

An Atom as an Onion

양파 같은 원자



July 10, 2019

KAIST

Young-Kee Kim (김영기)

The University of Chicago (시카고 대학교)

KAIST Visiting Distinguished Scholar

Research in Physics (물리학)

천체 물리
Cosmology

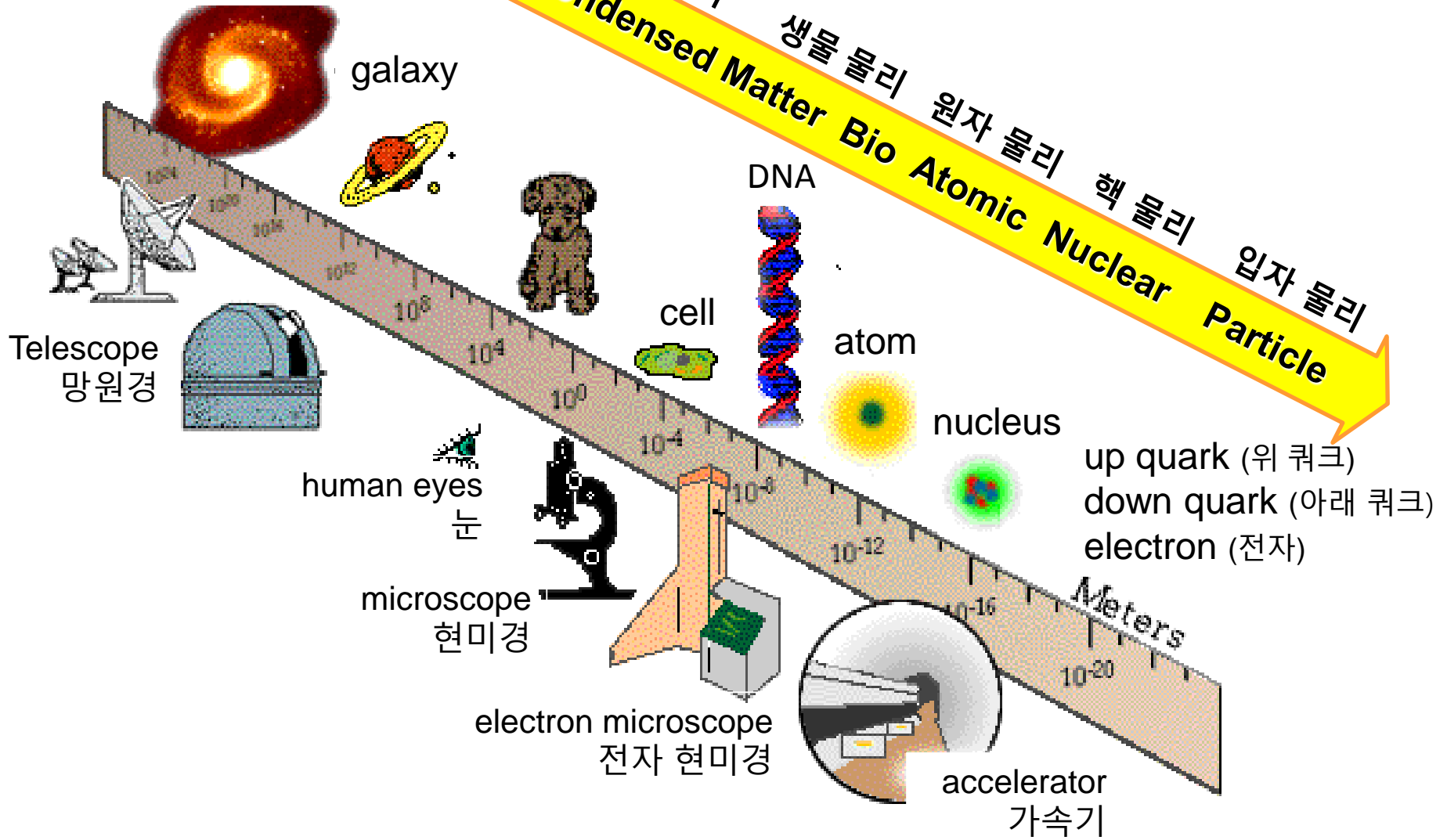
고체 물리
Condensed Matter

생물 물리
Bio

원자 물리
Atomic

핵 물리
Nuclear

입자 물리
Particle



레고 세상

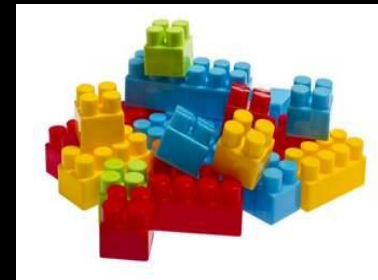


레고 세상은 무엇으로 만들어 졌나?

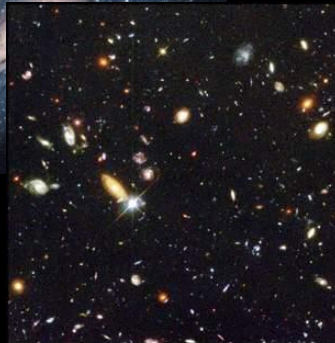
레고 세상의 모든 것을 만드는
가장 작은 알맹이는 무엇일까?

레고 세상에서 가장 작은 것은 무엇일까?

레고 블록



이 세상은?



Hubble Deep Field HST · WFPC2
PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

이 세상은 무엇으로 만들어 졌나?

이 세상의 모든 것을 만드는
가장 작은 알맹이는 무엇일까?

이 세상에서 가장 작은 것은 무엇일까?

무엇이 이들을 결합해서 이 세상이 만들어졌나 ?

작은 알맹이와 초기 우주 친밀한 관계

자연의 법칙 찾아내기

입자 물리학은

- 세상은 무엇으로 만들어 졌나?
- 어떻게 세상을 만들어 졌나?
- 우리는 어디에서 왔으며, 왜 여기에 있나?

