarrow$ 무한 연속 회전 연산자

$$T_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$T_2 \cdot T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = I$$

$$g_2 T_3 W_\mu^3$$

$$= g_2 W_\mu^3 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} g_1 Y B_\mu + \frac{i}{2} g_2 (a_1 W_\mu^1 + a_2 W_\mu^2 + a_3 W_\mu^3)$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} (g_1 Y B_\mu + g_2 a_3 W_\mu^3) + \frac{i}{2} g_2 (a_1 W_\mu^1 + a_2 W_\mu^2)$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} \left[\begin{pmatrix} g_1 Y B_\mu & 0 \\ 0 & g_1 Y B_\mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} g_2 W_\mu^3 & 0 \\ 0 & -g_2 W_\mu^3 \end{pmatrix} \right]$$

$$+ \frac{i}{2} g_2 (a_1 W_\mu^1 + a_2 W_\mu^2)$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} \begin{pmatrix} g_1 Y B_\mu + g_2 W_\mu^3 & 0 \\ 0 & g_1 Y B_\mu - g_2 W_\mu^3 \end{pmatrix} + \frac{i}{2} g_2 (a_1 W_\mu^1 + a_2 W_\mu^2)$$

$$g_1 B_\mu = g_1 Z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu \quad W_\mu^\pm$$

$$g_2 W_\mu^3 = g_2 Z_\mu \cos \theta_W + e A_\mu \quad W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} (W_\mu^1 \pm W_\mu^2)$$

$$= \partial_\mu + \frac{i}{2} \begin{pmatrix} -g_1 Y z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu & 0 \\ +g_2 z_\mu \cos \theta_W + e A_\mu & \\ 0 & -g_1 Y z_\mu \sin \theta_W + e A_\mu \\ & -g_2 z_\mu \cos \theta_W - e A_\mu \end{pmatrix} + \frac{i}{2} g_2 (\partial_\mu W_\mu^1 + \partial_\mu W_\mu^2)$$

$$= \frac{i}{2} g_2 \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^1 - W_\mu^2 \\ W_\mu^1 + W_\mu^2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$D_\mu = \partial_\mu + \frac{i}{2} e \begin{pmatrix} Y+1 & 0 \\ 0 & Y-1 \end{pmatrix} A_\mu - \frac{i}{2} \begin{pmatrix} g_1 Y \sin \theta_W - g_2 \cos \theta_W & 0 \\ 0 & g_1 Y \sin \theta_W + g_2 \cos \theta_W \end{pmatrix} z_\mu$$

$$+ \frac{i}{2} g_2 \sqrt{2} \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^+ \\ W_\mu^- & 0 \end{pmatrix} \quad \text{with } \phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} \quad Y=1$$

$$D_\mu \phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \partial_\mu \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} + \frac{i}{2} e \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} A_\mu \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix}$$

$$- \frac{i}{2} \begin{pmatrix} g_1 \sin \theta_W - g_2 \cos \theta_W & 0 \\ 0 & g_1 \sin \theta_W + g_2 \cos \theta_W \end{pmatrix} z_\mu \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix}$$

$$+ \frac{i}{\sqrt{2}} g_2 \begin{pmatrix} 0 & W_\mu^+ \\ W_\mu^- & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ h+v \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \partial_\mu h - \frac{i}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{g_1^2 + g_2^2} \right) z_\mu + \frac{i}{\sqrt{2}} g_2 \begin{pmatrix} W_\mu^+ \\ 0 \end{pmatrix} (h+v)$$

$$(D^\mu \phi)^+ = \frac{1}{\sqrt{2}} \partial^\mu h + \frac{i}{2\sqrt{2}} (0, \sqrt{g_1^2 + g_2^2}) z^\mu - \frac{i}{\sqrt{2}} g_2 (W^{\mu-}, 0) (h+v)$$

$$(D^\mu \phi)^\dagger (D_\mu \phi) = \frac{1}{2} \partial^\mu h \partial_\mu h + \frac{1}{8} (g_1^2 + g_2^2) z^\mu z_\mu \frac{(h+v)^2}{h^2 + 2hv + v^2} + \frac{1}{4} g_2^2 (W^{\mu-} W_\mu^+) (h+v)^2$$

$\Rightarrow v^2$ m/f

$$\frac{1}{8} (g_1^2 + g_2^2) v^2 z^\mu z_\mu + \frac{1}{8} g_2^2 [(W^{\mu+})^* W_\mu^+ + W^{\mu-} (W_\mu^-)^*] v^2$$

$$m_Z^2 = \frac{1}{4} (g_1^2 + g_2^2) v^2 \longrightarrow m_Z = \frac{1}{2} v \sqrt{g_1^2 + g_2^2}$$

$$m_W^2 = \frac{1}{4} g_2^2 v^2 \longrightarrow m_W = \frac{1}{2} v g_2$$

$$\frac{g^2}{8m_W^2}$$

$$e = g \sin \theta_W$$

측정치

측정치

$$v = 246 \text{ GeV}$$

$$m_W = 80 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_Z = \frac{m_W}{\cos \theta} = 90 \text{ GeV}/c^2$$

$$\Rightarrow m_W = 80.2 \dots \pm 0.001$$

$$m_Z = 91.2 \pm 0.001$$

광자 A_μ 에 작용하는 결합상수인 전하 e 는 $e = g \sin \theta_W$

W 입자 붕괴에서

$$\frac{g^2}{8m_W^2} = \frac{G}{\sqrt{2}}$$

$$g = \frac{e}{\sin \theta_W}$$

$$m_W = \frac{1}{2} g v \rightarrow g = \frac{2m_W}{v} \sin^2 \theta_W \times 0.23$$

$$\left(\frac{4m_W^2}{8m_W^2} \right) = \frac{1}{2v^2} = \frac{G}{\sqrt{2}} \quad G = 1.17 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

$$v^2 = \frac{1}{\sqrt{2}G}$$

$$v = \frac{1}{2^{\frac{1}{4}} \sqrt{G}} = 246 \text{ GeV}$$

$$m_W = \frac{1}{2} g v = \frac{1}{2} \frac{e}{\sin \theta_W} \frac{1}{2^{\frac{1}{4}} \sqrt{G}}$$

$$= \left(\frac{\pi \alpha}{\sqrt{2} G} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\sin \theta_W} = 80 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_W = m_{W^\pm} = \frac{1}{2} v g_2$$

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

$$m_A = 0$$

$$m_h = \sqrt{2\lambda v^2}$$

$$m_W = 80 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_Z = \frac{m_W}{\cos \theta_W} = 90 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_W \approx (80.22 \pm 0.26) \text{ GeV}/c^2$$

$$m_Z \approx (91.187 \pm 0.007) \text{ GeV}/c^2$$