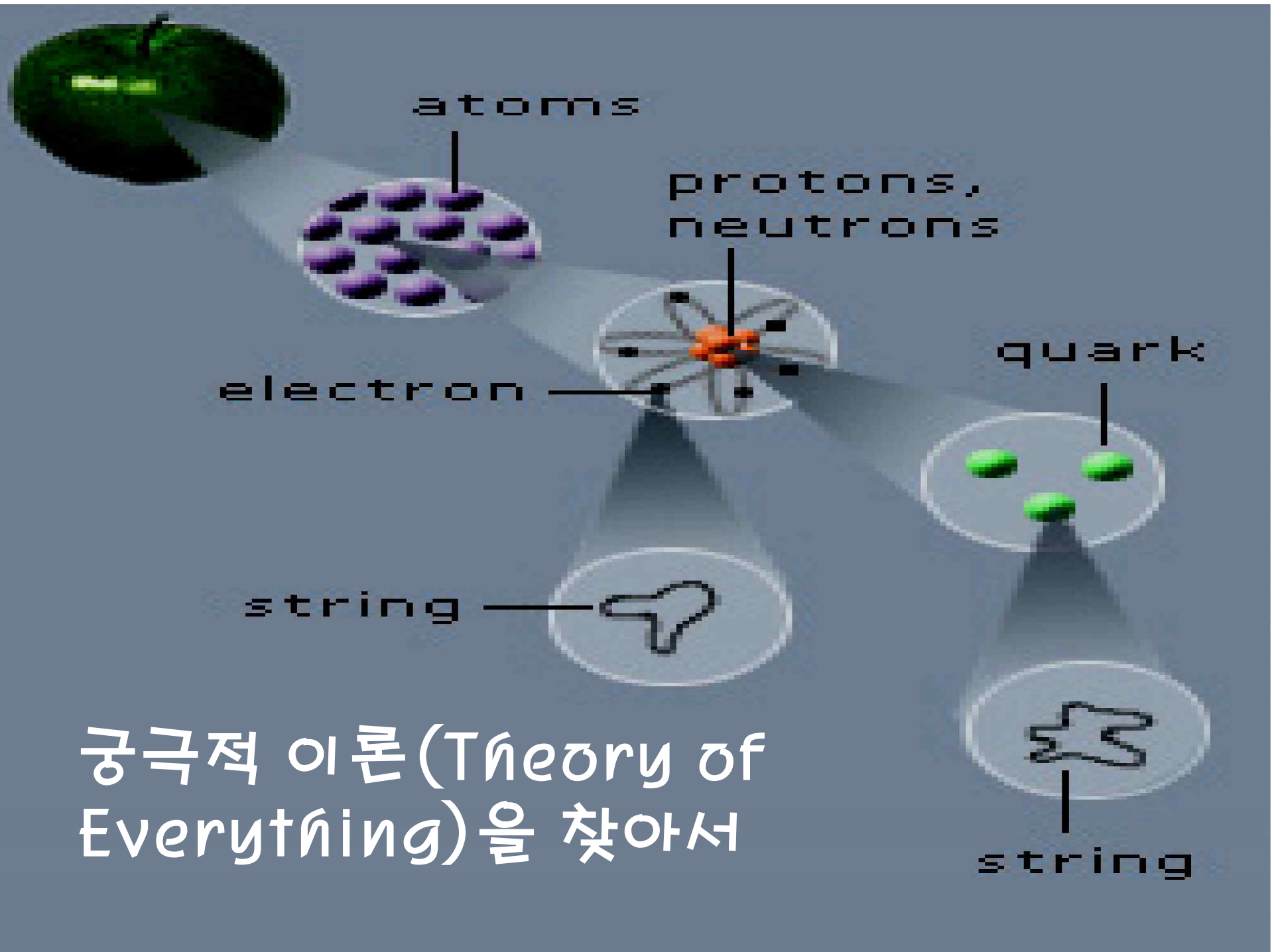




아인슈타인의 꿈 ➔ 모든 물리학자의 믿음

New Einstein Theory Gives
A Master Key to Universe

UNIFICATION

- ✓ 모든 자연 법칙을 통일하는,
- ✓ 우리 우주의 모든 것을 설명하는,
- ✓ 태초에 신이 세상을 창조할 때 사용했던,

Theory of Everything을 찾아서 여행은 계속된다

20세기 과학의 3대 중요업적

- 대폭발(Big Bang) 우주론 (1917-1965)
우주 탄생의 기원
- 입자물리학의 표준 모형 (1930-1973)
우주를 구성하는 기본 물질과 이론의 정립
- DNA의 이중 나선 구조 발견 (1953)
생명체의 기본 구조

이제 극미의 세계로... 그리고 광활한 우주로...



스핀(spin)

➤ 지구의 공전과 자전

➤ 공전: 태양 주위 회전

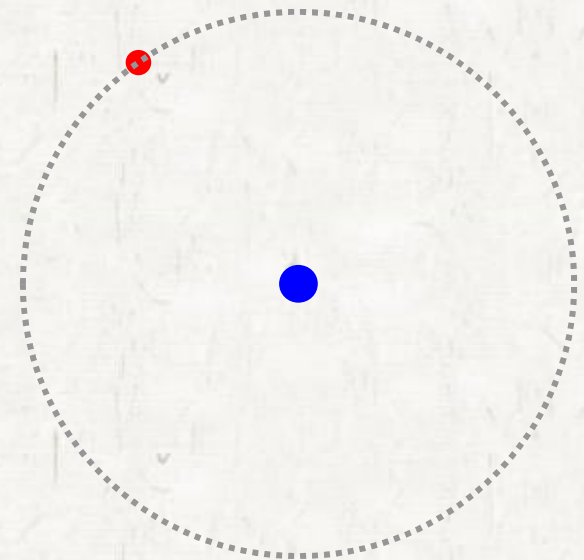
➤ 자전: 스스로의 축에 대해 회전

➤ 전자의 공전과 자전 (고전물리)

➤ 공전: 핵 주위 회전

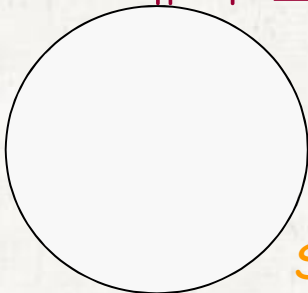
➤ 자전: 전자 스스로의 축에
대해 회전

➤ 양자역학적으로도 전자의 자전에 해당하는 것이 있다. 이것을 **스핀**이라 부른다.

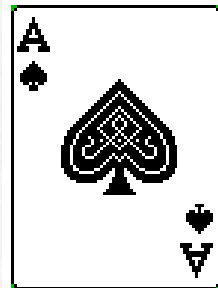


스핀 값의 결정

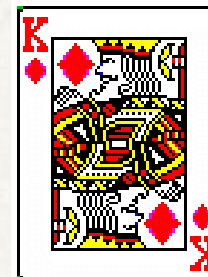
- 대강 얘기하자면, 어떤 입자의 스핀은 다음과 같이 부여한다
 - 모양이 회전에 대해 대칭 ➔ 스핀 0으로 정함
 - 한 바퀴 회전했을 때 본래의 모습 ➔ 스핀 1
 - $\frac{1}{2}$ 바퀴 회전했을 때 본래의 모습 ➔ 스핀 2
 - ...
 - 상식적으로 생각했을 때 어떤 물체든 한 바퀴 돌면 본래의 모습으로 돌아오게 되어 있다.



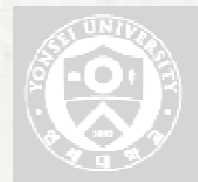
Spin 0



Spin 1



Spin 2



전자의 스핀

- 전자는 한 바퀴를 돌리면 본래의 모습으로 돌아오지 않는다 (인간이 상상하기 힘든 양자역학적 현상)
- 두 바퀴를 돌리면 본 모습으로 돌아온다
➔ 스핀 $\frac{1}{2}$
- 그림으로 그리는 것이 불가능



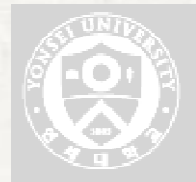
보존과 페르미온

- 모든 물질은 스핀이 $0, 1, 2, \dots$ 의 정수이거나 $1/2, 3/2, 5/2, \dots$ 의 반정수라는 것이 알려졌다
 - 스핀이 정수인 입자: **보존(boson)**
 - 스핀이 반정수인 입자: **페르미온(fermion)**
- 입자들이 많이 모여 있을 때
 - 페르미온은 **파울리의 배타원리**를 따른다
즉, 같은 종류의 페르미온은 한 상태에 한 개의 입자만 있을 수 있다
 - 보존은 같이 모여있는 것을 더 좋아한다



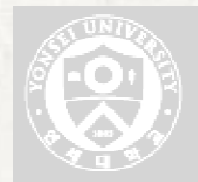
파울리(1900~1958)

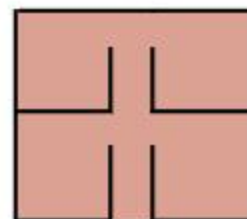
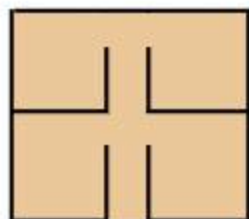
- 오스트리아의 물리학자
- **배타원리(exclusion principle)**를 발견: **전자는 동일한 상태에 한 개만 있을 수 있다** (물질이 크기를 가지게 되는 원리)
- **중성미자**의 존재를 예언함
- 불확정성의 원리에 대한 기본 아이디어를 하이젠베르크에게 보낸 편지에서 처음 제시
- 정신분석학자 융(Jung)과 교류하며 양자역학을 바탕으로 정신과 물질의 문제에 몰두





- 어려서부터 대단한 신동으로 유명했음
 - 18세에 일반상대론을 비롯한 물리학과 수학 섭렵
 - 21세에 수리과학 백과사전의 상대론 분야를 저술함 (상대론 분야의 명저로 두고두고 읽힘)
- 지독한 비판자여서 물리학의 양심으로 불림
 - 완벽하지 않으면 논문으로 출판하지 않음
 - 많은 사람들이 논문을 투고하기 전에 그의 의견을 들음
 - 수많은 논문을 쓰레기통으로 보내서 좌절시켰다고 함
 - 세미나 시간에는 공포의 인물
- 지독한 “실험치”이어서 실험실 근처에만 가도 실험 기계 고장
- 제2의 배타원리: 이론물리학자와 실험실은 같이 있을 수 없다.
- 다른 과학에 대해 물리학자로서의 자부심이 매우 강했다고 함
 - 부인이 자신을 버리고 화학자와 결혼하자 비틀거리며
“차라리 투우사에게 갔으면 이해를 하겠는데...”
 - 심한 좌절감에 찾아간 사람이 융이었고 훗날 학문적 접촉으로 이어짐



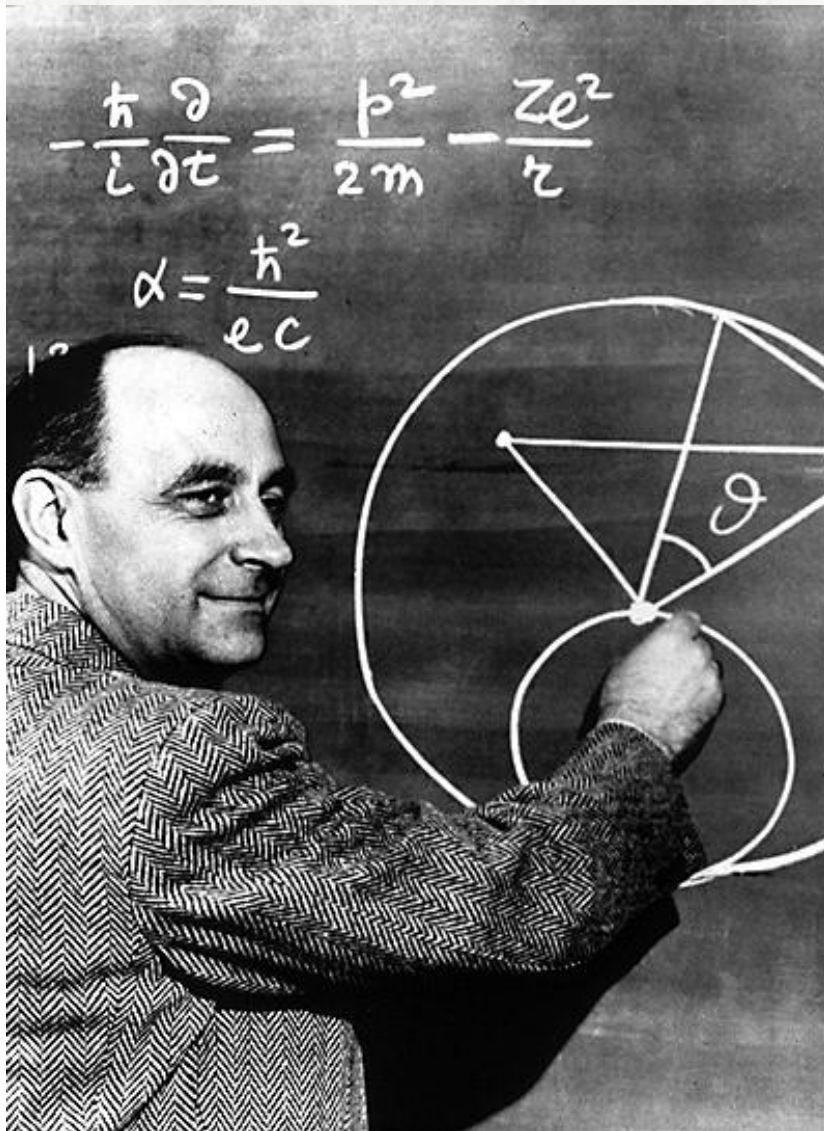


동영상

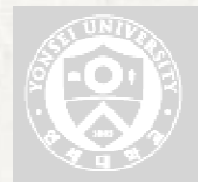
- 여관 주인이라면 물론 페르미온을 좋아한다
- 페르미온의 예: 전자, 양성자, 중성자, 중성미자...(물질을 형성하는 입자들)
- 보존의 예: 광자, 힘을 매개하는 입자들(뒤에 나옴)
- 페르미온은 한 곳에 여러 개가 있을 수 없으므로 많이 모이면 부피를 가지게 된다. 우리 주위의 물질은 모두 페르미온으로 이루어져 있다
- 빛은 보존이므로 한 곳에 매우 많은 광자가 모일 수 있다. 이렇게 되면 빛이 매우 밝아진다.
- 보존이 같은 상태에 모인 것을 보즈-아인슈타인 응축이라 함



E. Fermi(1901~1954)



- 이탈리아 태생
- 이론과 실험 양쪽에 모두 큰 업적을 남긴 거의 유일한 물리학자
- 전자의 통계물리적 성질을 밝힘
- 기본 힘의 하나인 약력의 기초 이론을 제시
- **시카고 대학에 세계 최초로 평화적 원자로 건설**
- 노벨상 수상을 기회로 무솔리니 치하에서 벗어나 미국으로 망명
- 미국 시카고에 페르미의 이름을 딴 거대한 입자 가속기 연구소가 있음



S. N. Bose(1894~1974)

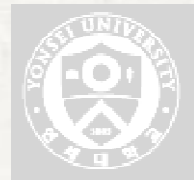
- 인도 출신 물리학자
- 광자(빛)의 통계물리적 성질을 밝힘
- 무명의 젊은 학자로서 이 논문을 학술지에 투고했으나 거부당함
- 이에 굴하지 않고 아인슈타인에게 보냄
- 아인슈타인이 이 논문의 중요성을 간파하고 영어에서 독일어로 직접 번역하고 논문 뒤에 자신의 의견을 추가하여 독일 학술지에 보냄
- 이후 보즈의 이론이 널리 인정받음



Paul A. M. Dirac (1902~1984)



- 영국 출신의 이론물리학자
- 뉴턴과 아인슈타인 이후 가장 위대한 과학자 가운데 한 명으로 꼽힘
- 소심하고 말이 없으며 수줍음이 많기로 유명함
 - 많은 일화가 있음
 -
- 특수상대론과 양자역학을 결합하여 **상대론적 양자역학** 및 **양자장론**을 창시
 - 상대론적 양자역학에서 전자의 기본 방정식을 **디랙 방정식**이라 한다
 - 상대론적 양자역학의 문제점을 발견하고 곧바로 양자장론 개발
 - 양자장론은 현대 입자물리학의 근본을 이루는 이론



- 디랙방정식을 풀어서 **반물질**의 존재를 예언
 - 디랙의 **구멍 이론(hole theory)**이라고 부른다
- **자기홀극**(N극이나 S극 하나만 있는 자석)의 존재를 예언함
- 전자의 통계역학적 이론을 세움
- 그 밖에도 이론 물리학 전반에 무수한 공헌
- 아인슈타인처럼 근본 물리법칙은 아름다워야 한다는 신념 하에 수학적인 아름다움을 가진 이론을 찾기 위해 노력함

"God used beautiful mathematics in creating the world."

"This result is too beautiful to be false; it is more important to have beauty in one's equations than to have them fit experiment."



Dirac equation 구경하기

- 전자가 빛에 가까운 속도로 빨리 움직이면 상대성 이론의 효과가 중요해지므로 더 이상 슈뢰딩거 방정식을 사용할 수 없다.
- 디랙 방정식:

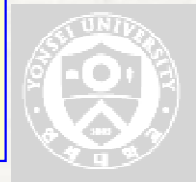
$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\Psi(x) = 0$$

γ^μ : 디랙 행렬이라 부르는 4x4 행렬 네 개

∂_μ : x^μ 에 대한 편미분을 나타냄

Ψ : 전자의 파동함수

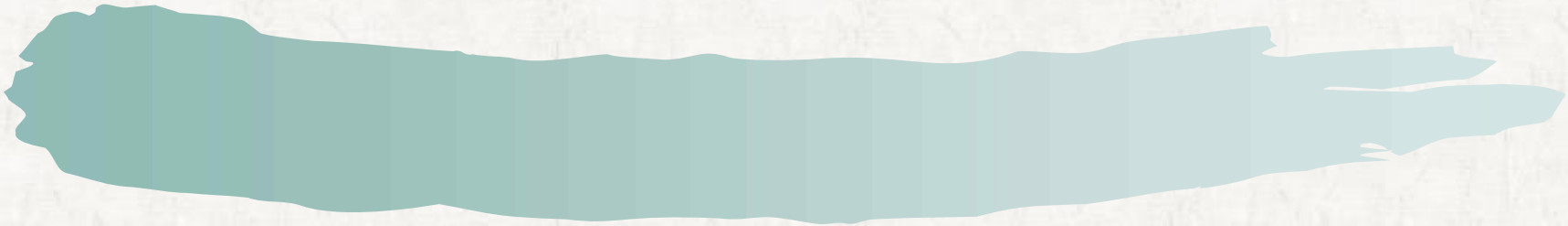
m : 전자의 질량



디랙 방정식의 결과

- 전자의 에너지는 다음 두 가지 경우가 있다
 - $E \geq m_0c^2$: 아인슈타인의 이론과 일치
 - $E \leq -m_0c^2$: 음의 에너지를 가지는 전자도 있다!
(m_0 : 정지해 있을 때의 질량)





➤ 정상적인 사고방식의 소유자라면...

에너지가 음수라니 내 이론이 틀렸구나
이 이론은 포기하고 새로운 이론을 찾아보자!

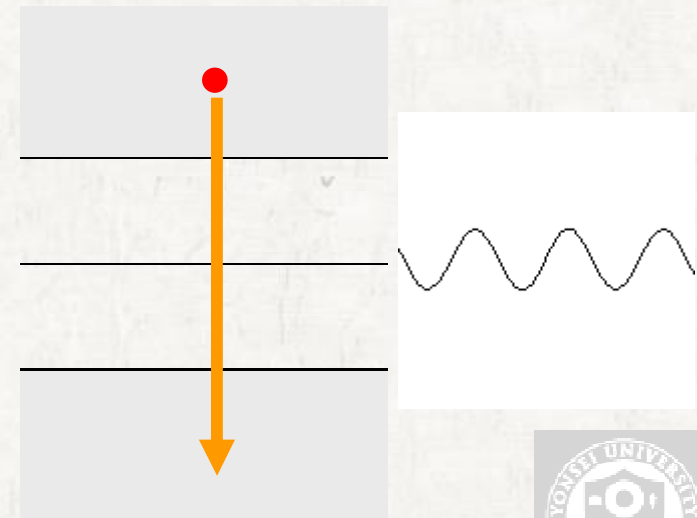
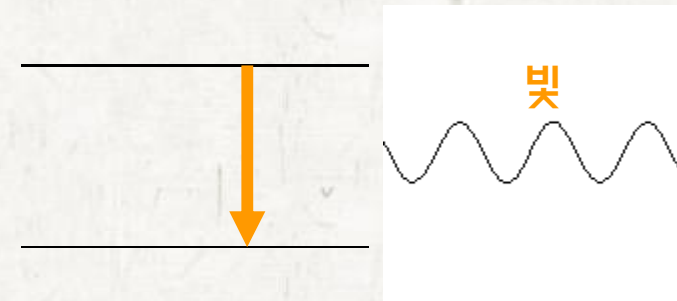
➤ 그런데 디랙은...