- 이 세상의 모든 것을 만드는 가장 작은 알맹이는 무엇일까?
- 무엇이 이들을 결합해서 이 세상이 만들어졌나?
- 우주의 시작 → 현재 → 미래?

- 가장 작은 것과 가장 큰 것이 만나는 연구
- 기본 요소와 우주 세계가 만나는 연구
- 내부 세상과 외부 세상이 만나는 연구



이 세상의 모든 것은 원자들로 이루어져있다

원자가 가장 작은 알맹이 일까?

마치 양파를 까서 안을 들여다 보는 것처럼

원자를 까서 안을 들여다 봐야.....



An Atom as an Onion (양파 같은 원자)

Atom (원자)

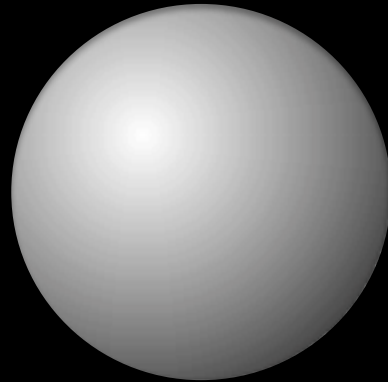
Indivisible & invisible (깨질 수 없고, 보이지도 않는)



데모크리투스 (그리스 철학자 460 BC – 370 BC)

“우주는 원자와 빈 공간으로 구성되어 있다.”

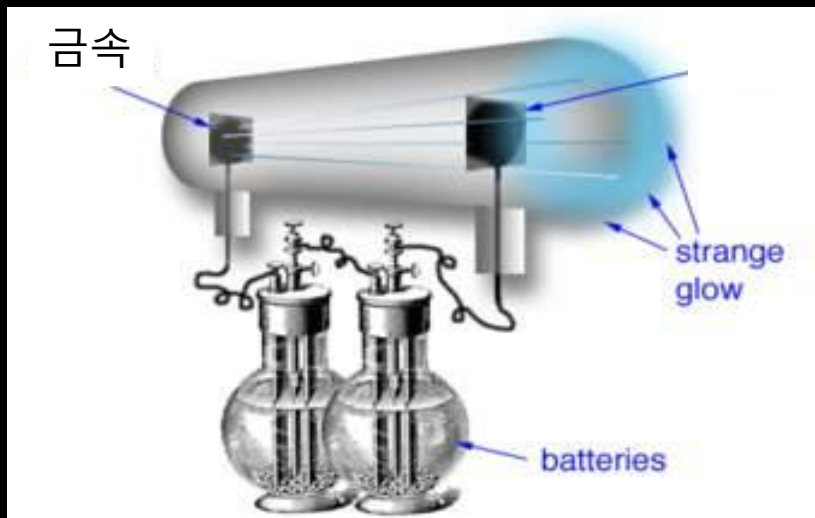
데모크리투스의 원자 (400 BC)



원자는 이 세상의 모든 것을 만드는 가장 작은 알맹이
(기본 요소, 기본 입자)

전자의 발견

1897



J.J. 톰슨 (1856 – 1940)
노벨 물리학상 (1906)

전자는 원자 내부에...

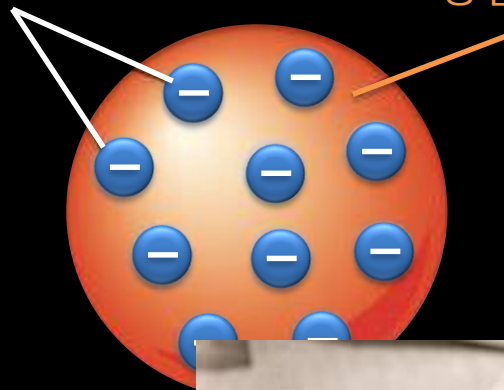
전자는 음전하를...

원자는 음전하를 띤 전자와 양전하를 띤 물질로 만들어져 있다.

1900년 대의 원자

음전하를 띤 전자

양전하를 띤 물질



톰슨의 모델

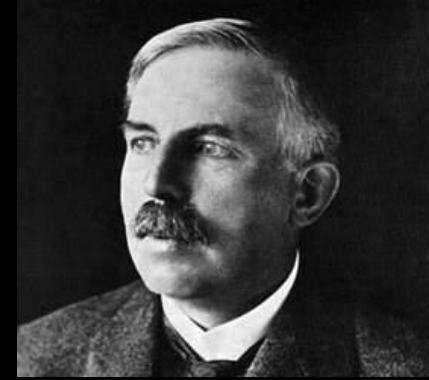


블루 베리 머핀 모델

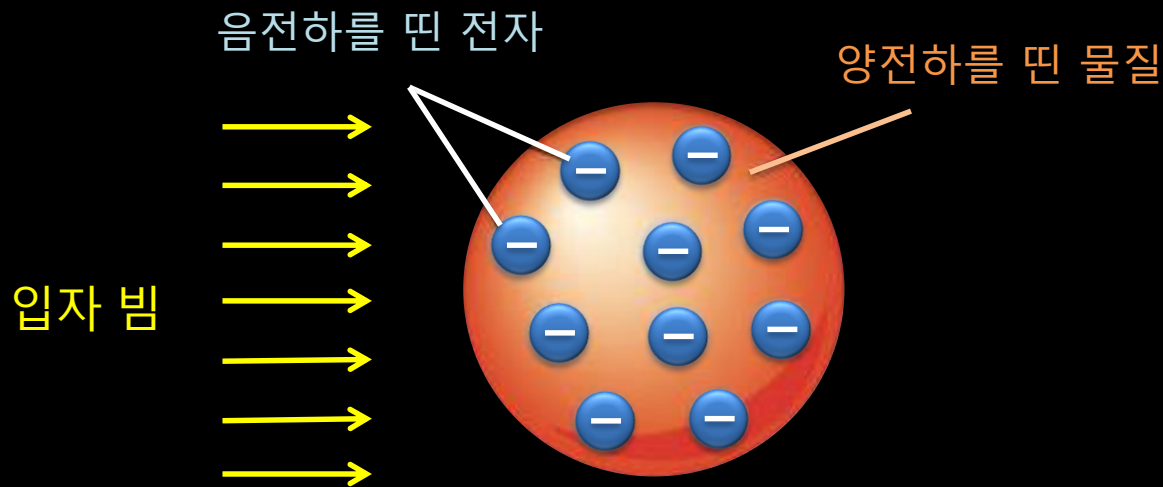


콩떡 모델

원자 까기 (원자 안속 보기)