나의 이 아름다운 이론이 틀렸을 리가 없어!
자연은 분명히 내 이론을 따를 거야.
음의 에너지에는 비밀이 숨어 있어!

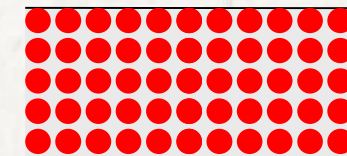


음의 에너지에 숨어있는 비밀

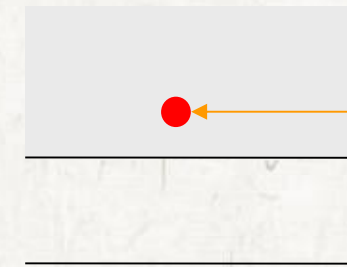
- 디랙이 생각하길,
- 높은 에너지 상태에 있는 전자는 빛을 내면서 낮은 상태로 떨어진다
 - 나의 이론에 의하면 음의 에너지를 가진 상태가 존재한다
 - 따라서 보통의 전자는 저 깊은 바닥의 음의 에너지 상태로 떨어질 것이다



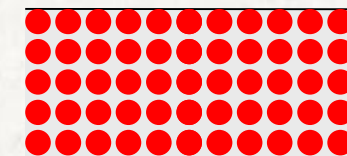
- 그런데 전자는 페르미온이므로 한 상태에 하나밖에 있을 수 없다
- 따라서 무한히 많은 전자가 음의 에너지 상태가 모두 채워져서 “전자의 바다”를 이루게 될 것이다 (이것을 Dirac sea라 부른다)
- 바로 이 상태가 에너지가 가장 낮은 상태이고 바로 이것이 진공 상태이다
- 즉, **진공 상태**는 아무 것도 없는 상태가 아니라 전자가 온 세상을 가득 채우고 있는 상태인 것이다
- 우리가 보는 전자 한 개는 이 상태에서 양의 에너지를 가지는 전자 한 개가 더 있는 상태이다



Dirac sea



음의 에너지 상태가 모두 찼으므로 이 전자는 더 이상 밑으로 떨어지지 않는다



구멍 이론(hole theory)과 반물질

- 외부에서 고 에너지의 빛을 쏘여주면 음의 에너지 상태에 있던 전자 중 하나가 그 빛을 흡수하여 양의 에너지를 갖게 된다

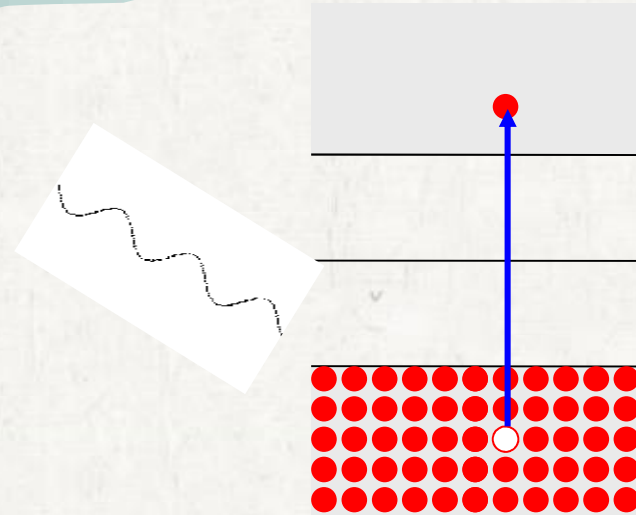
➔ 밑에는 **구멍(hole)**이 하나 생기고 위에는 전자가 하나 생긴다

- 이 구멍을 전자의 **반물질**인 **양전자(positron)**라 한다

➤ 양전자의 성질

- 음의 에너지가 없는 상태이므로 양의 에너지를 가진다
- 질량은 전자와 정확히 같다
- 스핀도 전자와 마찬가지로 $\frac{1}{2}$
- 진공에 비해 음전하가 하나 없는 상태이므로 양전하를 가진다. 즉, 양전자는 +전기를 띈다

- 반도체에서 이 성질을 이용, 양전하의 hole 존재



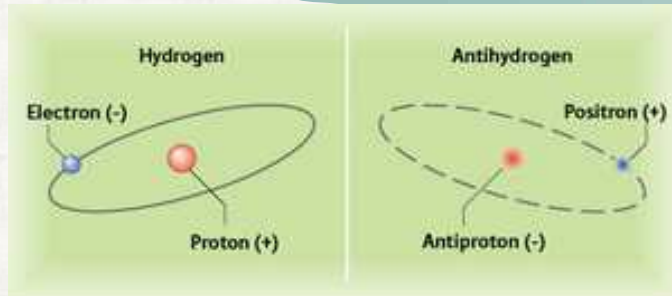
이처럼 빛이 전자와 양전자를 만드는 것을 **쌍생성**이라 한다

$$\text{광자} \Leftrightarrow e^+ + e^-$$

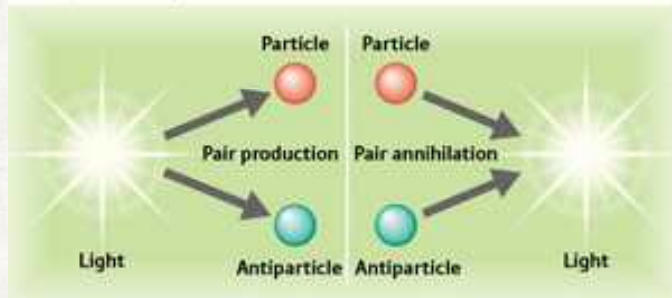
e^+ : 양전자

e^- : 전자

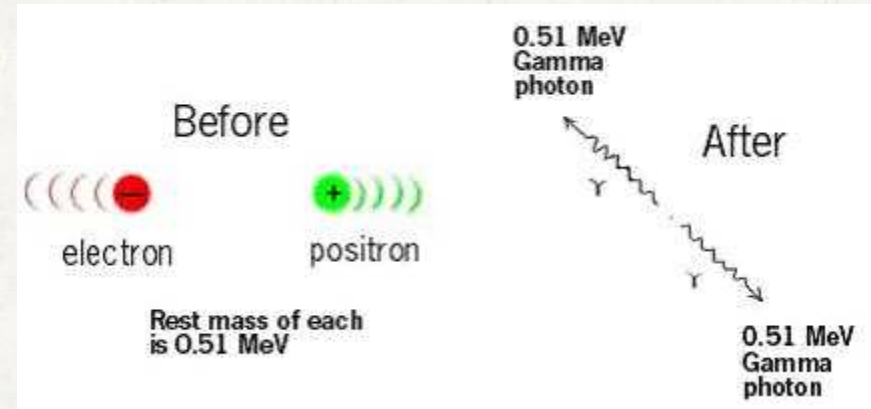
반대의 과정도 있다. 즉, 전자가 빛을 내고 다시 밑으로 떨어지면 둘 다 소멸된다. 이것을 **쌍소멸**이라 한다



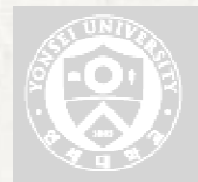
Antihydrogen consists of an antiproton with a negative charge and a positron with a positive charge.



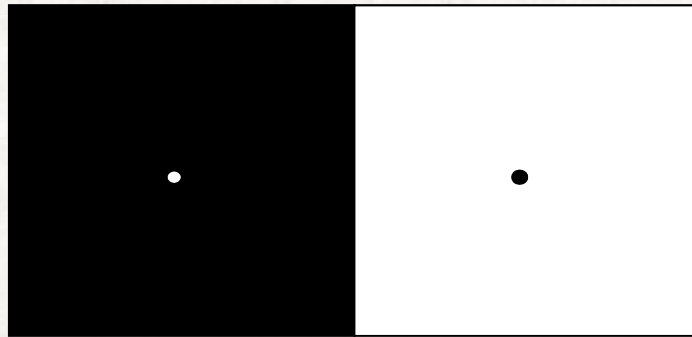
Particle and antiparticle pairs are produced from light. Conversely, upon collision of a particle and an antiparticle, pair annihilation occurs to produce light. On annihilation of an antiproton and a proton or a neutron, several π -mesons are released in the first step.



Pair annihilation electron-positron



구멍과 입자: 色即是空 空即是色



어떤 쪽이 차있고 어떤 쪽이 비어 있는가?



Esher의 그림

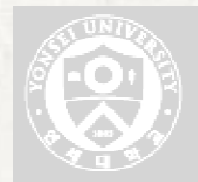
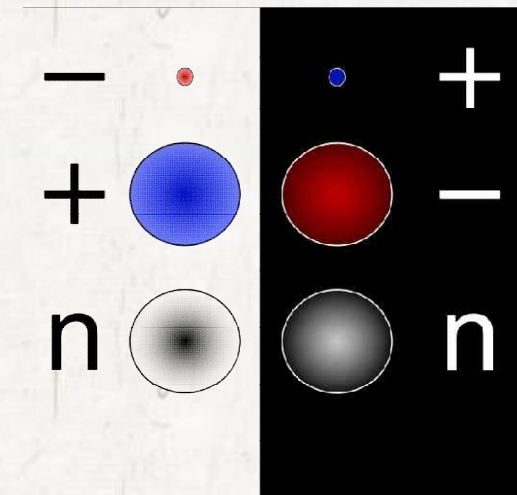


물 속의 공기방울

가모브가 그린 디락과 디락의 바다

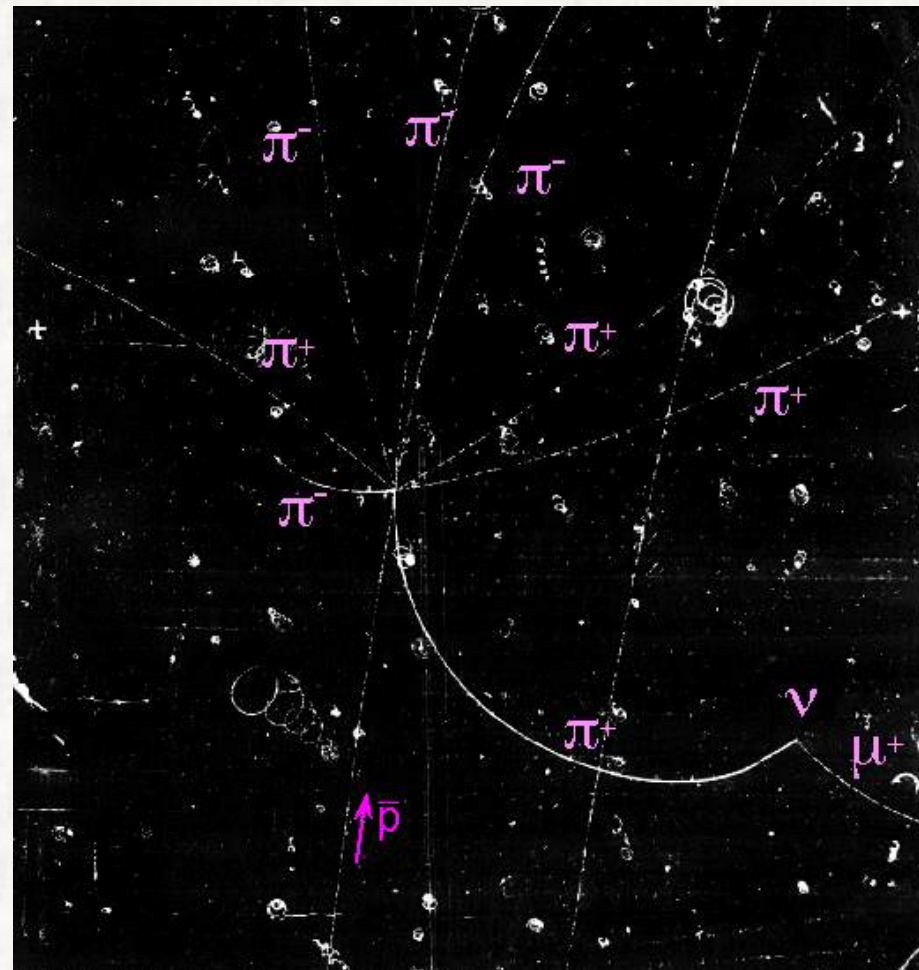
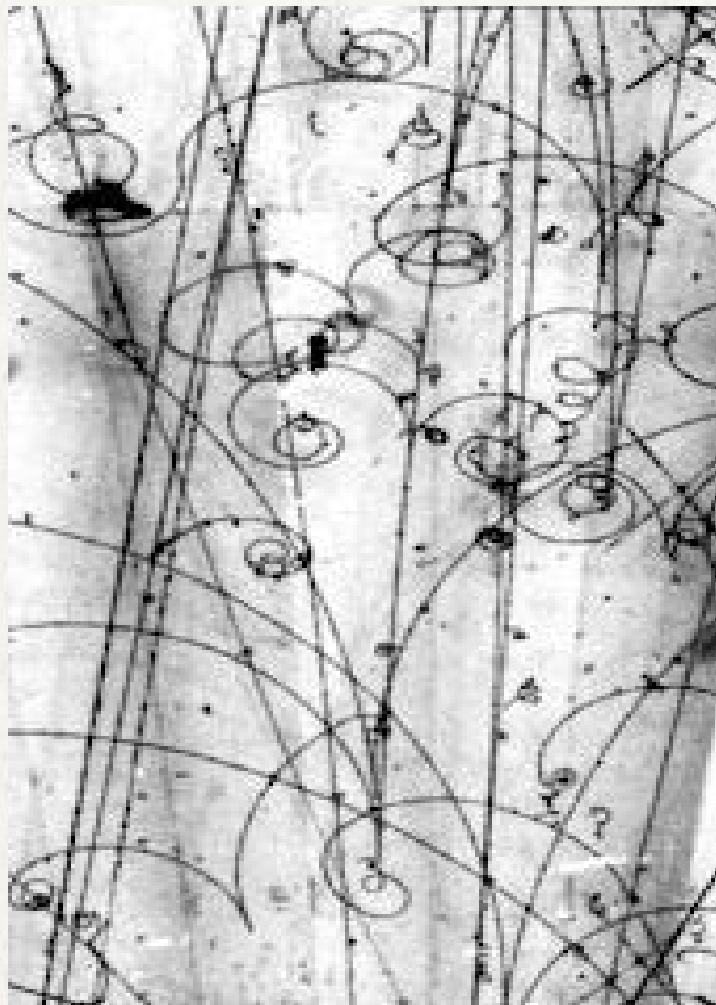
반입자(Antiparticle)

- 1932년 실험적으로 확인
- 우주의 대칭성에 의하여 모든 입자에는 반입자가 있다.
- 전자 $\longleftrightarrow$ 양전자(positron)
- 양성자 $\longleftrightarrow$ 반양성자(antiproton)
- 중성자 $\longleftrightarrow$ 반중성자(antineutron)
 - 반중성자도 전하가 없음
 - Antiquark로 구성됨
- 광자(photon)는 자신이 반입자임
- 반입자로 구성된 반물질을 만들 수 있음.
 - 예: 반수소(2011년 CERN에서 15분 유지)



반물질의 실험적 증거

(자기장 안에서 물질과 반대 방향으로 회전)



불확정성의 원리와 상대론

- 불확정성의 원리에 의하면,
 - 위치와 속도는 동시에 정확히 잴 수 없다

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

Δx : 위치의 불확정성

Δp : 운동량의 불확정성 ($p = mv$)

h : 플랑크 상수

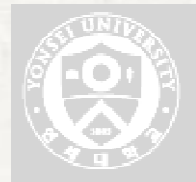
- 상대론에 의하면 공간과 시간은 섞인다
➔ 시간이 관련된 불확정성의 원리도 있다

$$\Delta t \Delta E \geq h$$

식은 몰라도 됨

Δt : 시간의 불확정성

ΔE : 에너지의 불확정성



★ 짧은 시간 간격 Δt 동안은 본래의 에너지에서 $\Delta E \sim h/\Delta t$ 만큼 에너지가 달라질 수 있다

➤ 즉, 상대론적 양자역학에서는 진공 상태에서 아주 짧은 시간 동안 에너지가 커져서 전자와 양전자를 만들었다가 다시 소멸하는 일이 가능하다.

- 이렇게 입자와 반입자가 가상적으로 생겼다가 소멸되는 입자를 **가상입자(virtual particle)**라 하고 진공에서 이런 일이 일어나는 것을 **진공의 요동(vacuum fluctuation-우주 탄생의 원인?)**이라 한다

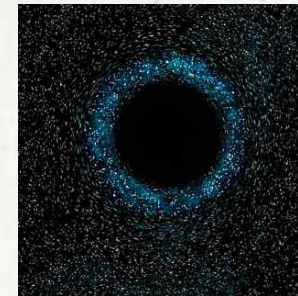
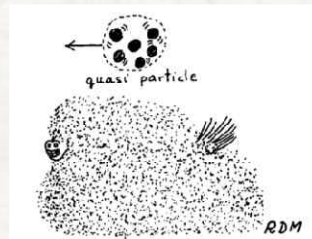
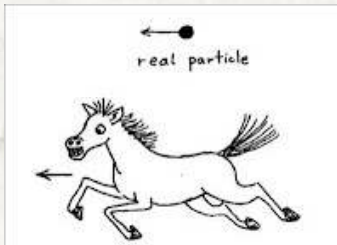
● 현대물리의 진공은,

- 아무 것도 없는 상태가 아니라 입자가 가득 찬 상태
- 아무 일도 일어나지 않는 정적인 상태가 아니라 끊임없이 가상입자들이 생성되고 소멸되는 매우 역동적인 상태



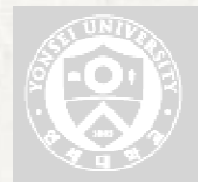
이런 현상을 잘 기술할 수 있는 이론 - 양자장론(Quantum Field Theory)

- 본래 디랙 방정식은 전자 하나의 운동을 기술하는 방정식
- 그러나 진공 요동 등에 의해 공간에는 무한히 많은 전자들이 서로 상호 작용하고 있다. 따라서 전자의 방정식에는 이런 배경 전자와의 상호작용을 고려하여야 한다.



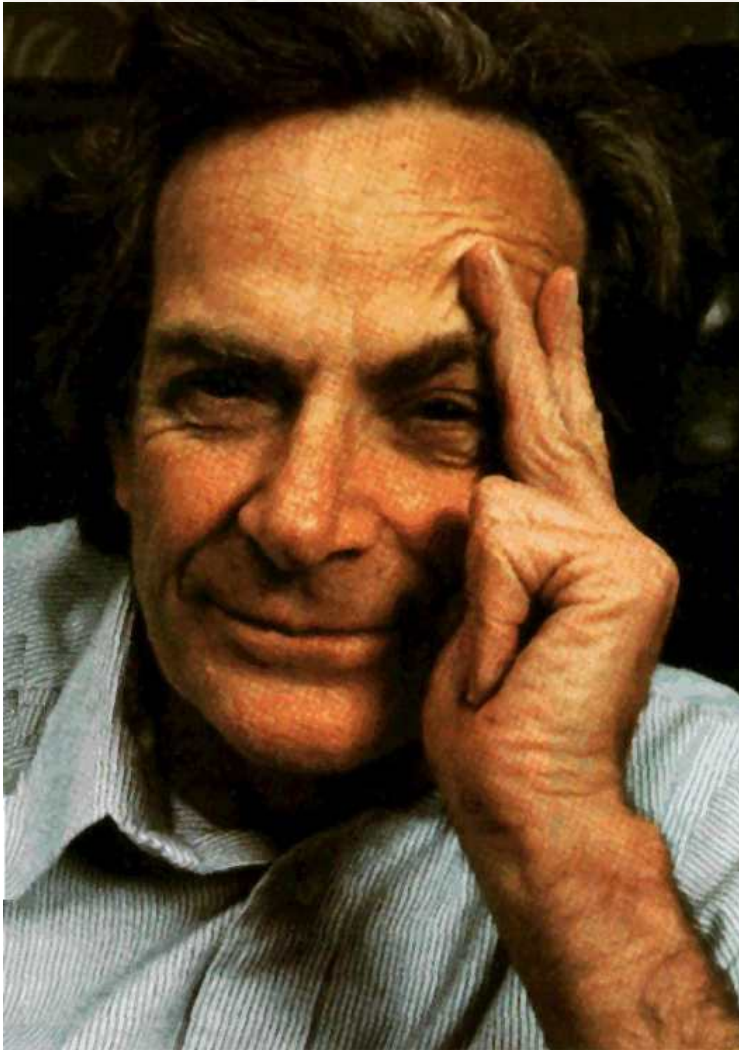
- 이와 같은 문제를 해결한 이론을 **양자장론**이라 한다

- 빛과 전자를 동시에 양자장론으로 만든 이론을 **양자전기역학 (QED; Quantum Electrodynamics)**이라 한다.