러더퍼드
(1871 - 1937)
노벨 물리학상(1908)

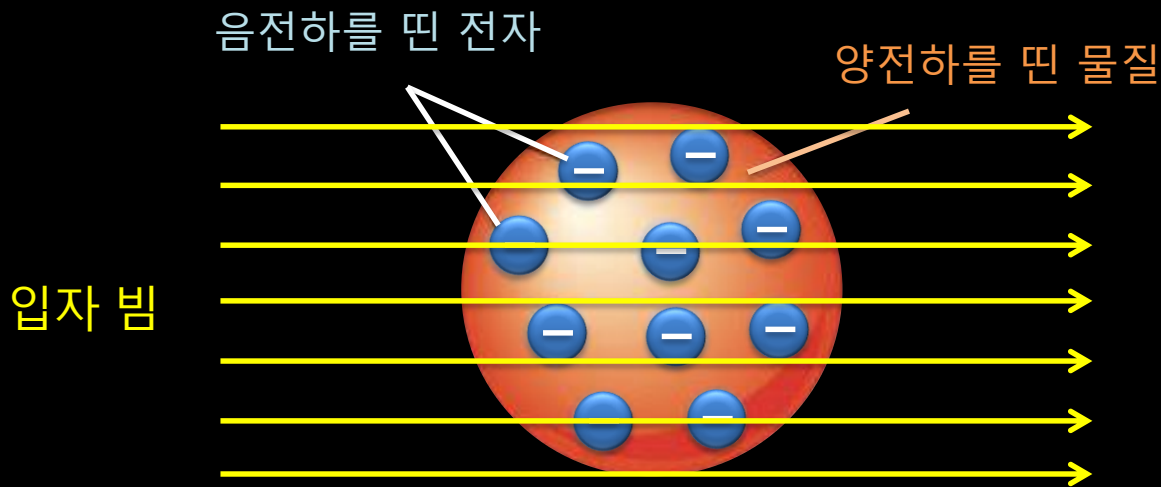


톰슨의 매실 푸딩 모델

원자 까기 (원자 안속 보기)



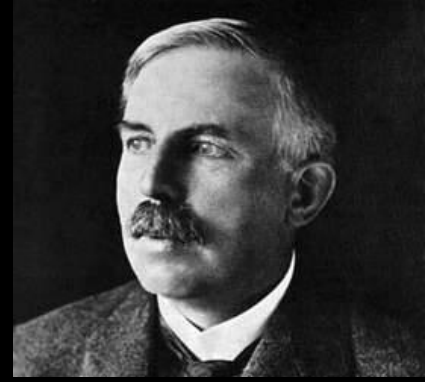
러더퍼드
(1871 - 1937)
노벨 물리학상(1908)



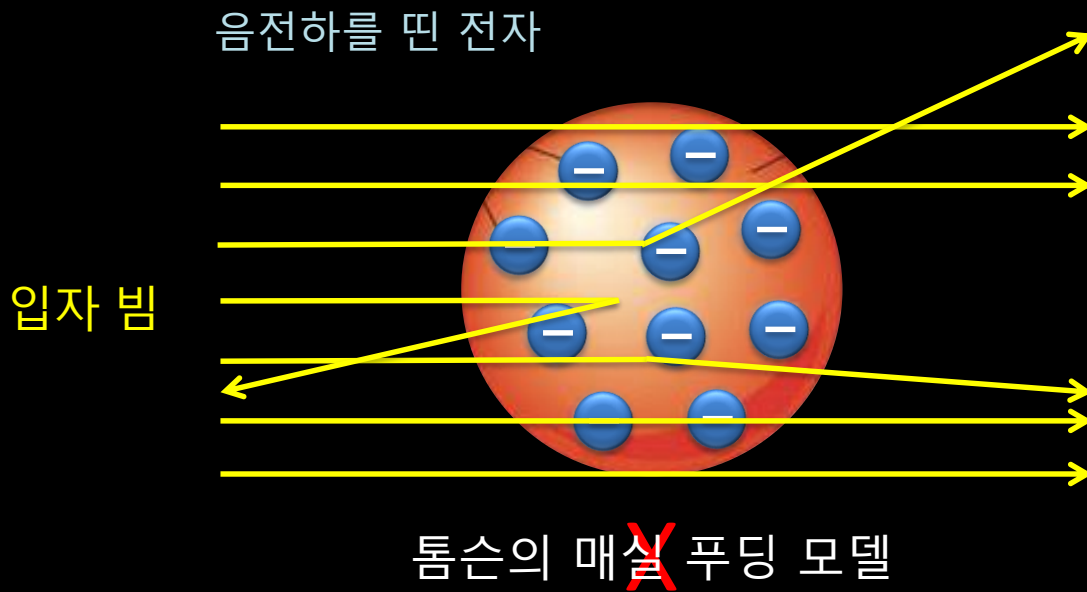
톰슨의 매실 푸딩 모델

예상

원자 까기 (원자 안속 보기)



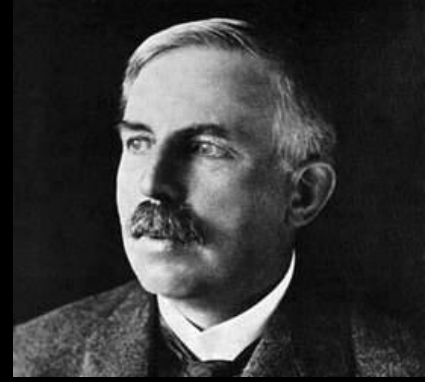
러더퍼드
(1871 - 1937)
노벨 물리학상(1908)



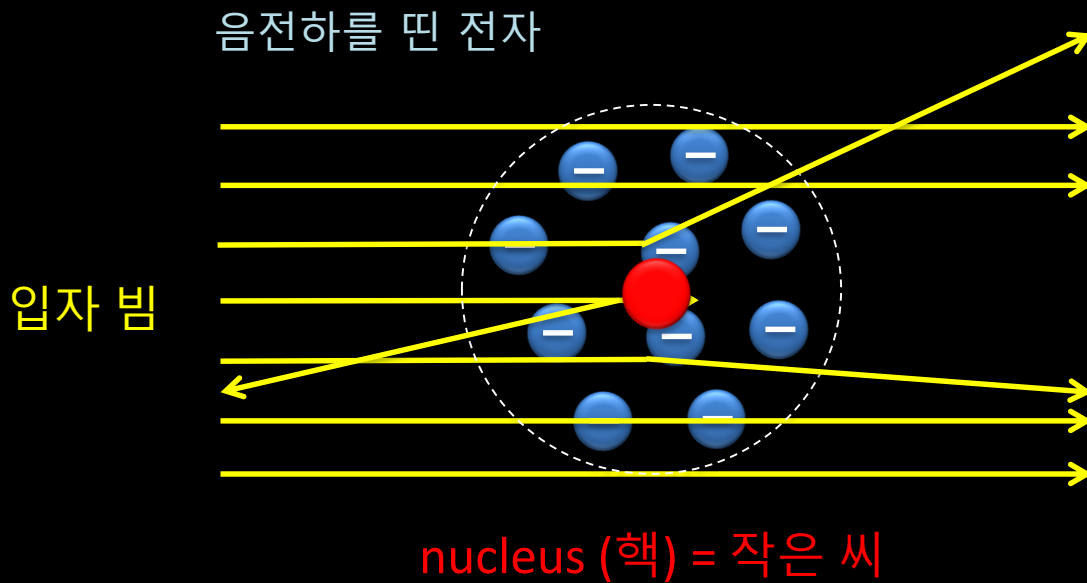
실험 결과
(1909)

“클리넥스 티슈에 발사한 총알이 다시 돌아와서 당신을 때리는 것만큼 놀라운 것입니다”

원자 까기 (원자 안속 보기)



러더퍼드
(1871 – 1937)
노벨 물리학상(1908)



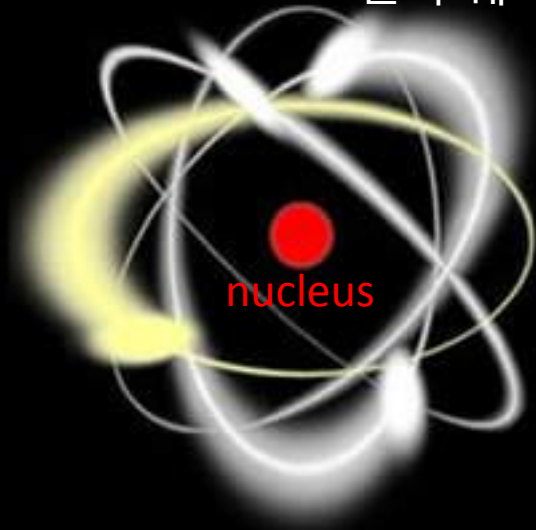
실험 결과
(1909)

nucleus (핵) = 작은 씨

“클리넥스 티슈에 발사한 총알이 다시 돌아와서 당신을 때리는 것만큼 놀라운 것입니다”

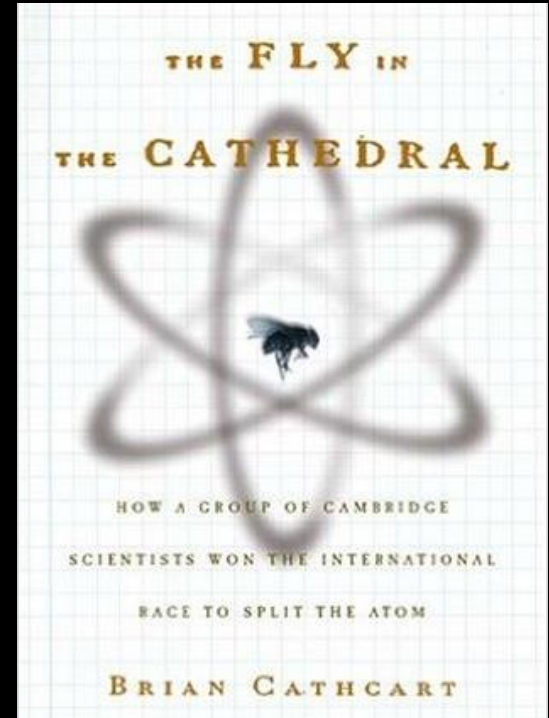
러더퍼드의 원자

전자 궤도



nucleus (핵) = 작은 씨

핵의 크기 ~ 원자의 만분의 일, 핵의 질량 ~ 원자 질량



“대성당의 파리”