양자전기역학 3인방

1. R. P. Feynman (1918~1988)



- 미국의 물리학자
- 양자역학을 이해하는데 “**경로적분**” 이라는 새로운 관점을 제시함
 - 입자는 갈 수 있는 모든 길을 한꺼번에 동시에 여행한다
- 물질과 반물질에 대한 직관적인 이해 방법 제시
- 도모나가, 쉬윙거와 함께 양자전기역학 (QED)에서 무한대가 나오는 문제를 해결하고 이론을 완성함
- 이론물리 전반에 걸쳐 수많은 업적을 남김(일화가 많음)
- 다재 다능하여 수많은 명강연과 명저로 “스타” 물리학자가 됨



파인만의 노벨상 수상 연설 중

- 1965년 12월 11일에 노벨상 수상 연설에서 파인만은 그가 젊은 학자일 때 어떻게 노벨상을 타게된 이론에 매달렸는가를 다음과 같이 묘사했다.

“...그 개념이 나에게서 아주 분명하고 또 우아해서 그것에 대한 사랑에 빠졌습니다. 그리고 한 여성과 사랑에 빠지는 것은 여러분이 그녀에 대해 별로 아는 것이 없을 때만 가능합니다. 그녀의 결점을 보지 못하는 것입니다. 이 결점은 후에 분명하게 나타나게 되지만 그때 가면 사랑은 그녀를 놓아주지 않고 붙잡을 만큼 강해지게 됩니다.”



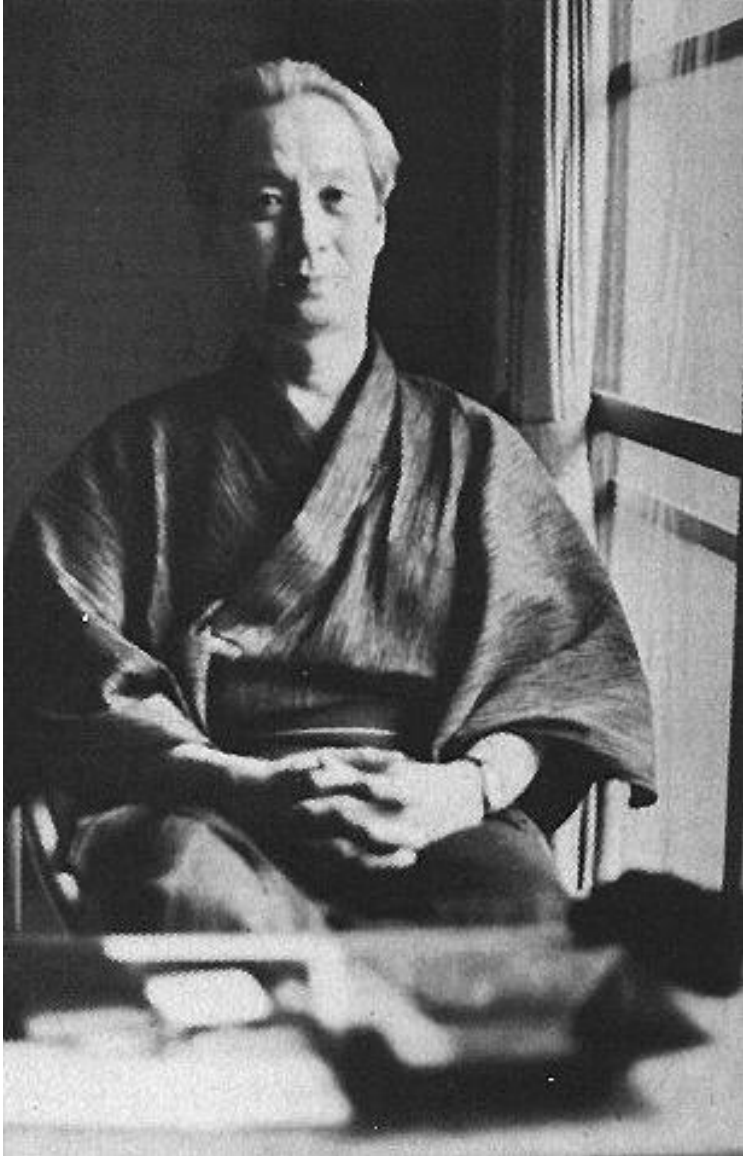
학문을 하는 것은 **항상** 즐거운 일인가?



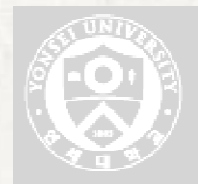
- ▶ 많은 사람들이 학문을 하는 것을 등산에 비유
 - ▶ 등산을 하는 매 순간 즐거운가?
- ▶ 등산가들은 왜 산을 오르는가?
 - ▶ 등산가들의 열정은 학자들의 열정과 유사
- ▶ 등산은 대부분 남이 오른 산을 다시 오르나 학문은 대부분 남이 탐구하지 않은 새로운 경지를 개척
- ▶ 학문의 길에는 무수한 미답의 신천지가 존재함



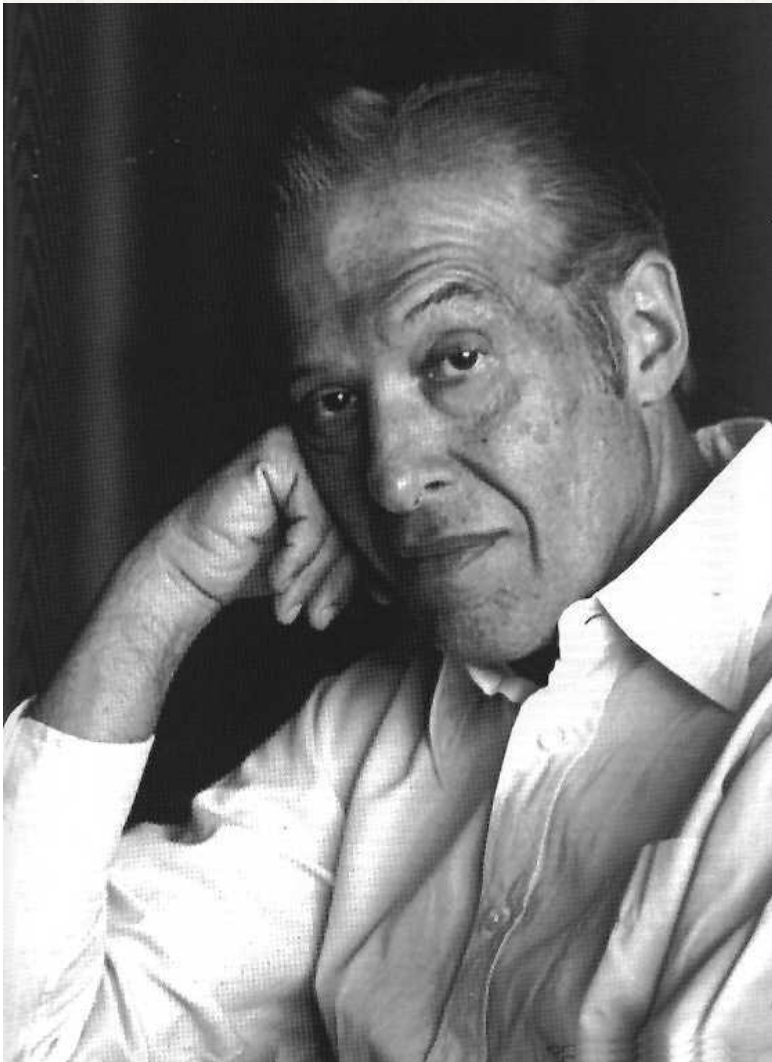
2. 도모나가 신이치로 (1906~1979)



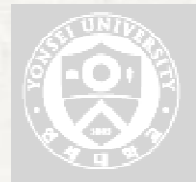
- 일본의 물리학자
- 유카와(1949)에 이어 두 번째로 노벨 물리학상(1965)을 받은 일본인
- 제 2차 세계대전 패전 직후 1940년대 후반의 어려운 시기에 서양과 단절된 상태에서 독자적으로 양자전기역학(QED)을 완성함



3. J. S. Schwinger (1918~1994)

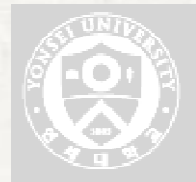


- 미국의 물리학자
- 양자전기역학(QED)을 완성함
- 양자장론 전반에 걸쳐 많은 업적을 남김
- 파인만과 함께 어려서부터 신동이라고 소문이 났던 물리학자



입자물리학과 표준모형(Standard Model)

- **입자물리학**: 우주의 근본 물질과 근본 법칙에 대해 연구하는 물리학 분야
- **표준모형**은 수많은 입자물리학자들이 모여 1973년대에 완성한 양자장론을 뜻함
 - 우주는 여섯 종류의 **쿼크**와 여섯 종류의 **렙톤**이라는 근본 물질로 이루어져 있다
 - 이들 사이에는 네 가지의 근본적인 힘이 작용한다: **중력**, **약력**, **전자기력**, **강력**
 - 이 **힘을 매개하는 입자**들이 있다



우주의 근본 물질은 무엇인가?

➤ 고대 그리스



• Dalton - 원자설

ELEMENTS				
	Hydrogen	1		Strontian 46
	Azote	5		Barytes 68
	Carbon	5		Iron 50
	Oxygen	7		Zinc 56
	Phosphorus	9		Copper 56
	Sulphur	13		Lead 90
	Magnesia	20		Silver 190
	Lime	24		Gold 190
	Soda	28		Platina 190
	Potash	42		Mercury 167

1996년 주기율표

원소 주기율표																	
1족		2족		3족		4족		5족		6족		7족		8족		9족	
H 1		He 2		Li 3		Be 4		B 5		C 6		N 7		O 8		F 9	
Na 11		Mg 12		Al 13		Si 14		P 15		S 16		Cl 17		Ar 18		K 19	
Ca 20		Sc 21		Ti 22		V 23		Cr 24		Mn 25		Fe 26		Co 27		Ni 28	
Zn 30		Ga 31		Ge 32		As 33		Se 34		Br 35		Kr 36		Rb 37		Sr 38	
Y 39		Zr 40		Nb 41		Mo 42		Tc 43		Ru 44		Rh 45		Pd 46		Ag 47	
Cd 48		In 49		Sn 50		Sb 51		Te 52		I 53		Xe 54		Ba 56		La 57	
Hf 72		Ta 73		W 74		Re 75		Os 76		Ir 77		Pt 78		Au 79		Hg 80	
Tl 81		Pb 82		Bi 83		Po 84		At 85		Rn 86		Ac 87		Th 88		Pa 89	
U 92		Np 93		Pu 94		Am 95		Cm 96		Bk 97		Cf 98		Es 99		Fm 100	
Md 101		No 102		Lr 103		104		105		106		107		108		109	
110		111		112		113		114		115		116		117		118	

도움말

원소기호 → 원소이름

원자번호 → 원자번호

색 도움말

원자번호는 원자번호에 따라 원자번호가 있는 원자의 질량수이다.

사용되기 전에

고체

액체

기체

실온에서

방사성

인공

초우라늄족

원자

원자는 전자가 주위를 돌며 있다. 양전하와 중성자로 이루어진 핵을 갖고 있다. 원자의 전자와 양성자의 수는 같다.

분자

원자는 분자가 되기 위하여 전자를 공유하거나 교환하기도 한다. 원자들은 오른쪽의 산소처럼 바깥 껍데기에 여덟개의 전자를 포함하는 경향이 있다.

가장 최근에 만들어진 원소는 112번 원소이다. (1996년 기준)

가장 최근에 만들어진 원소는 112번 원소이다. (1996년 기준)

족(族)

수직 영역을 같이 가진 원자들은 같은 족의 원자들이다. 같은 족의 원자들이 화학적 성질이 비슷하기 때문이다. 예를들어 1족은 하나의 전자를 갖고 있고, 2족은 두개의 전자를 갖고 있다. 대부분의 원소들은 두개의 전자를 갖는다.

족(族)

수직 영역을 같이 가진 원자들은 같은 족의 원자들이다. 같은 족의 원자들이 화학적 성질이 비슷하기 때문이다. 예를들어 1족은 하나의 전자를 갖고 있고, 2족은 두개의 전자를 갖고 있다. 대부분의 원소들은 두개의 전자를 갖는다.

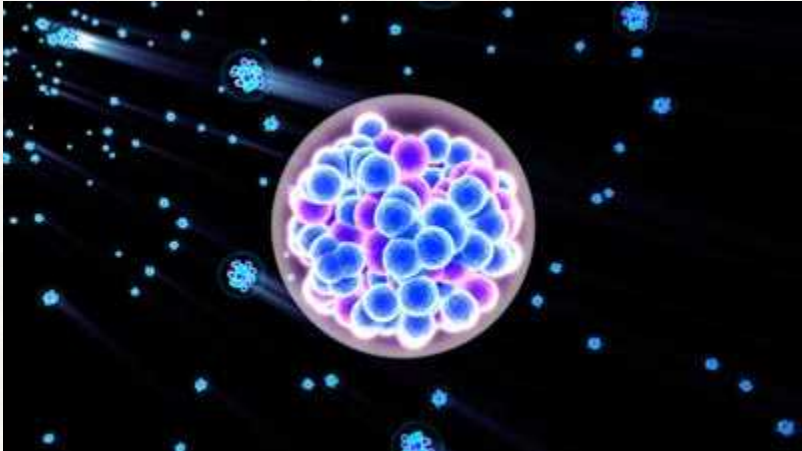


[과학] 美.러 연구진, 2개의 원소 추가 (2012년 06월 08일)

국제순수응용화학연맹(IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry)은 최근 주기율표의 114번과 116번 원소 이름을 각각 '플레로븀(Flerovium Fl)' 리버모륨(Livermorium Lv)으로 확정하고 이를 주기율표에 공식적으로 게재한다고 발표했다. 이제 118칸의 주기율표에서 빈칸은 4개로 줄어든다. 현재 원소 주기율표에는 원자번호 113, 115, 117 그리고 마지막 118이 빈칸으로 남아있는 셈이다. 113은 일본이 발견하여 Japonium으로 명명 요청 중이며, 117은 2010년 미국과 러시아 공동 연구팀이 발견하여 검증 중임. Koreanium은 언제?

[illegible]

Too MANY atoms!



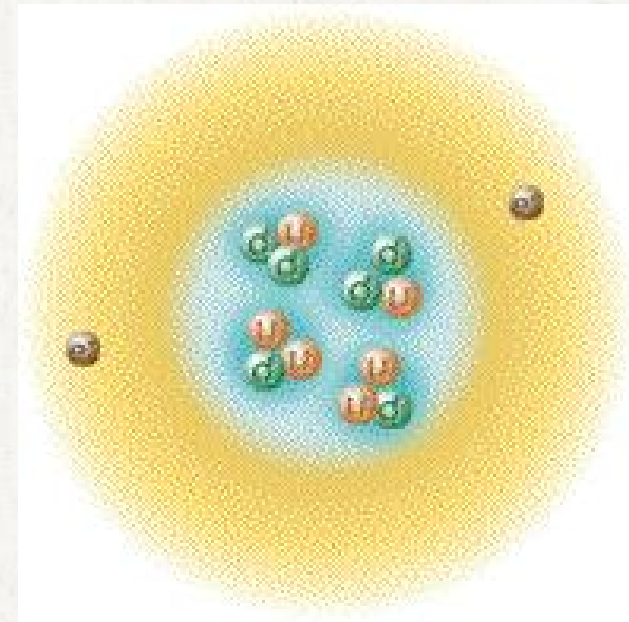
현대의 원자모형



원자핵은 양성
자와 중성자로
되어 있다



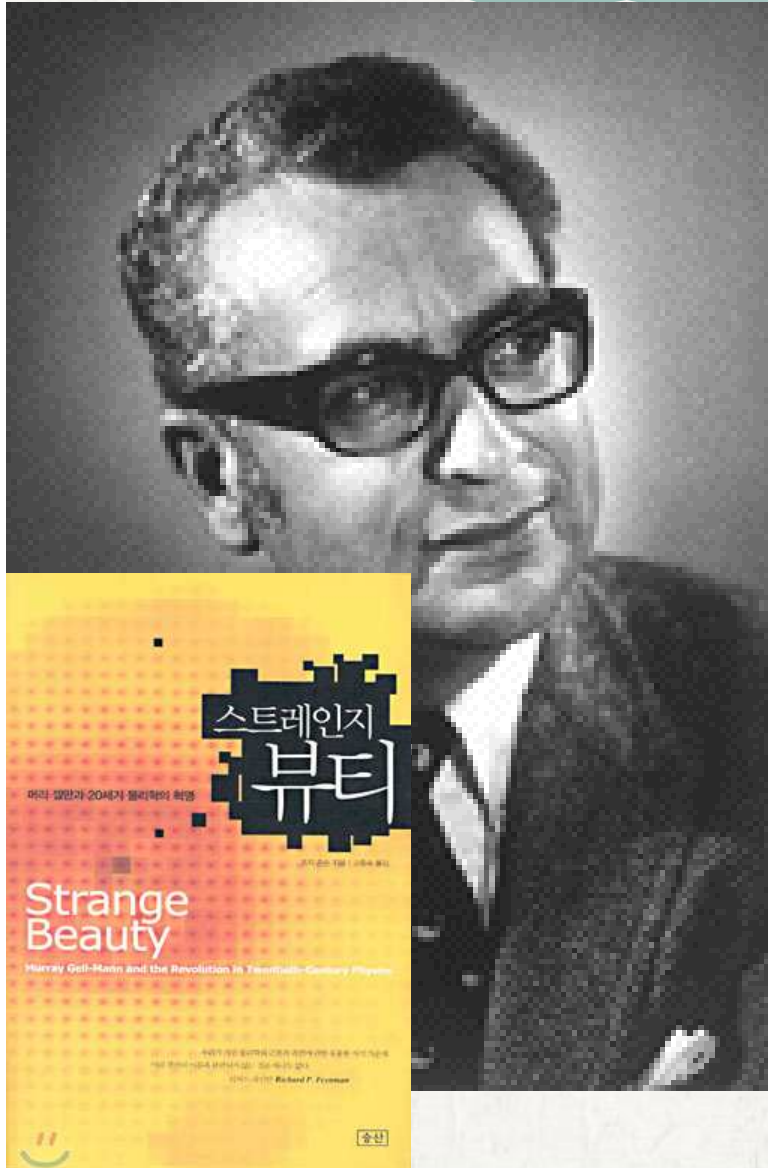
양성자와 중성자는
각각 쿼크 세 개로
이루어져 있다



쿼크까지 같이 나
타낸 원자의 모습



M. Gell-Mann (1929~)



- 미국 물리학자
- 1964년 쿼크 가설을 제안함
 - 이것이 실험으로 입증되어 노벨상 수상
- 그 밖에도 입자물리학에 수많은 공헌을 함
- 언어학에 천부적 재능이 있어서 여러 가지 물리 용어를 만들어 냄 (예: 쿼크)
- 어려서부터 주위 사람들을 끊임 없이 좌절시키는 천재였음
- 파인만과 평생 라이벌로 지냄



쿼크(quark)

➤ 쿼크라는 이름의 유래

겔만이 James Joyce 의 소설 **Finnegans Wake** (피네간의 경야(밤샘))에 나오는

“Three quarks for Muster Mark!”

라는 구절에서 quark를 따옴

➤ 쿼크의 성질

- 쿼크는 혼자서 발견되지 않음
- 쿼크들 사이에는 강력(strong interaction)이 작용함
- 쿼크는 분수 전하를 가지고 있음
- 뒤에서 다시 설명



네 가지의 근본적인 힘

- 우리 우주에는 네 종류의 근본적인 힘이 있다
 - **중력, 약력, 전자기력, 강력**
- 각각의 **힘을 전달하는 고유의 입자**가 있다. (이들은 보존이다)



	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and $W^+ W^-$	Quarks and Gluons



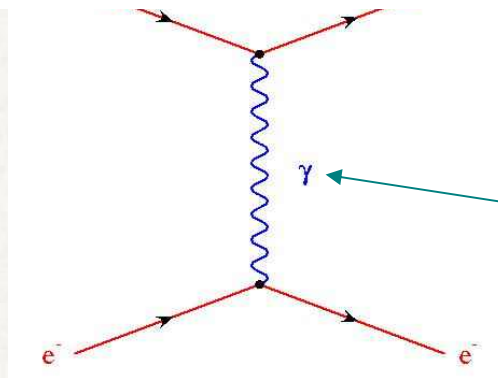
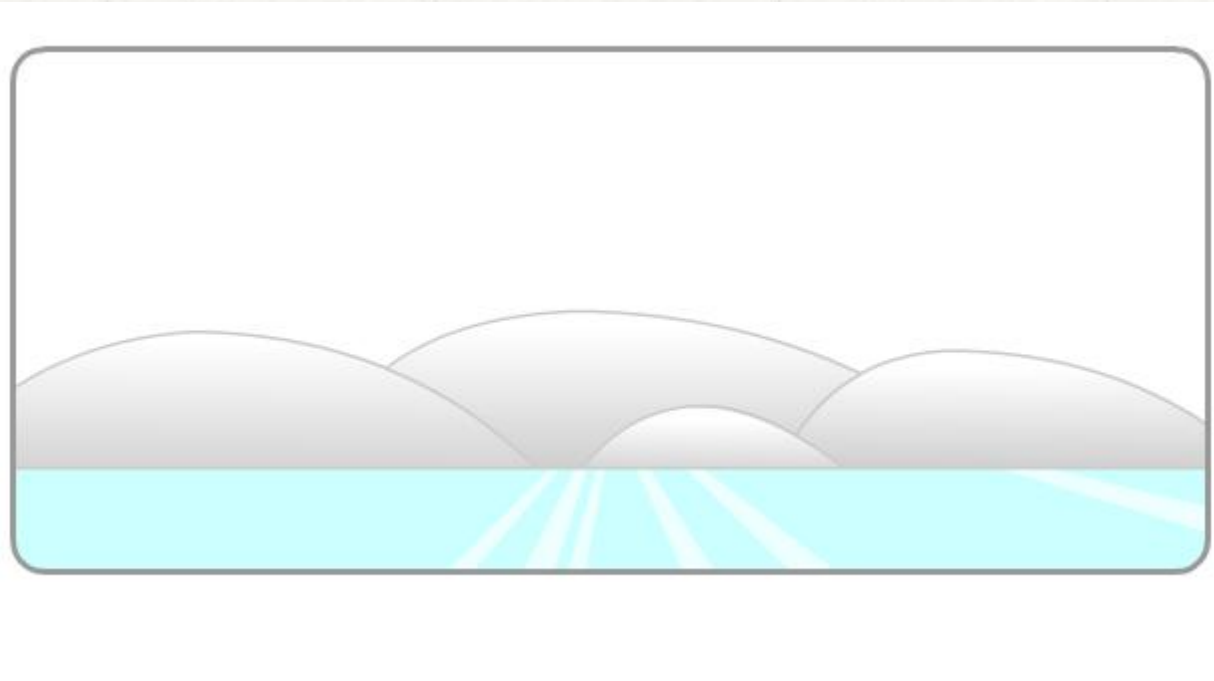
기본힘	작용	세기	힘의 거리	전달자(갯수)
강력	쿼크-쿼크	1	10^{-15}	글루온(8)
전자기력	하전입자	$1/137$	무한대	광자
약력	쿼크, 렙톤	10^{-6}	10^{-18}	W,Z보존(3)
중력	질량	6×10^{-39}	무한대	중력자



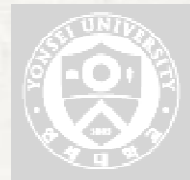
매개입자를 통해 힘이 전달되는 과정



프래시

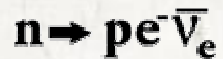
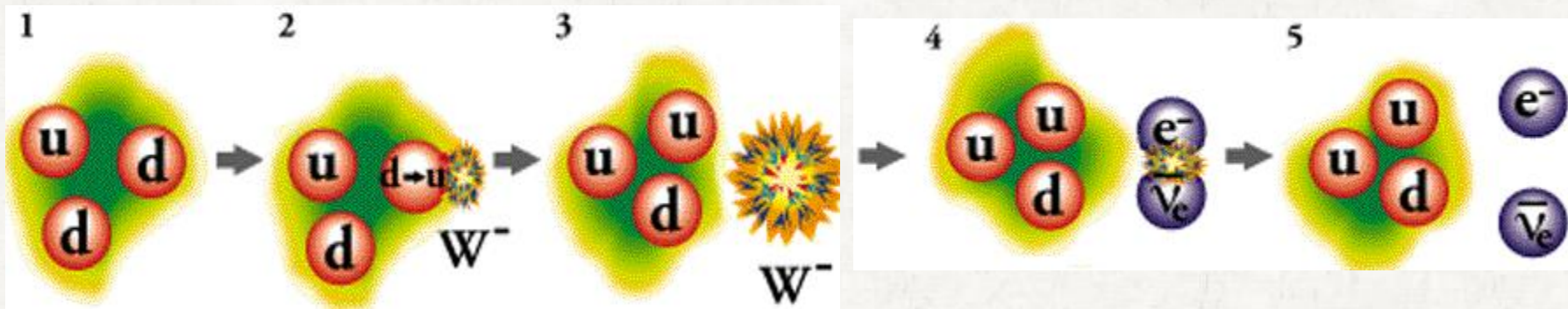


광자를 주고받으며
전자기력을 느낀다

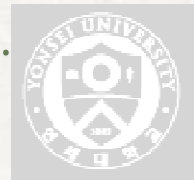


약력

- 무거운 쿼크와 렙톤이 가벼운 쿼크와 렙톤으로 붕괴하면서 **방사능**을 발생시키는 힘
- 원자핵이 다른 종류의 원자핵으로 붕괴하며 방사능을 낸다
- 별이 오래도록 에너지를 내게 하는 원인이 되는 힘이다
- 약력을 매개하는 입자를 W^+ , W^- , Z^0 라고 부른다



β-붕괴: 중성자가 양성자로 붕괴하면서 전자와 반중성미자(중성미자의 반입자)를 내는 것. 방사능을 내는 대표적인 반응이다.



Curie 부부

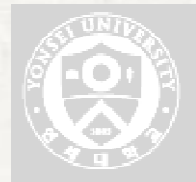


- Marie는 폴란드, Pierre는 프랑스 출신
- 베크렐과 함께 **방사능 물질**을 발견
- 1903년 노벨 물리학상 수상
- Pierre는 교통사고로 1905년 사망
- Marie는 원자 라듐과 폴로늄의 발견으로 1911년 노벨 화학상 수상
 - 물리와 화학에서 수상한 유일한 인물
 - 딸도 나중에 노벨 화학상 수상
- 남편 사망 후 **랑제방**이란 유명한 물리학자이자 유부남과의 염문으로 떠들석
 - 아인슈타인은 이들의 결혼을 지지함
- 처음에는 여성으로 많은 차별을 받았으나 노벨상을 두 개나 받아서 나중에는 아무도 차별할 엄두를 내지 못했음



약력의 성질

- 힘이 매우 약하고 미치는 거리가 매우 짧다
 - 그래서 일상 생활에서 약력을 느끼지 못한다
 - 힘을 매개하는 W, Z 보존이 무겁기 때문
- 좌우 대칭성이 깨져 있다. 즉, 약력은 왼쪽과 오른쪽에 다르게 작용한다 (엄청난 사건임)
 - 중국 물리학자 T. D. Lee와 C. N. Yang이 1956년 이론적으로 제안
 - 이 제안을 중국 여성 물리학자 C. S. Wu가 실험으로 입증
 - Lee와 Yang만 노벨상을 받음





T. D. Lee

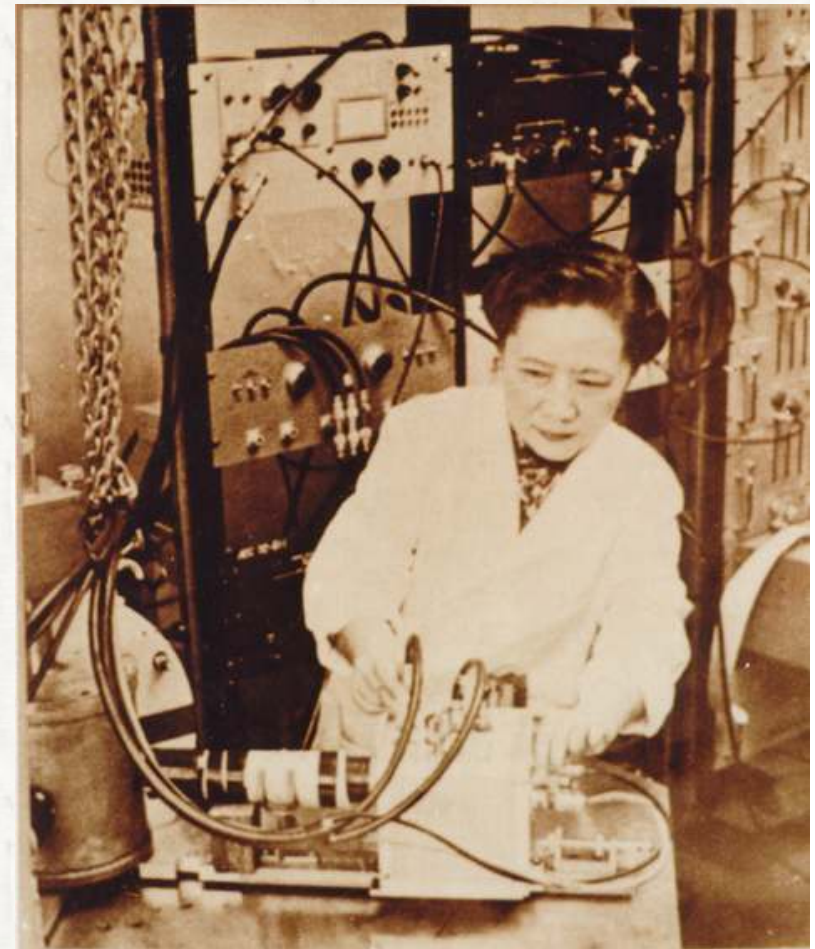


C. N. Yang

C. S. Wu



2004년 크리스마스에 82세의 나이로
28세 대학원생과 재혼함

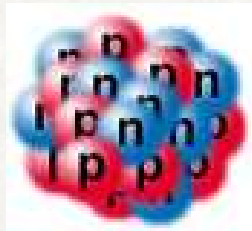


약력은 다른 대칭성도 많이 깬다

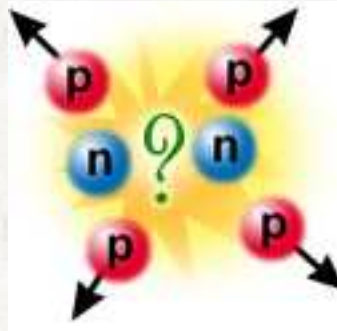
- 물질-반물질 대칭성을 깬다
- 시간 역전 대칭성도 깬다
- 하지만 왼쪽을 오른쪽으로 바꾸고, 물질을 반물질로 바꾸고, 시간까지 거꾸로 돌리면 대칭이다



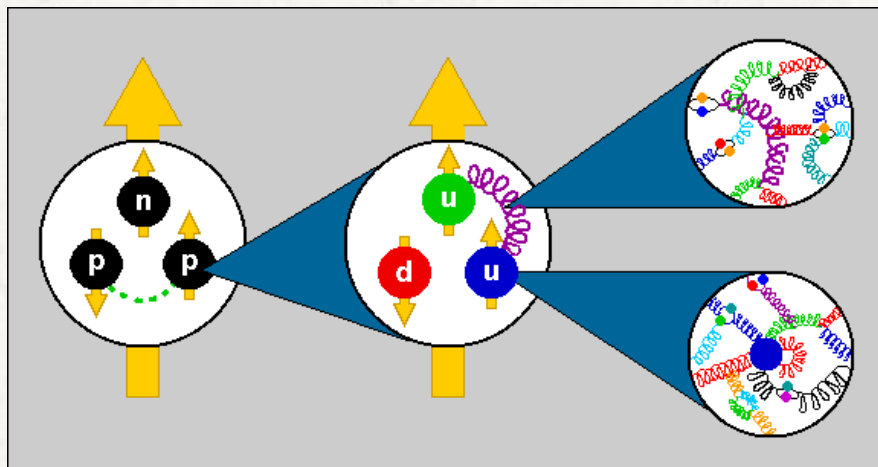
강력



원자핵



핵 내부의 양성자는 왜 서로 밀쳐내지 않는가?



- 강력: 쿼크를 묶어준다
- 글루온: 강력의 전달입자



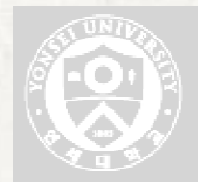
강력: 원자력의 근원



New Mexico, USA

1945년 7월 16일 아침 5시 29분 45초 최초의 핵폭탄 실험 장면

강력으로 인해 다양한 종류의 원자가 가능해졌다

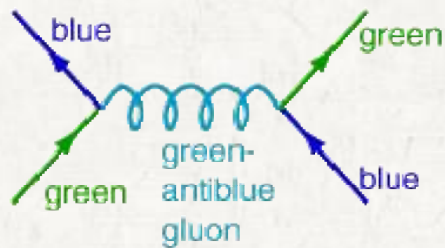


색깔 있는 입자 쿼크

쿼크



반쿼크



Feynman diagram for an interaction between quarks generated by a gluon.

Source quark	Gluon emitted	Transformed quark
red	red antiblue	blue
blue	blue antigreen	green
green	green antired	red

Quark Quark

A red quark emits a red-antiblue gluon and transforms into a blue one.

강력이론: 양자색역학(Quantum Chromodynamics)



감옥에 갇힌 쿼크



실험적 사실

✓ 색깔 있는 입자 쿼크는 밖에 혼자 돌아다니지 못한다.

✓ 여러 개의 쿼크가 모여서 각각의 색깔이 합쳐져 흰색이 될 때만 자유 입자가 된다.



Red + **Green** + **Blue** = **White** (양성자, 중성자)

Red + **anti-Red** = **White** (중간자(meson))

Hadron = **bound states of quarks**
(양성자, 중성자, 중간자)

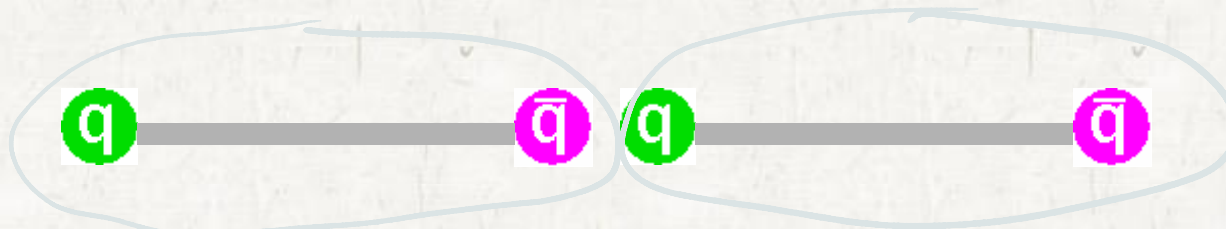
Why?



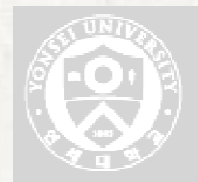
강력은 고무줄



✓가까이 있으면 힘이 거의 작용하지 않고 멀리 떨어질수록 강하게 끌어당긴다. (asymptotic freedom; 점근적 자유성)



✓너무 세게 당기면 끊어져 두 입자가 된다.
(quark confinement; 감옥에 갇힌 쿼크)



양자색역학 (Quantum Chromodynamics)

- 강력을 기술하는 근본 이론
- 1973년 Gross, Polizer, Wilczek이 이론 완성
 - SU(3) Yang-Mills 게이지 이론이라는 양자장론이 점근적 자유성이 있는 이론임을 증명함
 - 2004년 노벨상 수상
- 이론은 완성되었지만 이 이론을 풀어서 정확한 답을 구하는 것은 아직까지 풀리지 않은 중요한 문제로 남아 있음
 - 물리뿐 아니라 수학에서도 7대 문제 중의 하나



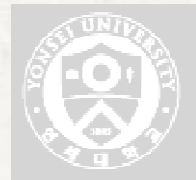
David J. Gross
(당시 32세)
프린스턴 교수



Frank Wilczek
(당시 22세)
프린스턴 학생



H. David Politzer
(당시 24세)
하버드 학생



여기서 잠깐!

2008년의 노벨 물리학상



The Nobel Prize in Physics 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



Photo: SCANPIX

Yoichiro Nambu

1/2 of the prize

USA

Enrico Fermi Institute,
University of Chicago
Chicago, IL, USA



Photo: Kyoda/Reuters

Makoto Kobayashi

1/4 of the prize

Japan

High Energy Accelerator
Research Organization (KEK)
Tsukuba, Japan



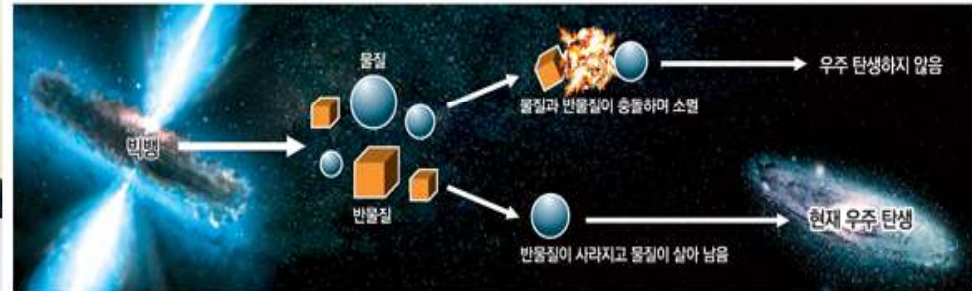
Photo: Kyoto University

Toshihide Maskawa

1/4 of the prize

Japan

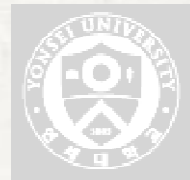
Yukawa Institute for
Theoretical Physics (YITP), Kyoto University
Kyoto, Japan

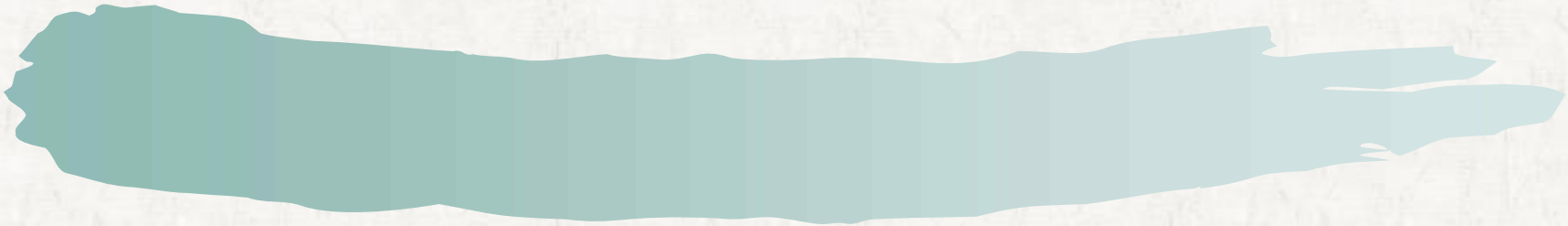


좌우대칭 파열 구조
이론 발견한 공로

자연계에 좌우대칭
파열의 기원을 발견

물질과 반물질의 비대칭성 밝힘





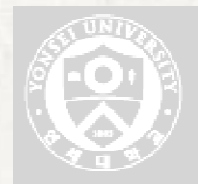
일본 대 한국 16: 0

어떤 경기의 SCORE 인가?

Nishina, Yoshio(仁科芳雄) (1890~1951)

- Klein-Nishina formula(1929)로 유명한 물리학자
- 하이젠베르크(1929년 일본 방문), 디랙, 보어 등 쟁쟁한 노벨상 수상자들을 일본에 초청
 - 일본 젊은 과학자들에게 매우 큰 영향을 주었다.
 - 일본의 젊은 과학자들은 이미 세계 최고 학자들과 직접 교류하는 상황
(아인슈타인은 Nishina와 상관없이 1922년 일본 방문, 상대론 강연)
- 1931년에 RIKEN에 돌아와 cosmic ray research group과 cyclotron group을 만듦.
- Nishina의 지도 하에 Yukawa는 1949년에, Tomonaga는 1965년에 노벨상을 수상.
- Yukawa의 업적은 1935년 연구 결과, **당시 이미 일본은 유럽의 최고 학자들과 교류하면서 세계 최고 수준의 기초과학을 하고 있었다.**

우리는 단지 시작이 늦었을 뿐이다!!!