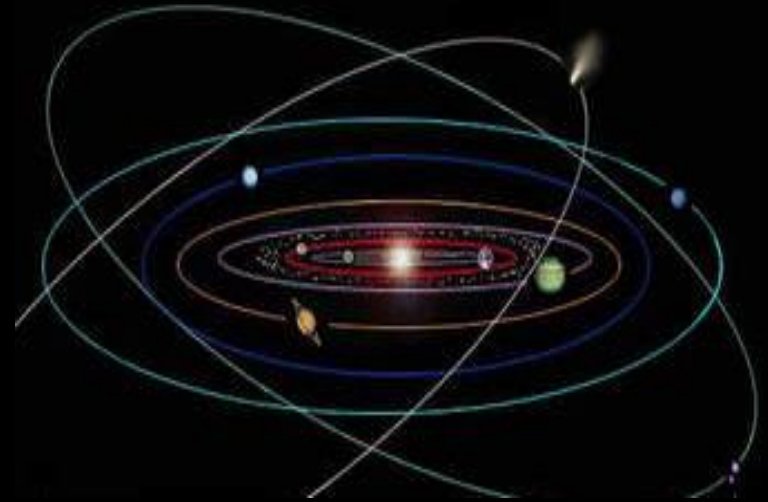
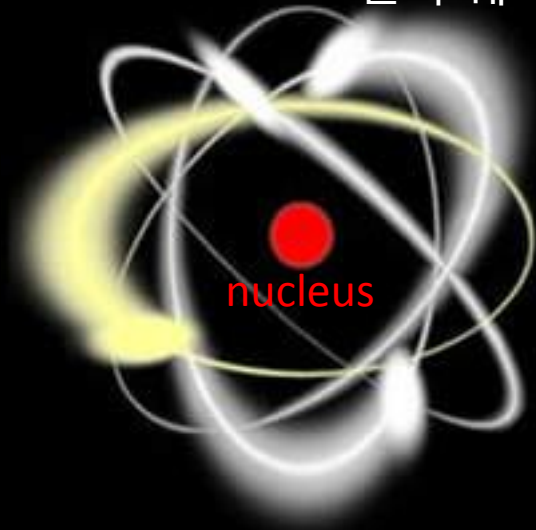
가장 작은 알맹이 (1909):

~~원자~~

핵 + 전자

러더퍼드의 원자

전자 궤도



nucleus (핵) = 작은 씨

핵의 크기 ~ 원자의 만분의 일, 핵의 질량 ~ 원자 질량

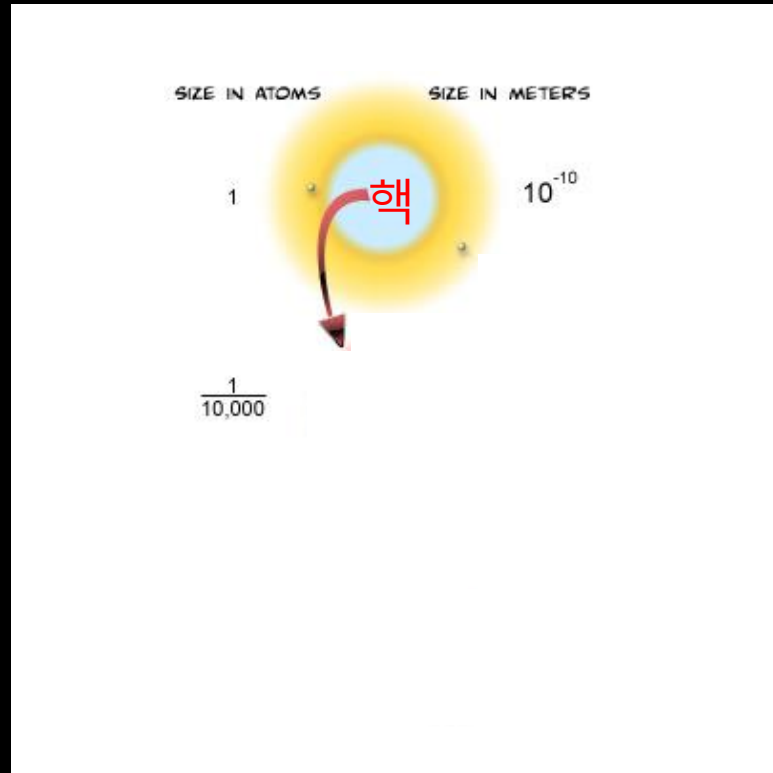
우리 태양계

내부 세계

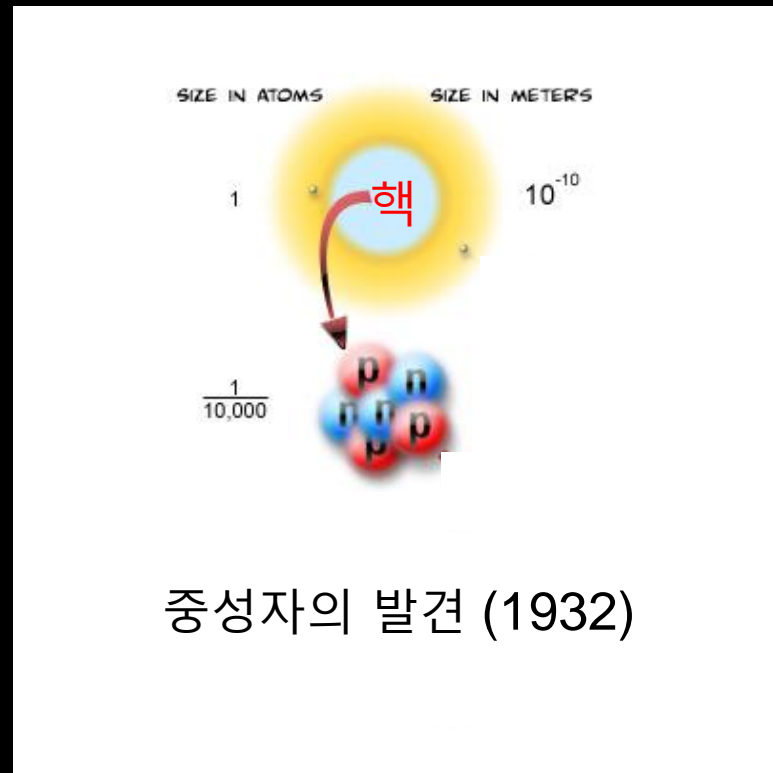


외부 세계

핵 까기 (핵 안속 보기)



핵 까기 (핵 안속 보기)



가장 작은 알맹이 (1932): ~~원자~~ ~~핵+전자~~ 양성자+중성자+전자

핵 까기 (핵 안속 보기)