질량의 근원을 찾아서

우리의 몸무게는 어디에서 왔는가?



질량의 근원을 찾아서

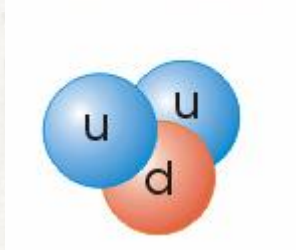
- 양성자와 중성자는 전자보다 2000배 무겁다.

➡ 전자의 질량은 무시할 정도로 작다.

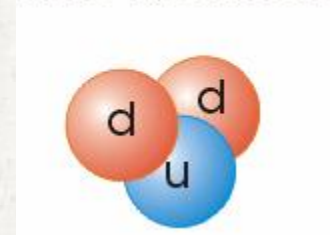
∴ 물질의 질량 ~ 양성자와 중성자의 질량

- 양성자와 중성자는 쿼크 세 개로 이루어져 있다.

The Proton



The Neutron

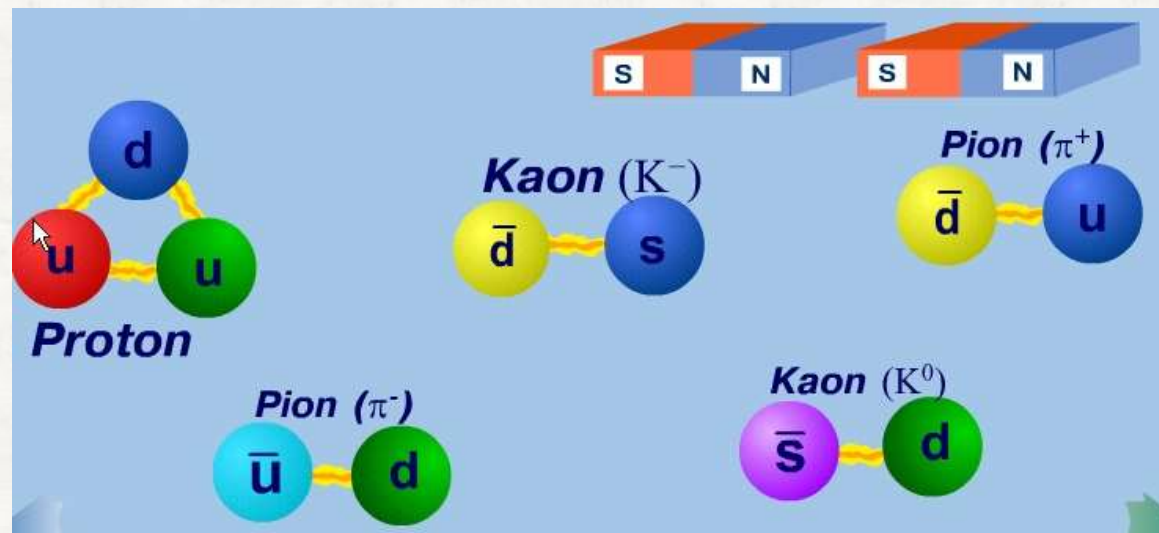


- 양성자의 질량 = 3 x (쿼크의 질량) ? *No!*

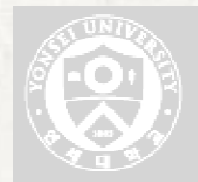
쿼크 세 개의 질량은 양성자의 질량의 5%미만!



- 쿼크가 양성자 감옥을 탈출하지 못하도록 붙잡고 있는 **글루온**이 쿼크들의 상호작용을 매개한다
- 이때 발생하는 에너지가 대부분의 질량을 만들어낸다

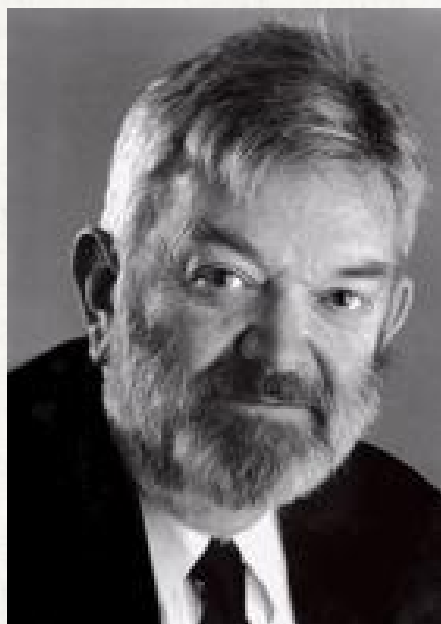
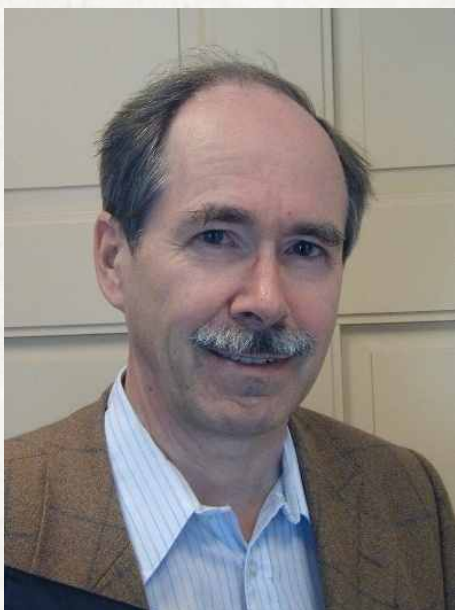
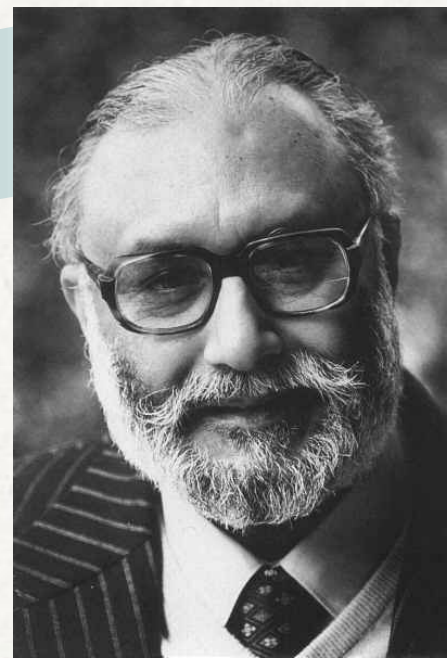
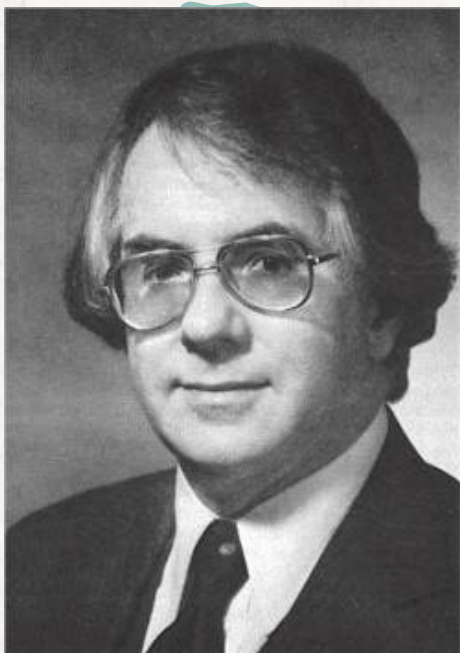


$$E = mc^2$$



힘의 통일

- Maxwell(1864): $\text{전기력} + \text{자기력} = \text{전자기력}$
 - 겉보기에 달라 보이는 힘을 통일한 최초의 예
- Glashow – Weinberg – Salam (1962~1968):
 $\text{전자기력} + \text{약력} = \text{전자약력}$
 - 전자기현상을 일으키는 전자기력과 방사능의 원인인 약력이 사실은 같은 힘이다
 - ‘t Hooft와 Veltman, 이휘소 박사에 의해 1971년에 이론적인 문제점이 완전히 해결되고 이후 수많은 실험적 증거가 드러남
 - GWS는 1979년, ‘tHV는 1999년 노벨상 수상
 - 이휘소 박사는 1977년 불의의 교통사고로 42세에 사망
 - 수학적으로 이 이론은 “SU(2) X U(1) 게이지 이론”이다.



KBS 한국방송 HD

이휘소 벤자민 리 Benjamin Lee (1945-2017)
한국이 낳은 세계적인 양자물리학자

KBS 과학의 달 특별기획 2부작

이휘소의 진실

1부 무궁화꽃은 피지 못했다 2010년 4월 28일 수요일 밤 10:00 1TV

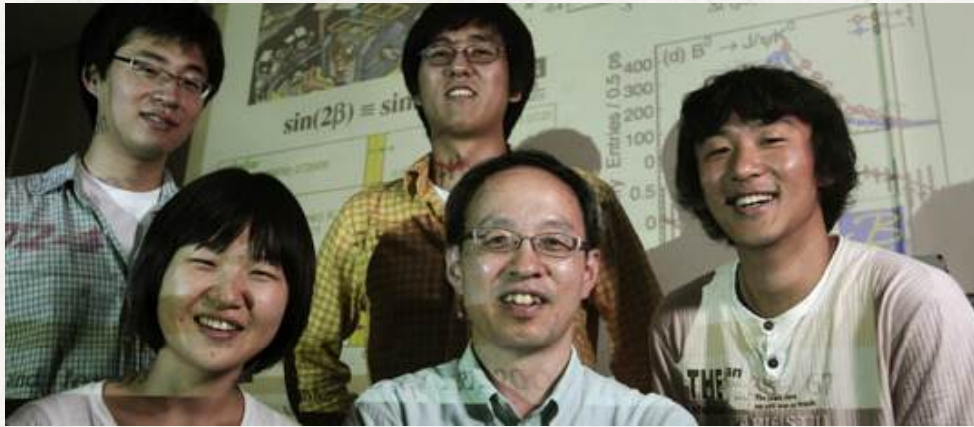
2부 벤자민 리의 유산 2010년 4월 29일 목요일 밤 10:00 1TV

책임프로듀서 | 이광주 촬영감독 | 김승환 변준호 박성우 조영 | 김희영 특수영상 | KBS미디어텍 - 이철호 표재일모션 - 한상진 이준혁 박민성 한성우 임호상 김재진 음악 | 박종영 이태성 사운드디자인 | 김지환
사운드마스터 | 이찬영 제작편집 | 김태진 자막 | 황은서 NPS Mastering | 도광익 글 구성 | 김지연 자료조사 | 김아람 조연술 | 권영수 연출 | 문진규

후원 한국과학창의재단 / 교육과학기술부, 한국물리학회 / 주성엔지니어링

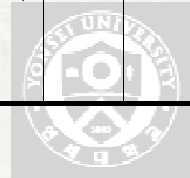


연세대 물리학 분야 세계 36위



22개 분야 중 세계 정상급에 근접한 분야는 물리학이었다. 피인용 수가 높은 논문(피인용 수 상위 1%)을 발표한 대학을 기준으로 논문당 피인용 수를 비교한 결과 물리학 분야는 미국 코넬대(100점)가 세계 1위였다. **이 분야에서 68점(36위)을 받은 연세대를 비롯해 경북대 42점(107위), 고려대 38점(123위), 서울대 37점(129위)으로 이름을 올렸다.**

순위	게재 연도	학술지명	논문명	한국인 저자	논문 유형	분야	피인용 횟수	한국인 저자역할
1	2004	Physics Letters B	Review Of Particle Physics	권영준 / 연세대	Review	물리학	2,857	공저자
2	1998	Physical Review Letters	Evidence For Oscillation Of Atmospheric Neutrinos	김수봉 / 서울대	Article	물리학	1,967	공저자
3	2006	Journal Of Physics G - Nuclear And Particle Physics	Review Of Particle Physics	권영준 / 연세대	Article	물리학	1,387	공저자
4	2003	Nature	Reticular Synthesis And The Design Of New Materials	채희권 / 한국외대 (현: 서울대)	Review	화학	929	공저자
5	2000	Nature	A Homochiral Metal-Organic Porous Material For Enantioselective Separation And Catalysis	김기문 외 6인 / 포항공대	Article	화학	914	주저자



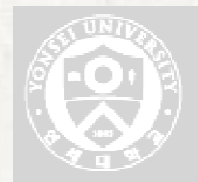
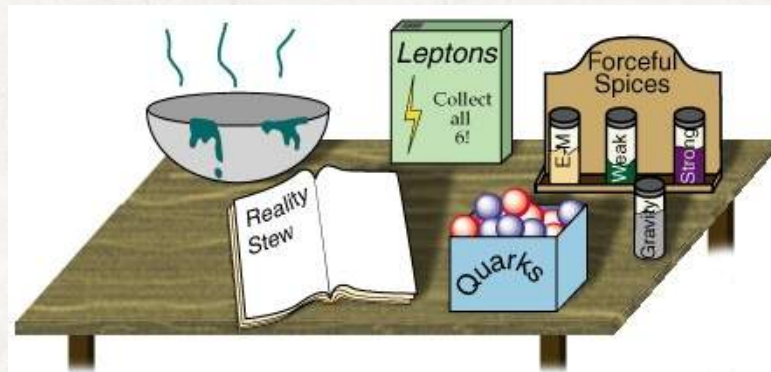
표준 모형

$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, 중력(일반상대론)

강력

전자약력

- It is a simple and comprehensive theory that explains all the hundreds of particles and complex interactions with only:
- 6 quarks.
- 6 leptons. The best-known lepton is the electron.
- 4 types of force carrier particles, like the photon.



표준 모형의 기본 입자들

물질을 이루는 12개 입자(fermion)들과
4종류의 매개 입자(boson)들

Leptons	Quarks		
	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
	I	II	III

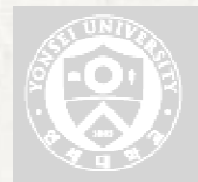
The Generations of Matter

	Gravity	Weak	Electromagnetic	Strong
		(Electroweak)		
Carried By	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and $W^+ W^-$	Quarks and Gluons

표준 모형
에 불 포함

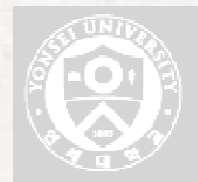
표준 모형: 4 종류 매개 보손

렙톤(lepton) 또는 경입자(輕粒子)는 물리학에서 스핀이 $\frac{1}{2}$ 이고 (페르미온) 강하게 상호 작용하지 않는 기본 입자이다. 전자, 뮤온, 타우온과 각각에 해당하는 중성미자로, 현재 까지 총 6종이 알려져 있다.



표준 모형의 힘의 매개 입자들

기본힘	작용	세기	힘의 거리	전달자(갯수)
강력	쿼크-쿼크	1	10^{-15}	글루온(8)
전자기력	하전입자	$1/137$	무한대	광자
약력	쿼크, 렙톤	10^{-6}	10^{-18}	W,Z보존(3)
중력	질량	6×10^{-39}	무한대	중력자



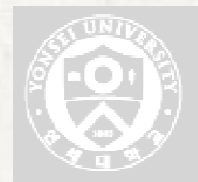
표준 모형과 문제점

SU(3) X SU(2) X U(1), 중력(일반상대론)

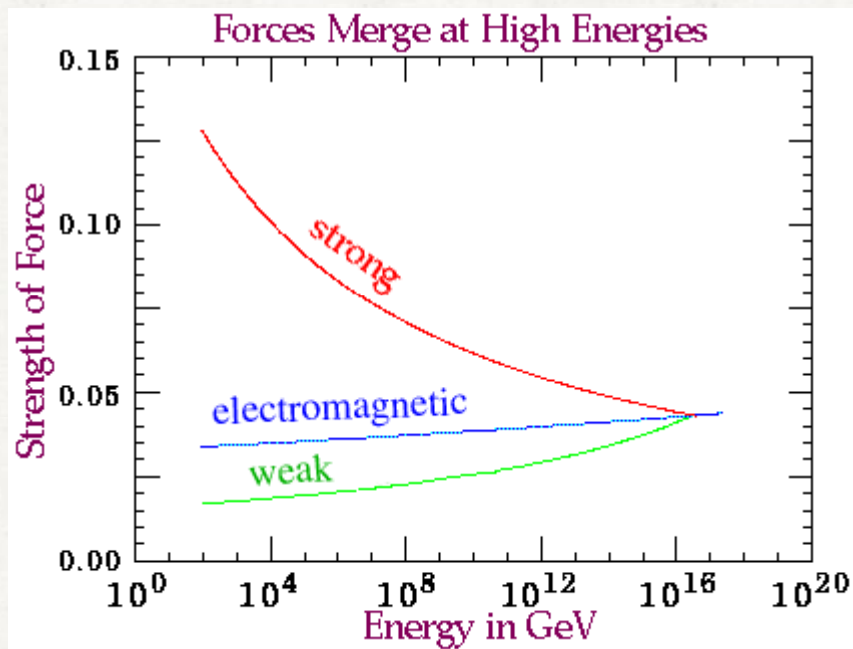
강력

전자약력

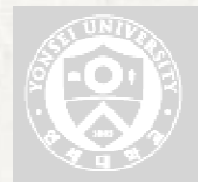
- 입자가 너무 많다
- 근본 힘 사이에 관련이 거의 없다
- 사람이 실험으로 맞춰 줘야 하는 상수가 너무 많다.
그래서 보기에 충분히 아름답지 못하다. 예를 들면,
 - 전자의 질량은 왜 하필이면 $9.10938188 \times 10^{-31}$ kg 일까?
 - 왜 쿼크나 렙톤은 하필이면 3세대가 있을까?
 - (만약 신이 있다면) 신은 이 세상을 창조할 때 왜 이런 숫자들을 사용했을까? 필연적인 이유가 있었을까? 등등
 - 이 모든 숫자들을 단 하나의 원리로 정해줄 수는 없을까?
- 그리고, 결정적으로,
일반상대론(중력)과 양자역학을 결합하는데 실패했다!



대통일장 이론 (Grand Unification Theory; GUT)



- 강한 핵력, 약한 핵력, 전자기력을 통합하려는 이론
- 표준 모형을 포함하는 이론
- 그러나 중력장은 포함할 수 없었다.
- 1974년 글래쇼와 조지아이가 제안(아직 완성되지 않음)

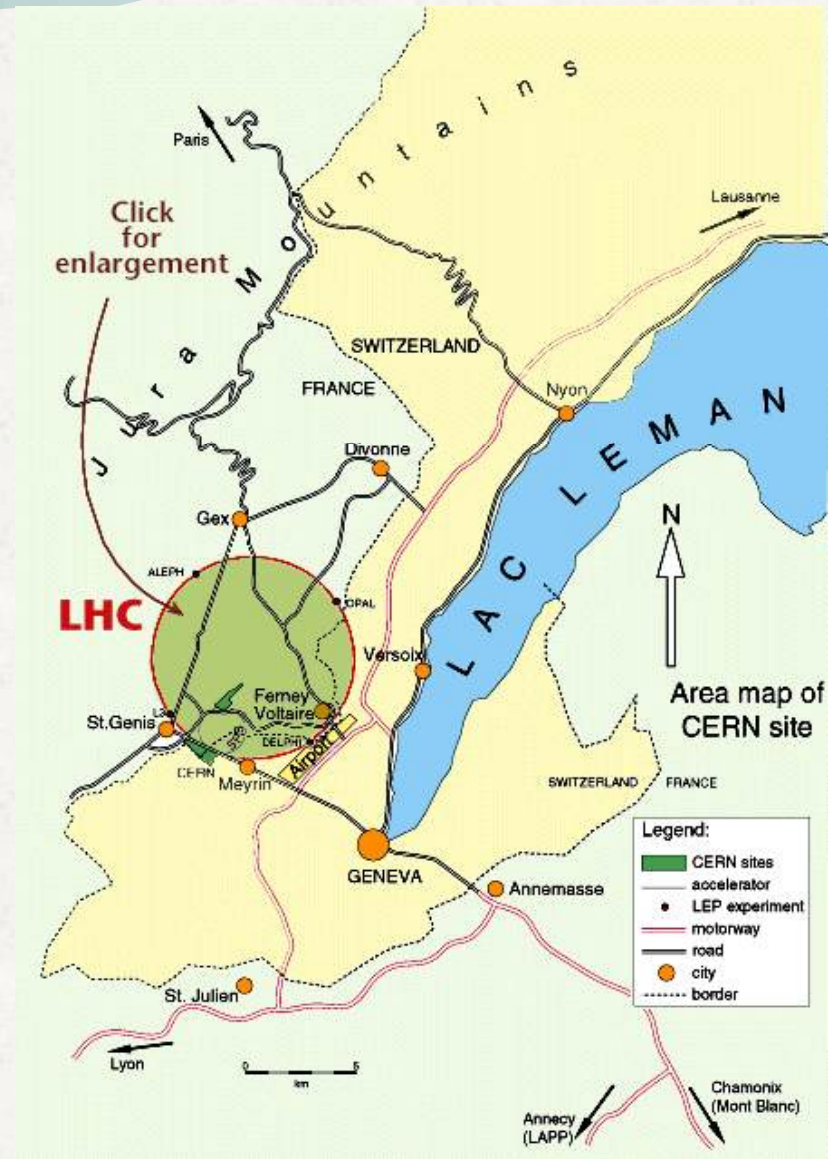


표준모형 이론의 검증: 입자 실험

CERN: 세계 최대의 입자 가속기

- 프랑스와 스위스 2개국에 걸쳐 지하에 건설
- 51년 전 CERN 건설
- 유럽 20개국이 공동으로 참여
- 80여개국에서 6500여명의 물리학자들이 연구에 참여
- 발전소 한 개 분량의 전기 사용
- 인간이 만든 가장 거대한 건축물
- 인간이 만든 가장 정밀한 실험장비

✓ Geneva에 TGV가 지나가면 실험 결과가 달라지고 레만호의 조석 간만의 차이에도 영향을 받는다.