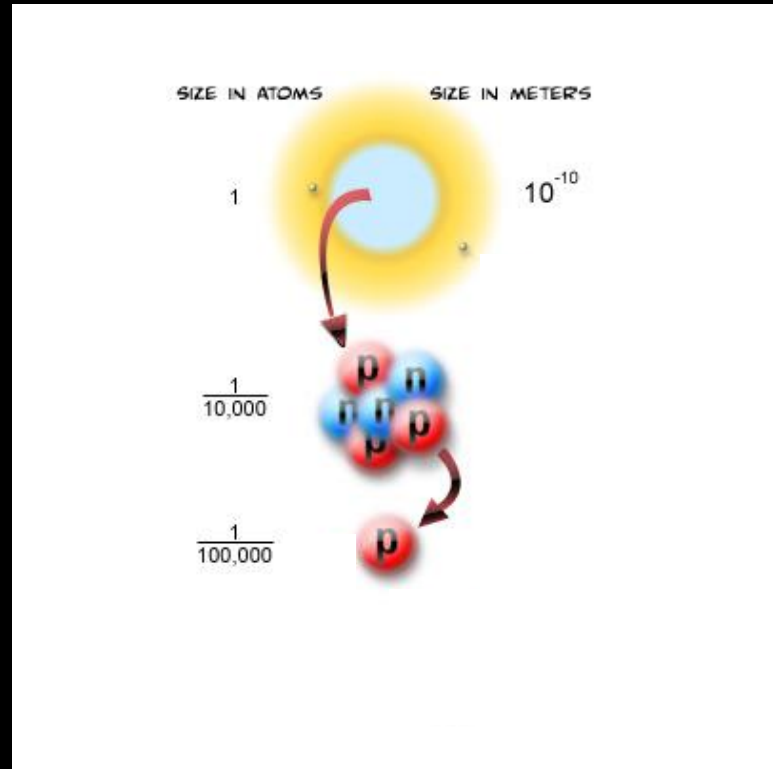
Maria Goeppert Mayer
(1906 – 1972)
노벨 물리학상(1963)
“양파 마돈나”

“핵속의 양성자와 중성자는 여러 층 궤도를 돌며,
핵은 여러 층을 가진 양파와 매우 흡사합니다”

The University of Chicago (시카고 대학교)



양성자, 중성자 까기 (양성자, 중성자 안속 보기)



태양

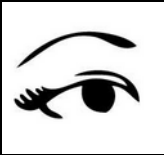


광자

광선
(광자빔)



눈



광자 검출기



광선
(광자빔)

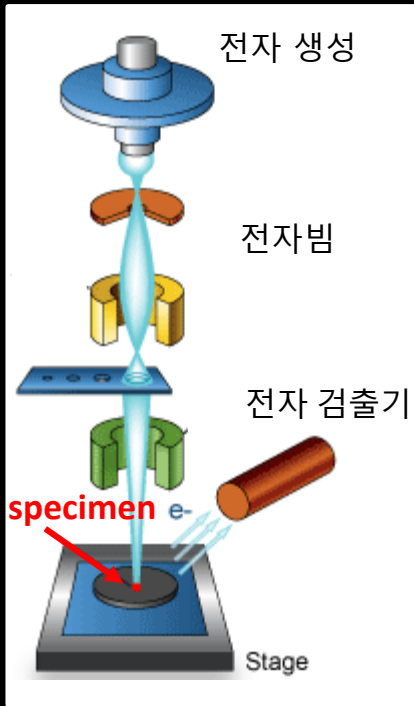


광선
(광자빔)



광자 검출기

전자 현미경



전자 생성

전자빔

전자 생성

전자빔

전자 검출기

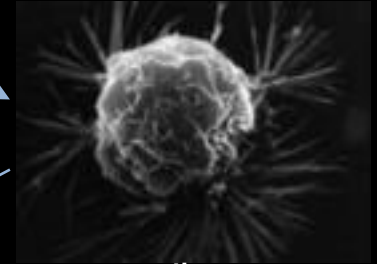
specimen

e-

Stage

전자빔

전자 검출기



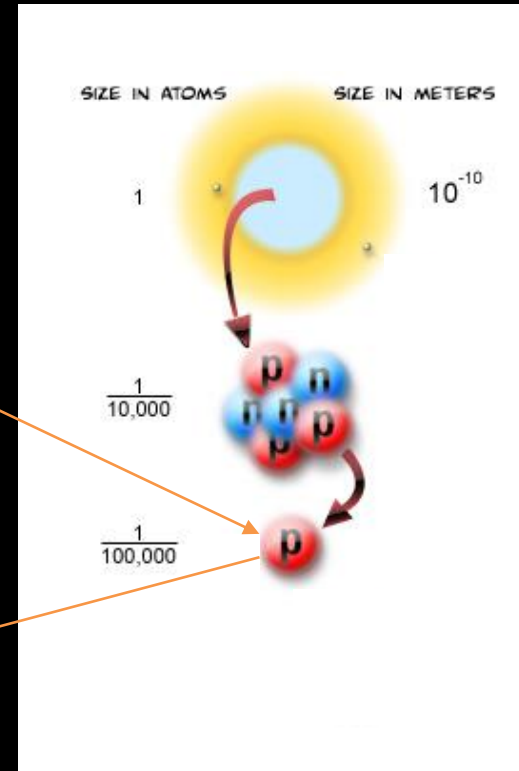
세포

수퍼 현미경

입자 생성

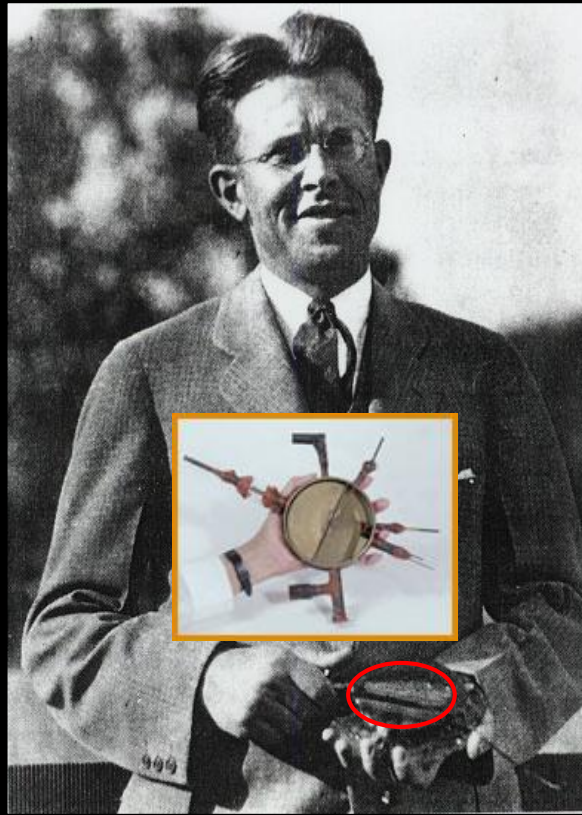
고 에너지
입자 빔

입자 검출기



가속기는 수퍼 현미경과 같다

1930년: 가속기 발명



로렌스 (1901-1958)