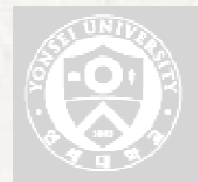


스위스, 프랑스 국경



비행기 활주로

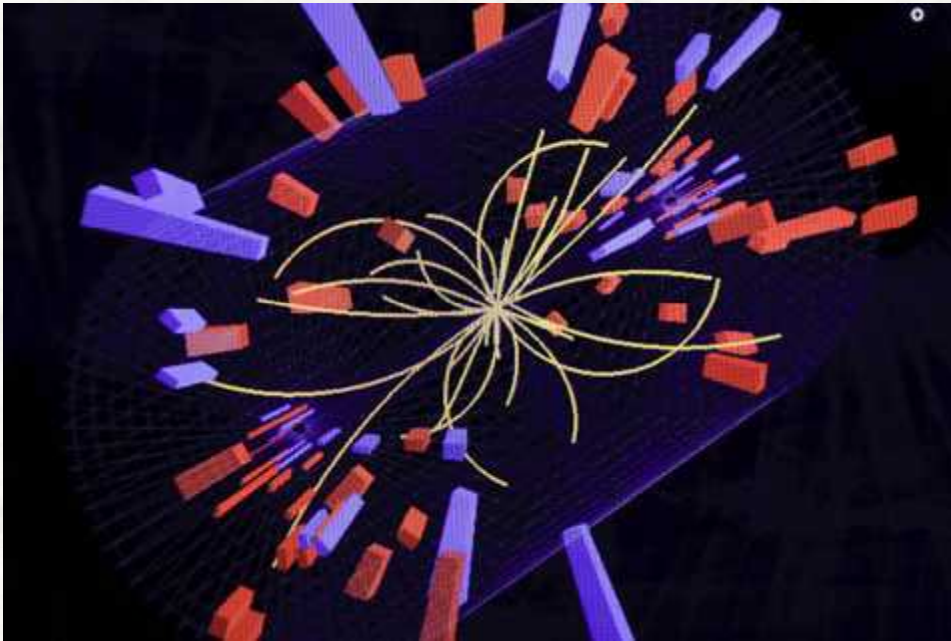
60m 지하의 터널에 둘레 27km의 대형 강입자가속기 (LHC)를 2008년 완공, 현재 다양한 실험 중



LHC : Large Hadron Collider (거대 강입자 (양성자, 중성자 등)충돌기)

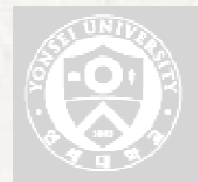
This image shows an aerial view of the ITER site, with various components of the tokamak reactor overlaid. The components include the toroidal field coils, the central solenoid, the neutral beam injectors, the cryogenic plant, the vacuum vessel, the breeding blanket, the divertor, the diagnostic systems, the power distribution system, the cooling system, the safety systems, the access systems, the maintenance systems, the training facilities, the administrative buildings, the parking areas, and the surrounding infrastructure. The components are color-coded and labeled to show their location and function within the overall reactor design.

유럽입자물리연구소(CERN)의 강입자가속기(LHC)가 2010년 3월 30일 사상 최고의 속도로 두 개의 양성자를 충돌시키는 '빅뱅 실험'에 성공했다.



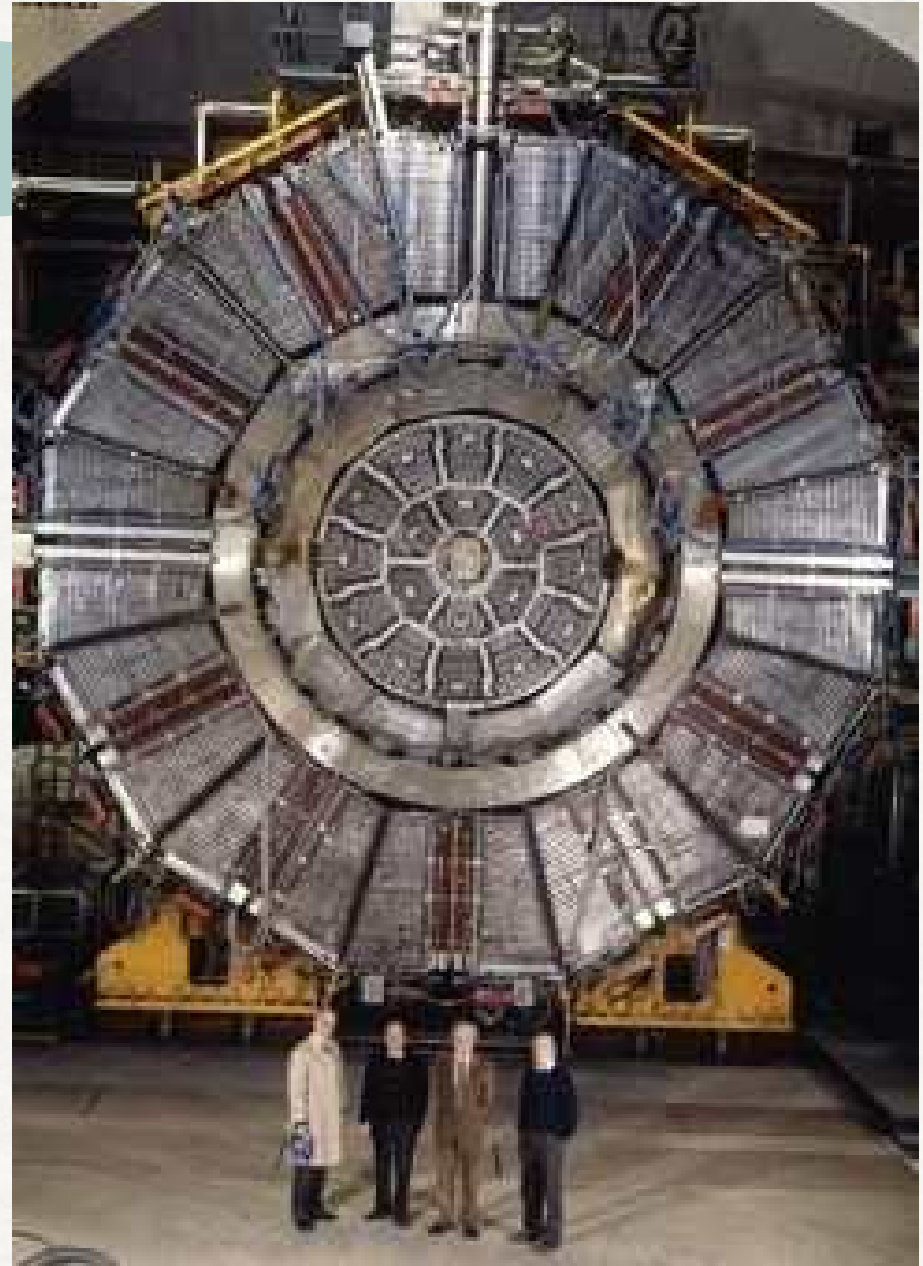
이 실험은 200억개의 양성자를 길이 27 km에 달하는 원형 터널 안에서 빛에 가까운 속도로 가속해 충돌시키는 것이었다. 서로 반대쪽에서 달려온 양성자들이 3.5TeV(테라전자볼트 · 1TeV는 1조 전자볼트)에 달하는 에너지를 품은 채 충돌했다. 충돌 순간 에너지는 총 7TeV였던 것이다. 양성자가 충돌하면서 튀어나온 입자는 검출기를 통해 기록된다. 이번 실험은 한 번으로 끝나지 않고, 18~24개월 동안 지속될 예정이다.

▲ 30일 사상 최고 속도의 양성자 충돌 실험에 성공한 CERN(유럽입자물리연구소)의 통제실 모니터에 비친 실험 데이터 화면. 충돌의 결과가 그래픽으로 표현돼 있다. / AFP연합뉴스 (3.30)

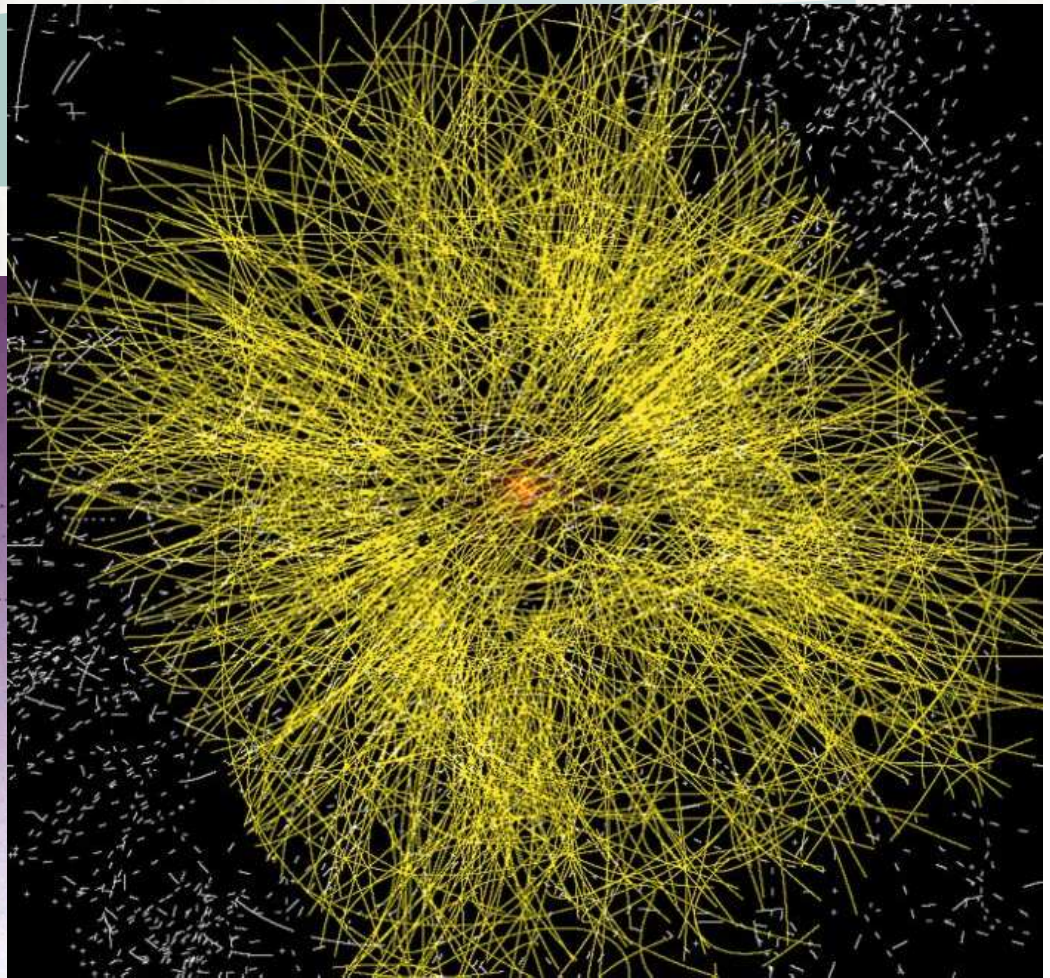
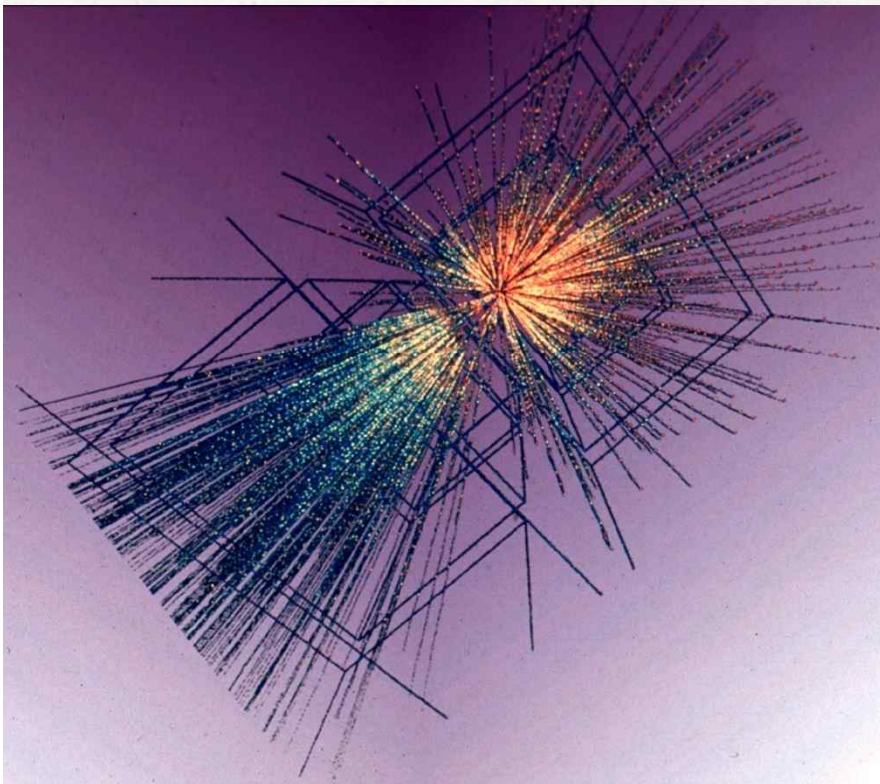


검출기

가속되어 충돌한
입자를 측정하는
검출기



실험장면

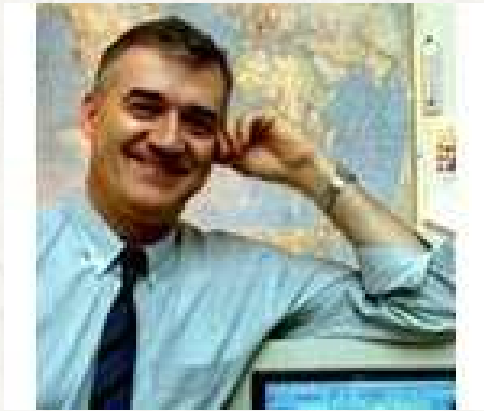


NA49 experiment : lead ion collisions

엄청난 양의 실험 데이터는 어떻게 분석하는 것일까?



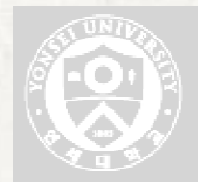
CERN: 세계 정보혁명의 진원지

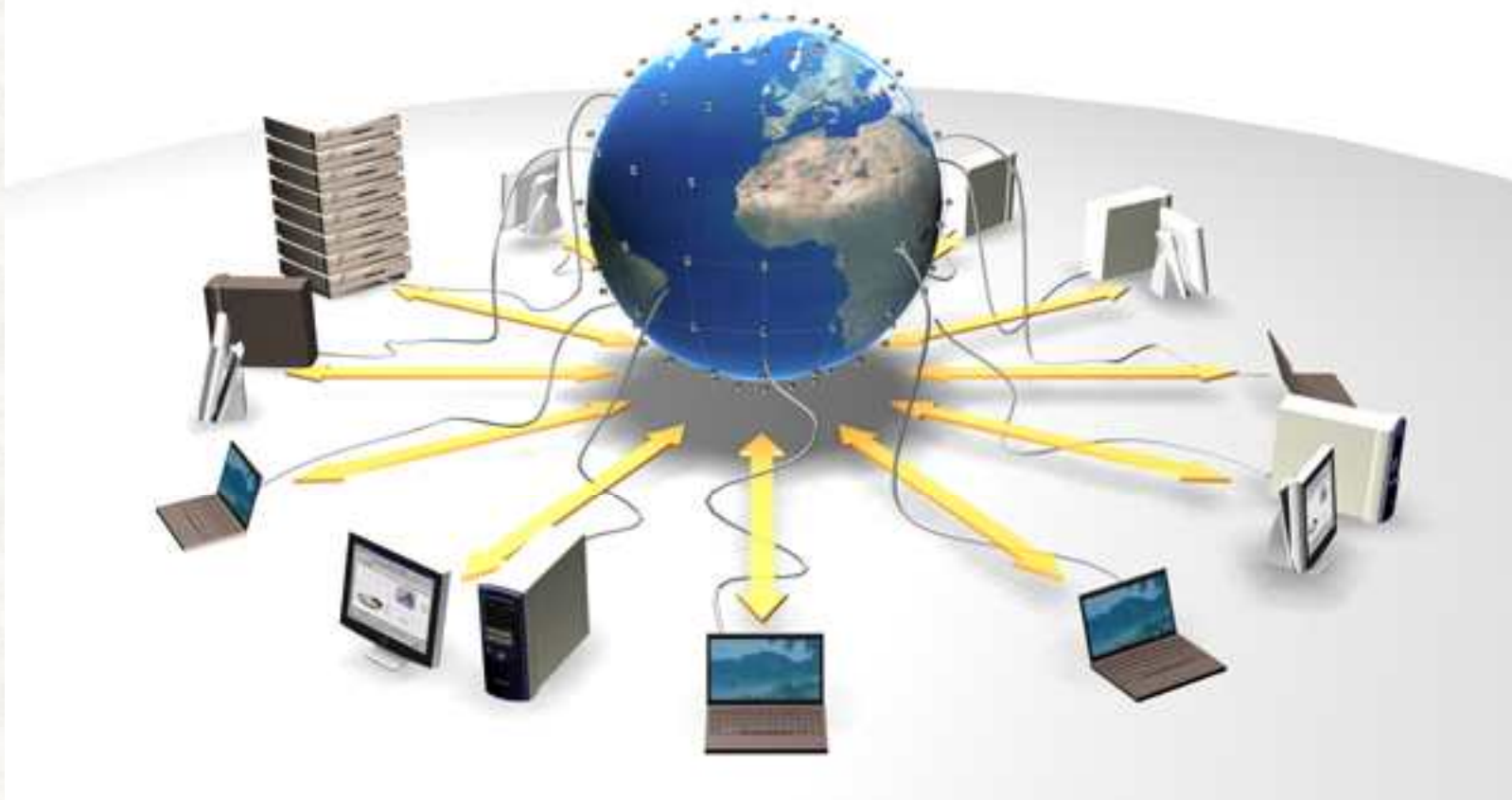


Tim Berners-Lee(이 사람이 세계를 바꾸는 일을 촉발하였다. 자기도 모르게)
1989년 CERN에서 World Wide Web 창안

World Wide Web을 만든 목적:

엄청난 양의 실험 데이터와 정보를
쉽고 효율적으로 공유하기 위해서





- 매년 CD 2천만 장 분량의 데이터 생산
- 이것을 분석하기 위해서는 현재 가장 빠른 CPU가 7만개 이상 필요
➔ 슈퍼 컴퓨터로도 처리 불가능