오늘날의 입자 물리 연구소

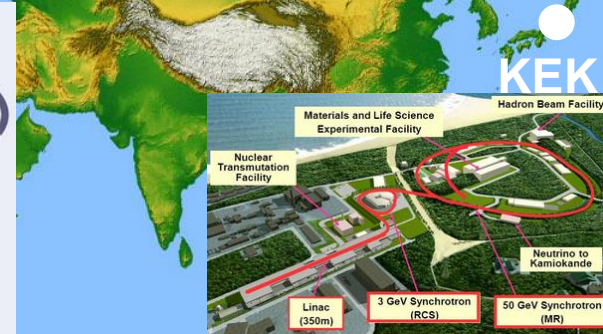
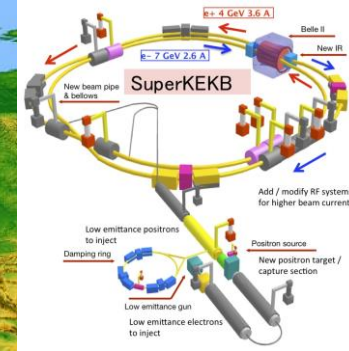
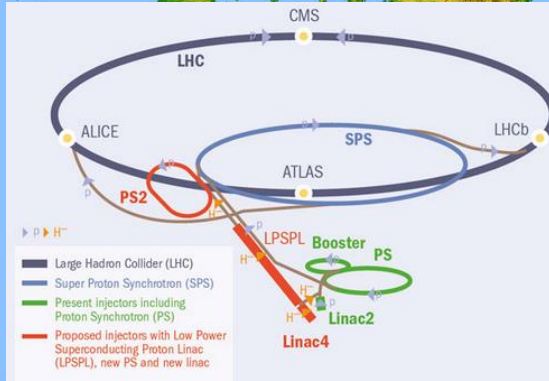


Fermilab

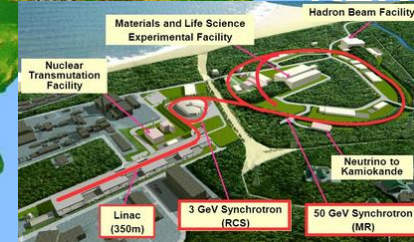
국립 페르미 가속기 연구소



CERN



KEK





부모님 혼례
(1950)

● 고향 (시골)



JILIN

RUSSIAN FEDERATION

LIAONING

HANGANNUK DO

YANGGANG DO

CHAGANG DO

HONGYONGNAM DO

Liaodong Banda

PHONG ANHUK DO

Sohan-man

PYONG ANNAM DO

YONGYANG

HWANGHAEUK DO

HWANGHAE NAM DO

KANGWON DO

KOREA

EAST SEA

YELLOW SEA

● 고향 (시골)

HONSHU

YOKOHAMA

JAPAN

KOREA STRAIT

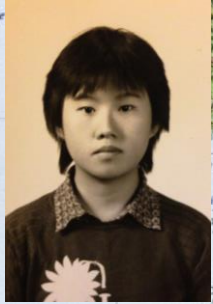




고등학교 (대구)

고향 (시골)



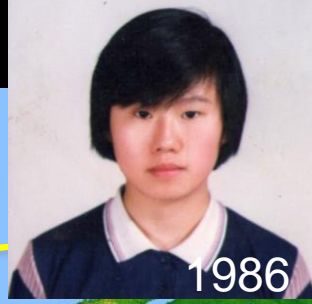


대학 (서울)

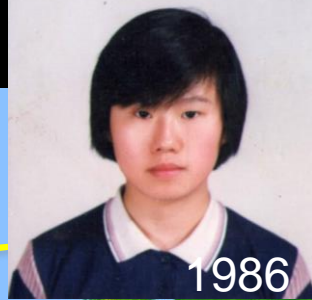
고등학교 (대구)

고향 (시골)





**X U. of Rochester
(1986-1990)**



**X U. of Rochester
(1986-1990)**

**★ ● KEK
(1987-1990)**



U. of California
Berkeley ✕
(1990-2002)

●
Fermilab
(1990-2013)

✕ U. of Rochester
(1986-1990)

★ ●
KEK
(1987-1990)





U. of California
Berkeley X
(1990-2002)

U. of Chicago
(2003-present)

Fermilab
(1990-2013)

X U. of Rochester
(1986-1990)

★ KEK
(1987-1990)





TRISTAN e^+e^- (Japan)

둘레 = 3 km

Tevatron $p\bar{p}$ (U.S.)