DataGrid: computing power and storage for next-generation scientific research

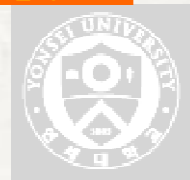


천사와 악마



CERN에서 천사와 악마 설명 보기

● CERN 홈페이지 방문하기



우리나라의 가속기



포항 방사광 가속기

이용 분야: 고체물리, 나노과학, 생명과학, 의학, 기계공학, 신소재 개발 등. 현재 새 세대 가속기 건설 계획 중



중이온 가속기

과학 비즈니스 벨트- 기초과학 연구원에 건설 예정

이용 분야: 핵물리, 새로운 원소 탐색, 암 치료용 동위원소 생산 등



표준 모형의 완성을 위하여 아직도 필요한 것이 있다

신의 입자 '힉스' 존재 흔적 찾았다

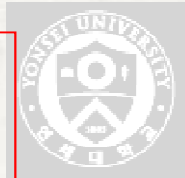
동영상
응답



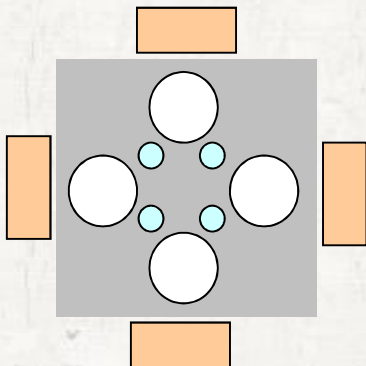
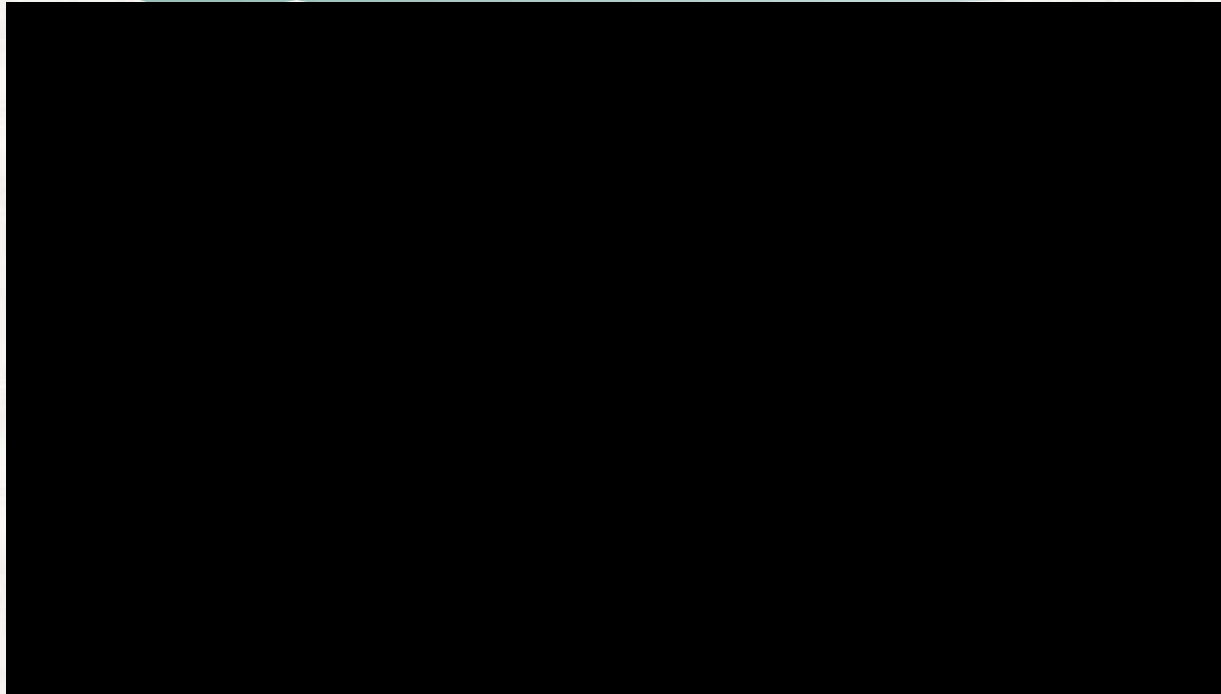
Source file

http://imnews.imbc.com/replay/nwdesk/article/2983878_5780.html

Higgs 입자는 사라진 것이 아니고 Higgs field로 존재, 다만 관측을 위해서는 큰 에너지가 필요함!



What is Higgs Boson?



Source file

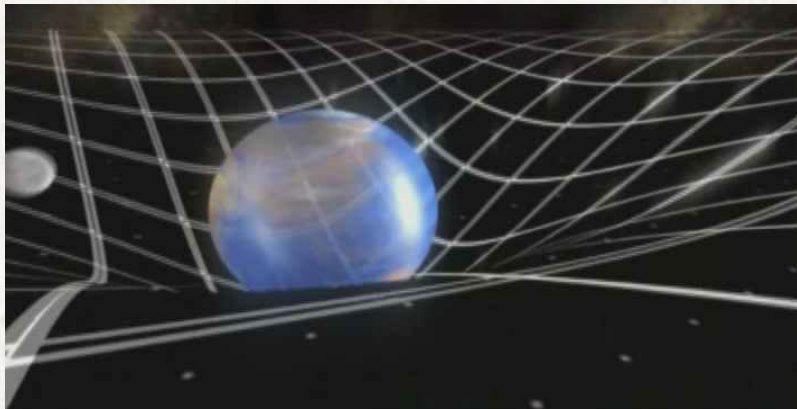
[http://www.youtube.com/watch?v=JBhAjTpx_Os
&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=JBhAjTpx_Os&feature=related)

동영상
영영영



일반상대론과 양자역학의 충돌

블랙홀: 매우 많은 물질이 엄청난 밀도로 작은 곳에 모여 있다
→ 일반상대론과 양자역학을 모두 적용해야 한다



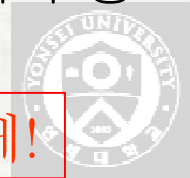
➤ 일반상대론

- 강한 중력이 작용할 때 적용
- 휘어진, 그러나 매끈한 시공간

➤ 양자역학

- 미시 세계에 적용
- 시공간의 불확정성
→ 시공간의 모양 자체가 정해지지 않는다

오랫동안 해결되지 않고 있는 현대 물리학의 가장 중요한 문제!



모든 이론의 통일을 위하여

질문: 왜 이론을 꼭 하나로 통일해야 하는가?

답 (자신의 답은 무엇인가?)

질문: 하나로 통일된다면?

- 우주의 모든 것이 단 하나의 궁극적인 원리에서 나왔다는 것을 알게 되고 또 그 원리를 인간이 알아냈다는 것을 뜻한다
- 정말 가능할까?.

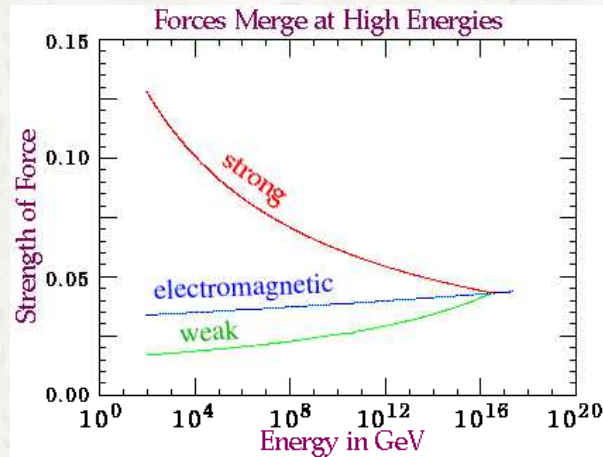
질문: 그것이 우리 실생활과 어떤 관계가 있는가?

답 1. 별로 상관 없음.

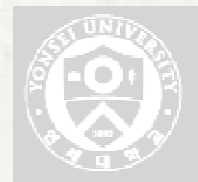
답 2. 그러나 인간의 역사는 탐구의 역사이다. 궁극의 이론이 이루어 지건 아니건 인간의 지적 모험은 그치지 않을 것이며 그러한 지적 탐험의 부산물로 문명, 철학, 인간의 역사가 달라질 것이다.



중력과 다른 힘(표준모델)의 통합이 필요하다- 초끈 이론(Super-String Theory)의 등장

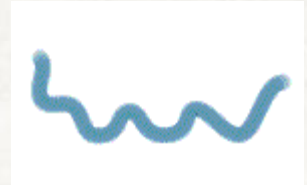


- Where do the four forces that we see come from?
- Why do we see the various types of particles that we do?
- Why do we live in 4 spacetime dimensions?
- What is the nature of spacetime and gravity?

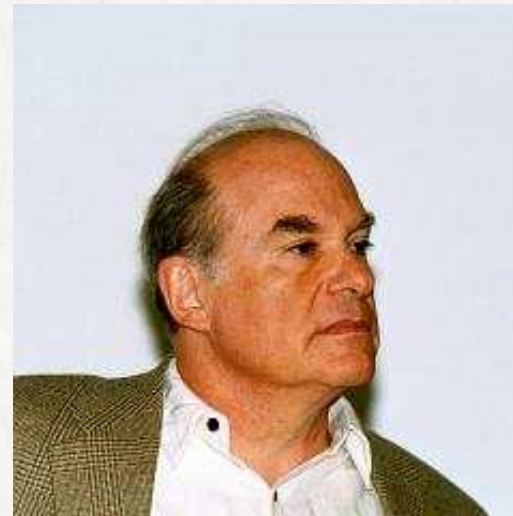


초끈의 등장(Superstring theory)

- 모든 힘을 통일하는 유력한 후보
- 특히 중력(일반상대론)과 양자역학을 결합해냈다
- 초끈 이론의 태동: 1970년대
- **1차 초끈 혁명:** 1984년 (Green, Schwarz)
- **2차 초끈 혁명:** 1995년 (Witten)



Green



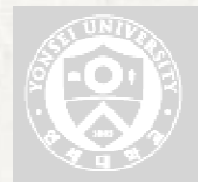
Schwarz



Edward Witten(1951~)



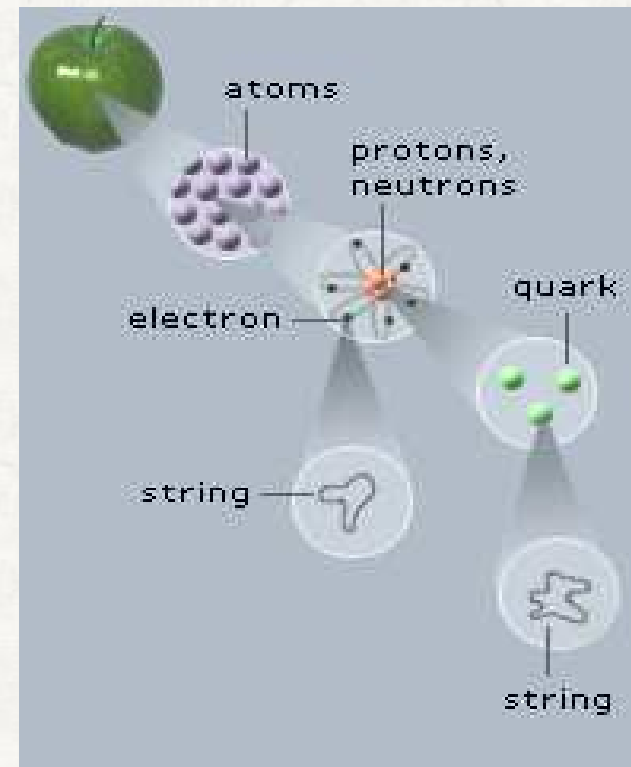
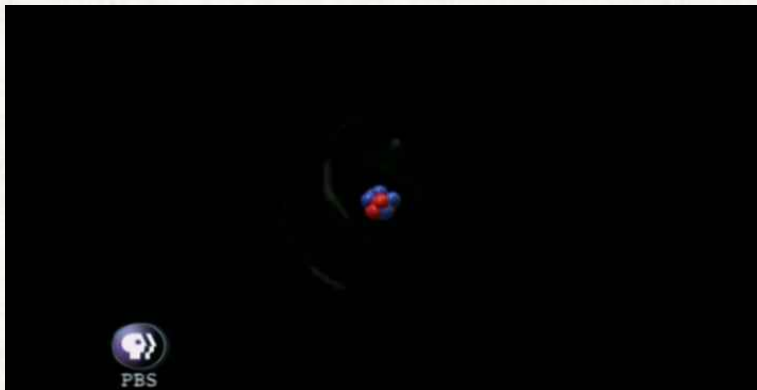
- 미국 물리학자
- 현대의 아인슈타인이라 불림
- 1970년대 중반부터 입자 물리학계를 선도하고 있음
- 학부는 역사학 전공
 - 정치 평론가가 꿈이었다고 함
 - 한때 미국 민주당 선거운동을 하기도 했으나 지지했던 대통령 후보가 떨어져 좌절
 - 대학원에서 물리학 전공으로 바꿈
- 수학의 노벨상인 필즈 메달 수상
- 하지만 노벨 물리학상은 받지 못했고 앞으로도 받을 수 있을지는 의심스러움
 - 초끈 이론은 실험으로 검증이 거의 불가능하기 때문



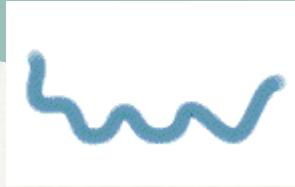
초끈 이론에 의하면

➤ 만물은 끈이다

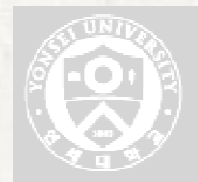
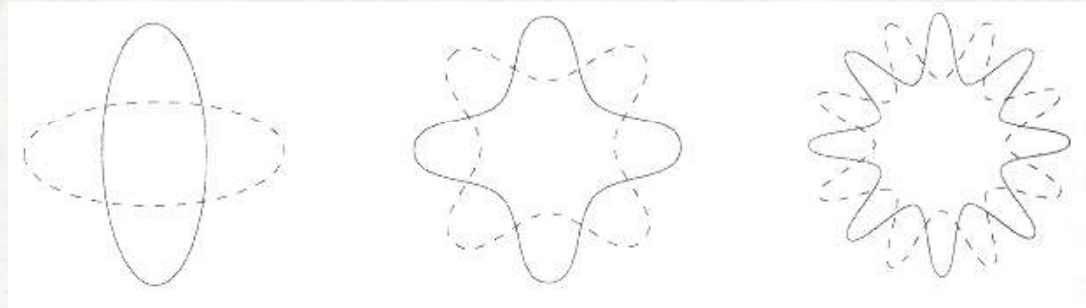
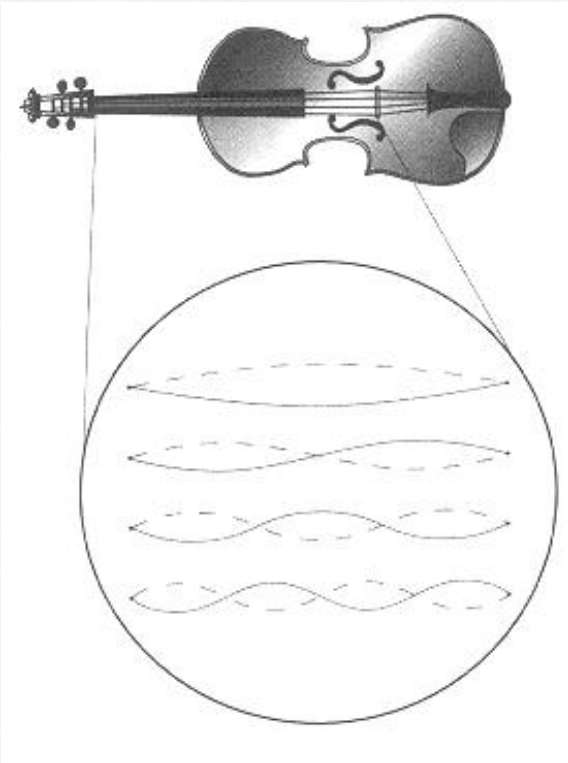
- 전자나 쿼크나 렙톤이나 광자(빛)나 다른 모든 기본 입자가 모두 끈으로 이루어져 있다
- 그런데 끈이 너무 작아서 실험에서는 크기가 없는 입자처럼 점으로 보이는 것이다



- 끈은 열린 끈과 닫힌 끈의 두 종류가 있다



- 끈이 어떻게 진동하는가에 따라 여러 종류의 입자가 생긴다



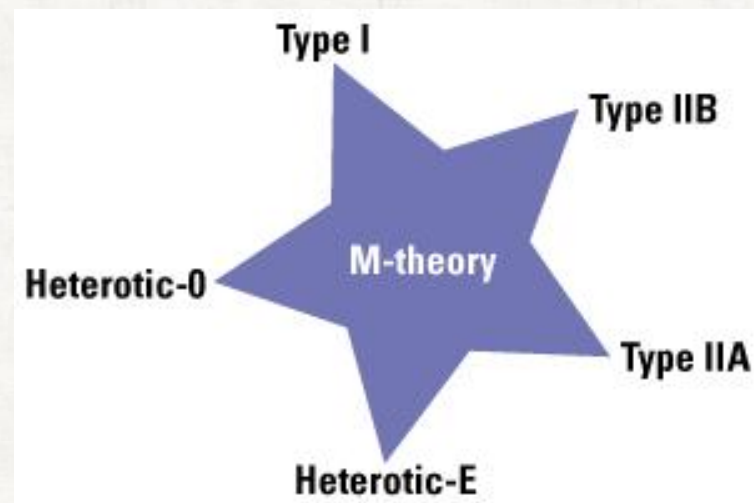
➤ 초끈 이론은 몇가지나 있나?

- Type I, Type IIA, Type IIB, Heterotic-O, Heterotic-E

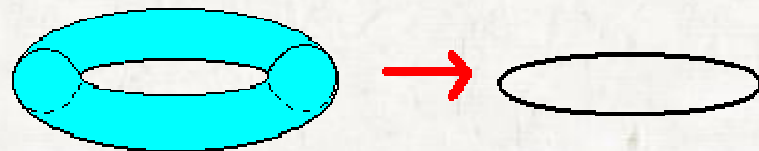
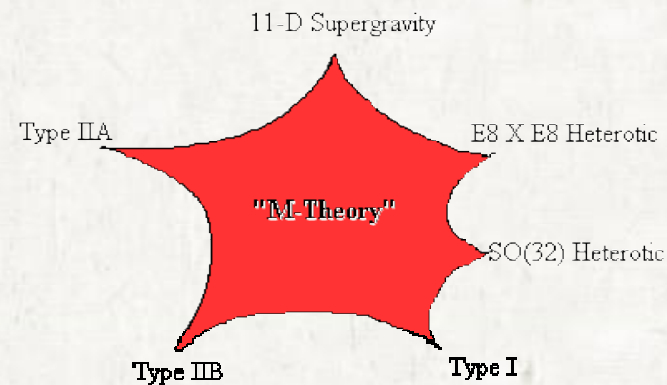
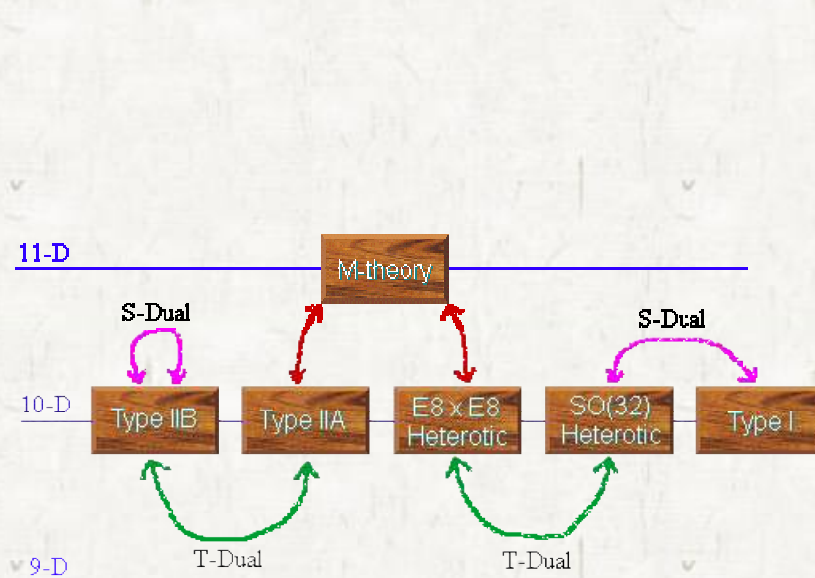
- Too many!

➤ 다섯 개의 이론을 모두 통합하는 M-이론이 있다(11차원)-1995년(Witten).

- M은 mother, magic, mystery, matrix 등을 뜻함
- Witten이 자기 이름의 W를 뒤집어서 M이라고 했다는 농담도 있음



다섯 가지 초끈 이론과 M 이론과의 관계



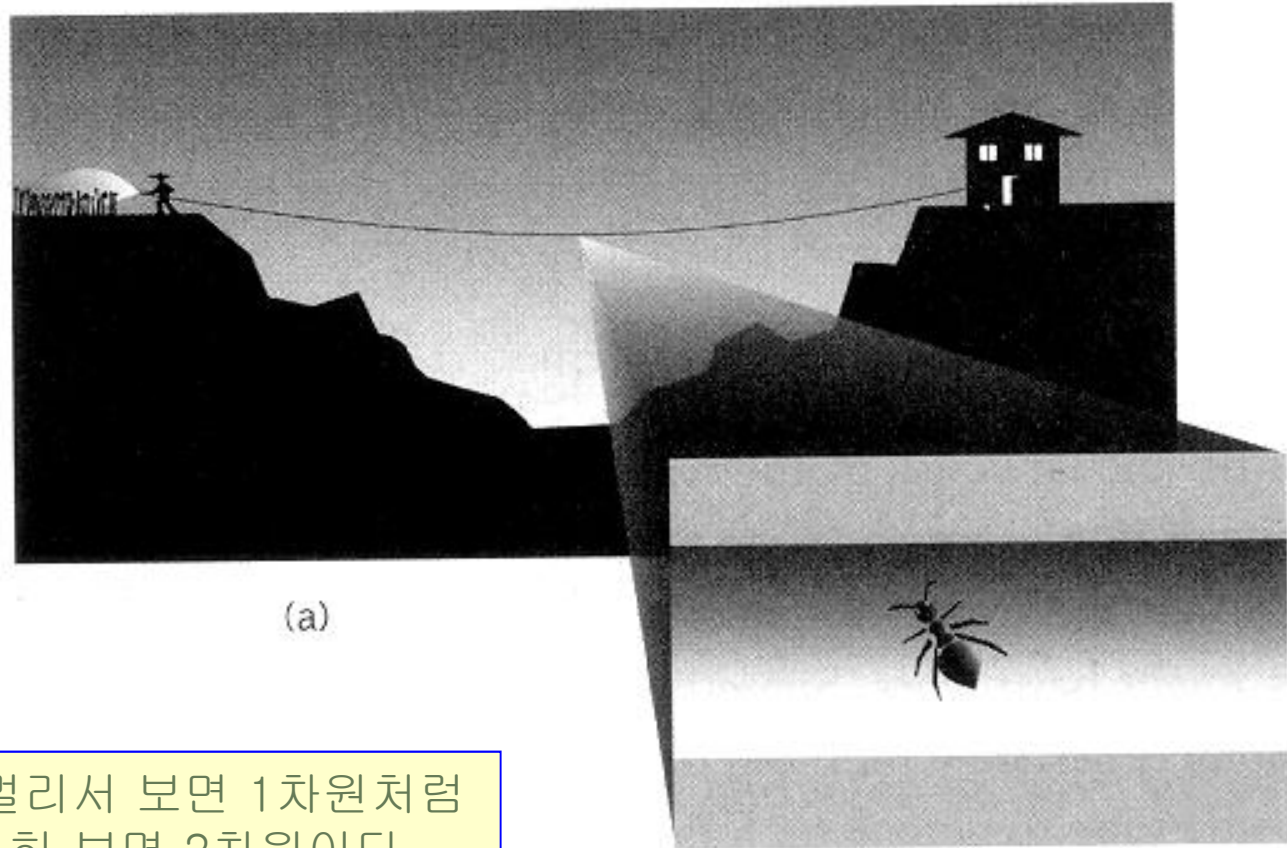
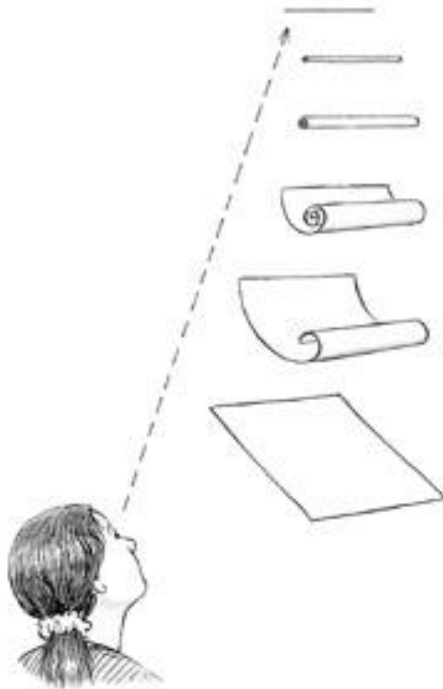
11차원, 스트링
이 아님

10차원, 스트링



➤ **우주는 11차원(=10차원의 공간 + 1차원의 시간)**

- 겉보기에는 공간이 3차원밖에 없지만 나머지 7차원은 우리가 보이지 않는 크기로 작게 말려있다



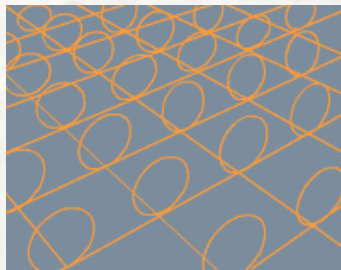
(a)

(b)

전선 표면은 멀리서 보면 1차원처럼 보이지만 자세히 보면 2차원이다.



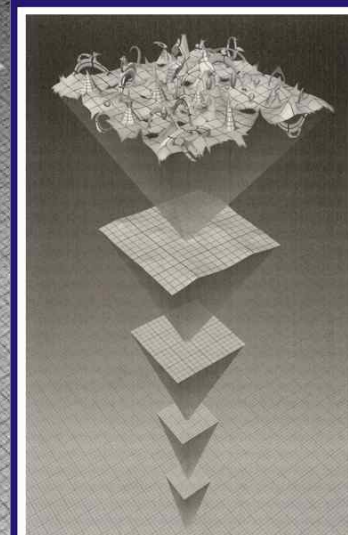
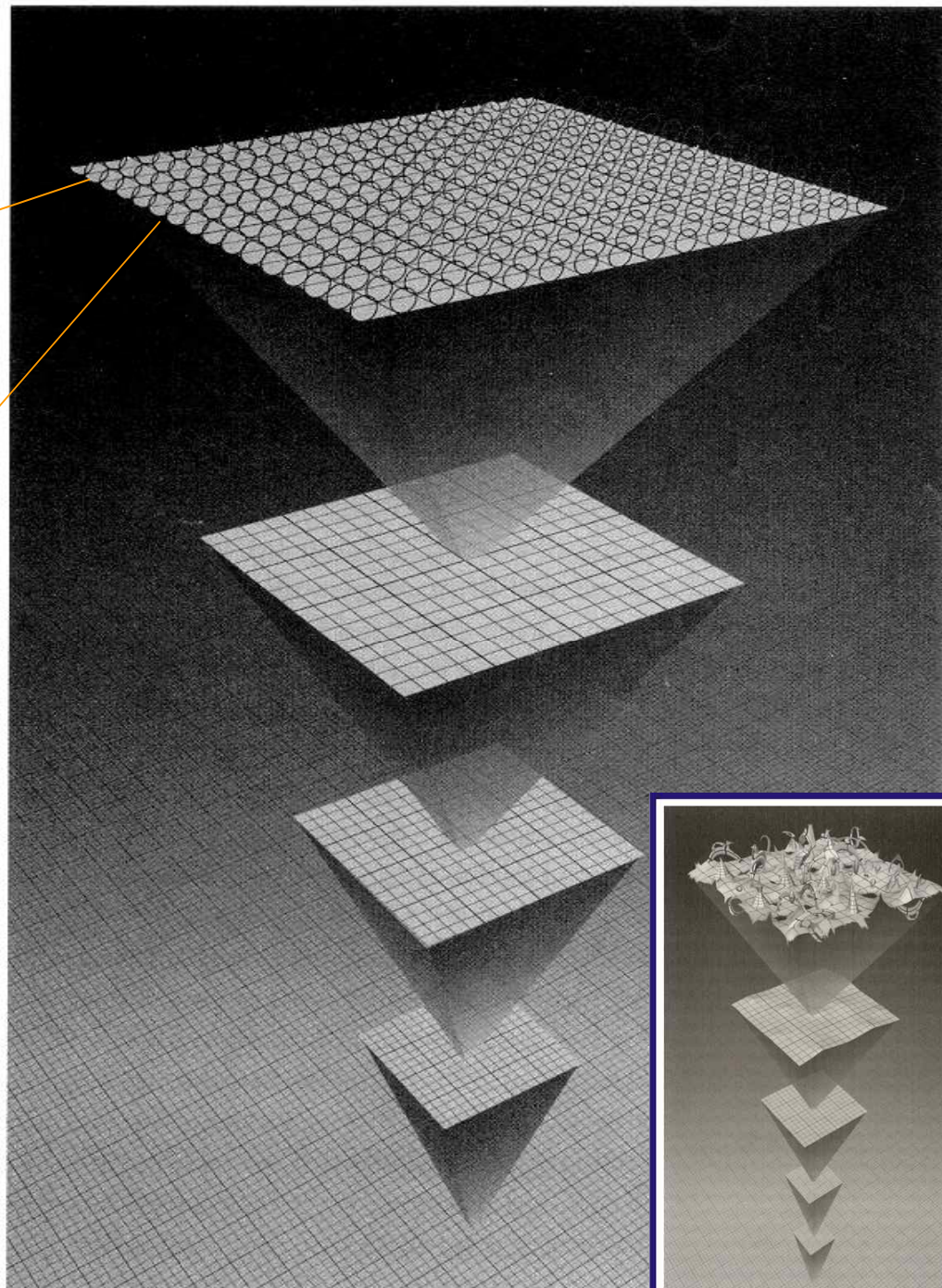
- 우주의 시공간도 계속 확대를 거듭하면 작게 말려 있는 7차원이 발견되며 string과 진공의 요동이 나타난다.



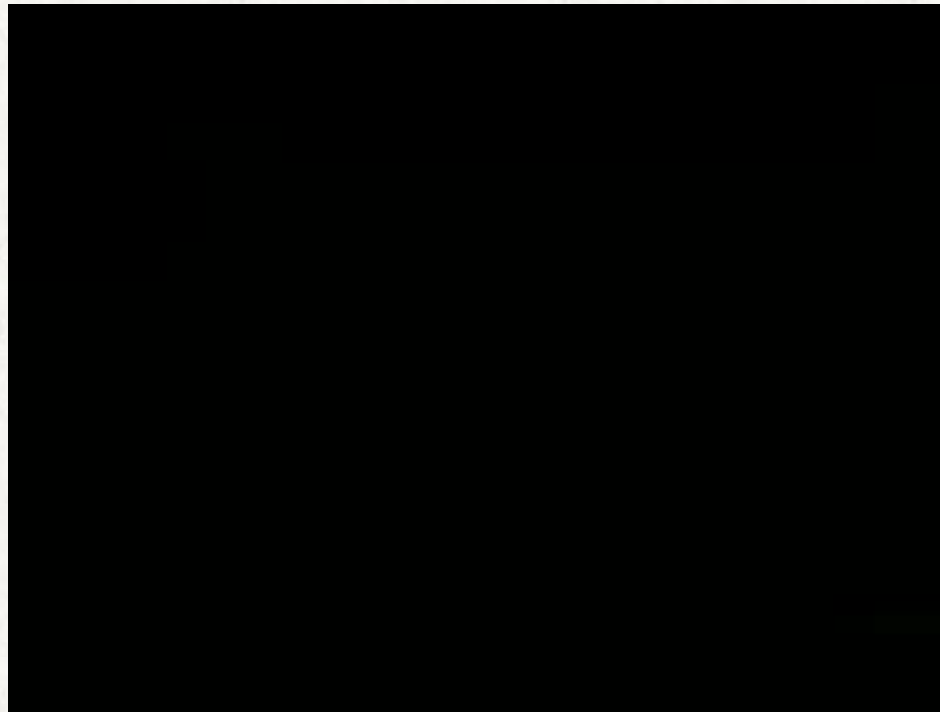
초끈 이론에 의하면
시공간은 이런 모양
으로 복잡하게 말려있다



동영상



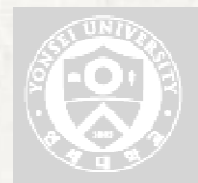
String Theory



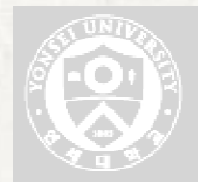
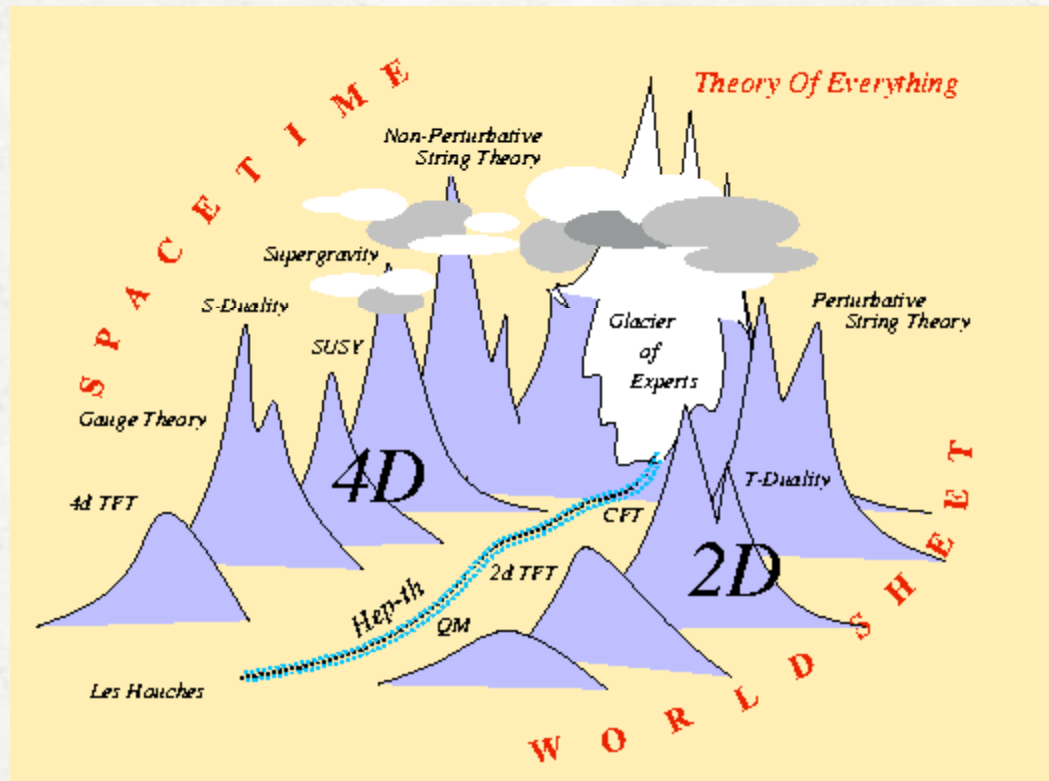
Source file

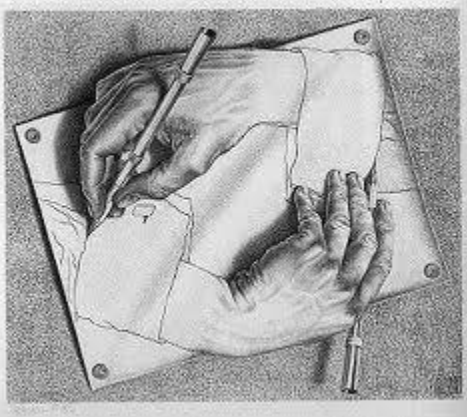
http://www.ted.com/talks/lang/ko/brian_green_e_on_string_theory.html

동영상
동영상



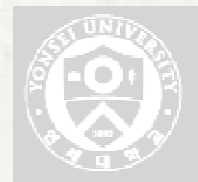
궁극적 이론은 존재하는가?





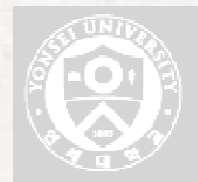
Gödel의 불완전성 정리와 Theory of Everything

- Gödel의 불완전성 정리: 아무리 완벽한 수학 체계라고 할지라도 그 체계 내의 공리만으로는 논증할 수도 없고 반박할 수도 없는 명제가 존재하며, 따라서 모든 수학 체계는 그 자체로서는 완전성의 조건을 충족시키지 못한다는 것이다.
- 그러면 몇 개의 공리로 시작하는 물리이론이 모든 물리적 현상을 설명할 수 있을까?
- 괴델 증명의 기본 발상
 - 거짓말쟁이 역설: **한 남자가 자기는 거짓말을 하고 있다고 말한다. 그가 말한 것은 참인가? 아니면 거짓인가?**

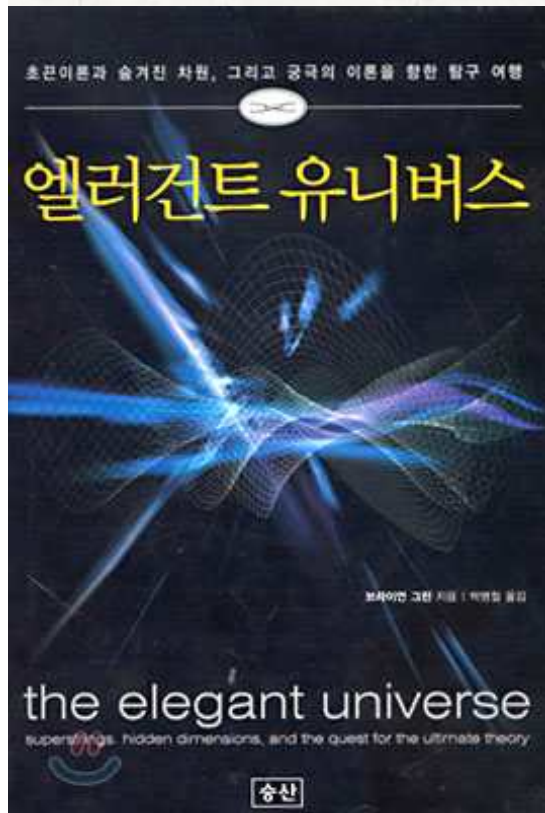


다양한 견해들

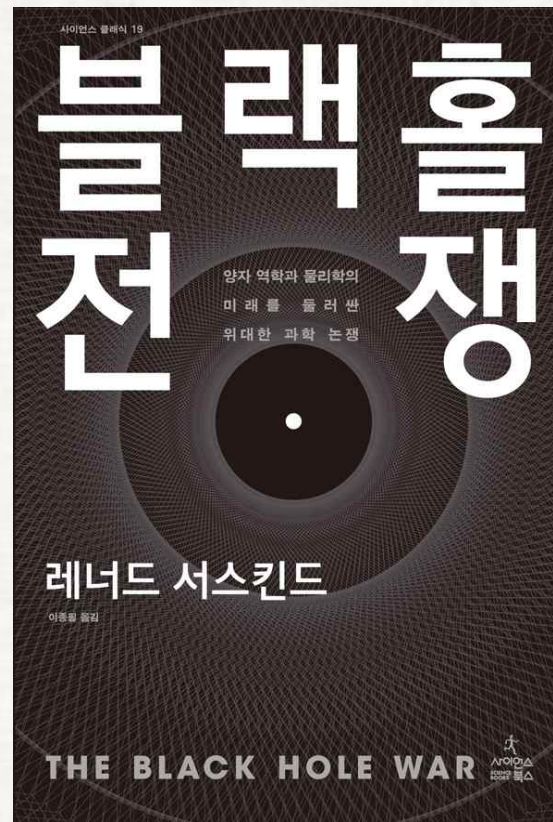
- Freeman Dyson :“ Gödel’s theorem implies that pure mathematics is inexhaustible. No matter how many problems we solve, there will always be other problems that cannot be solved within the existing rules (물리학의 끝은 없다).
- Most physicists argue that Gödel's Theorem **does not** mean that a TOE cannot exist. On the other hand, the scholars invoking Gödel's Theorem appear, at least in some cases, to be referring not to the underlying rules, but to the understandability of the behavior of all physical (TOE는 존재할지도 모르지만 우리가 그것이 TOE(종착역)인지 알 길이 없다.
- 그러나 대부분의 학자들은 **중력과 양자역학을 통합한 이론**은 TOE이건 아니건 발견 가능하다고 믿고 있다.
- TOE는 철학적 명제와 관련하여 계속 논쟁 중이다.



초끈 이론과 우주에 관한 서적들



브라이언 그리니 쓴
초끈 이론에 대한 해
설서



서스킨드가 쓴 초끈
이론에 의한 블랙홀
이론-호킹과의 두뇌
전쟁



남순건교수가 쓴 초끈
이론의 입문서