둘레 = 6 km



LHC $p\bar{p}$ (Switzerland)

둘레 = 27 km



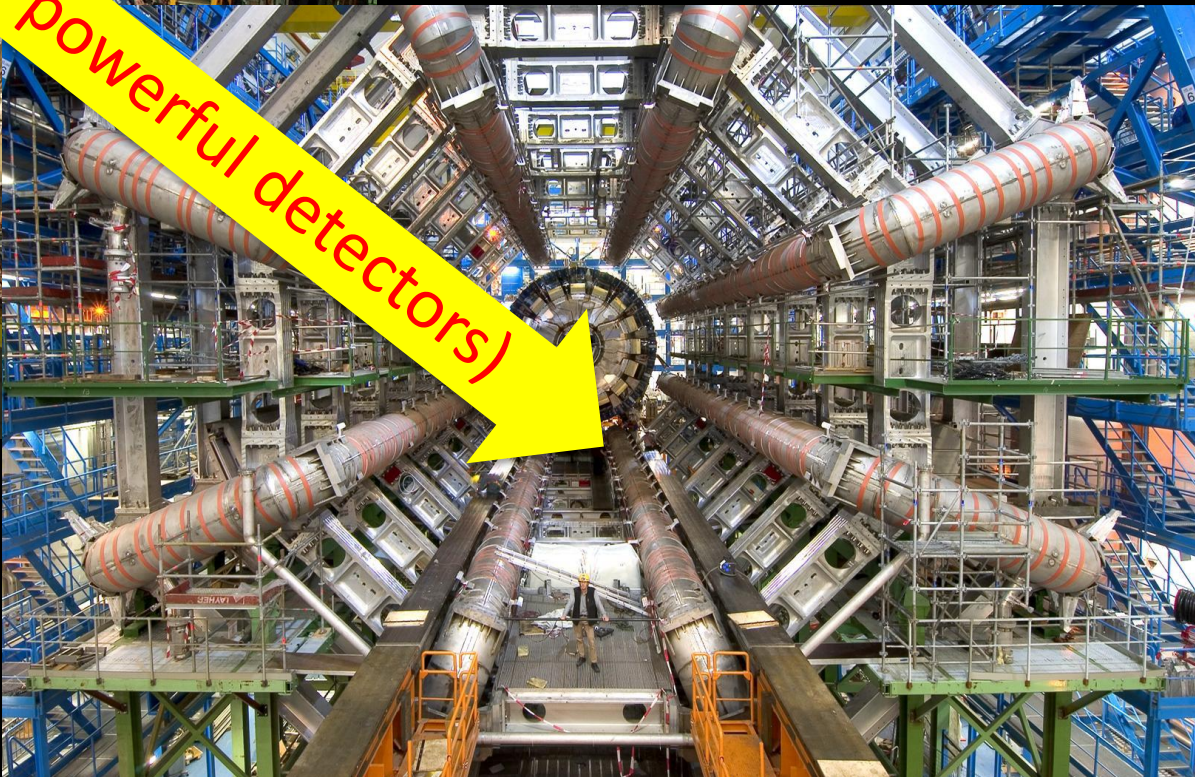
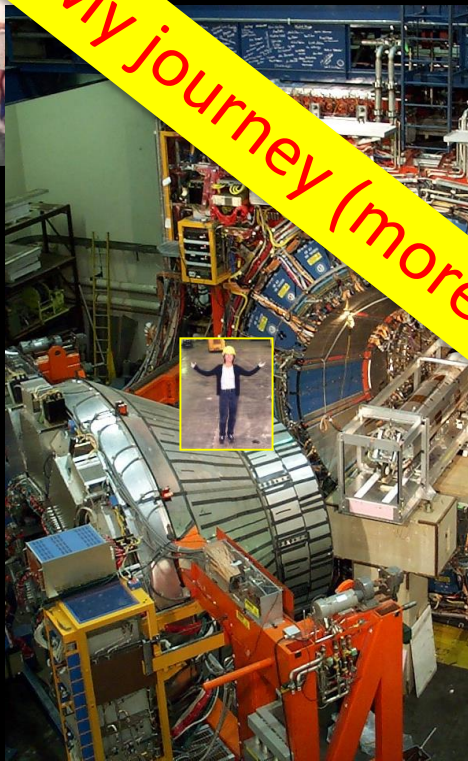
My journey (higher energy accelerators)

AMY 실험:
60 physicists
from 4 countries

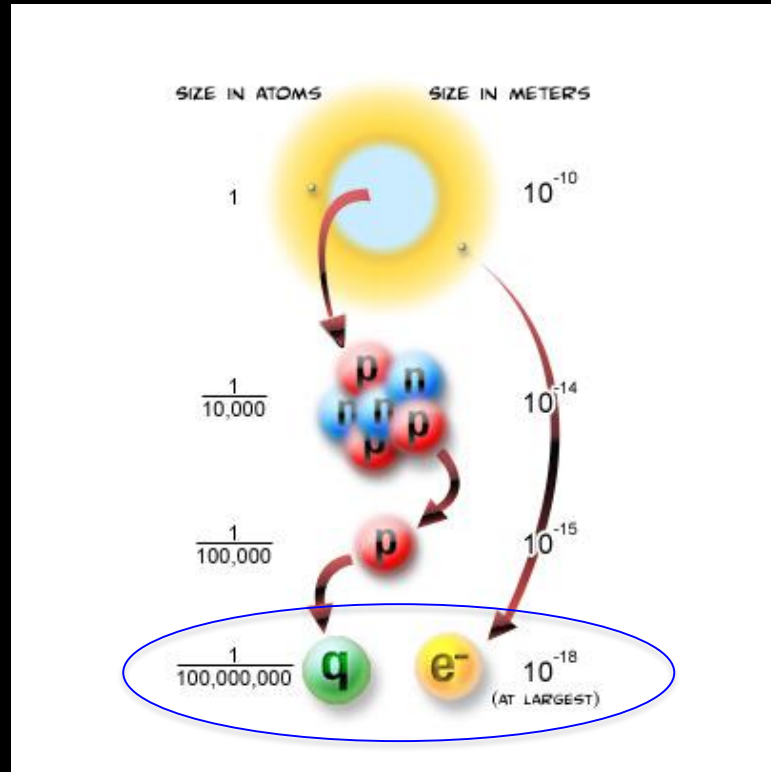
CDF 실험:
300 → 700 physicists
from 20 countries

ATLAS 실험:
~3,000 physicists
from 40 countries

My journey (more powerful detectors)



오늘날의 가장 작은 알맹이



위(up) 쿼크 + 아래(down) 쿼크 + 전자

세상 만물의 가장 작은 알맹이

원자

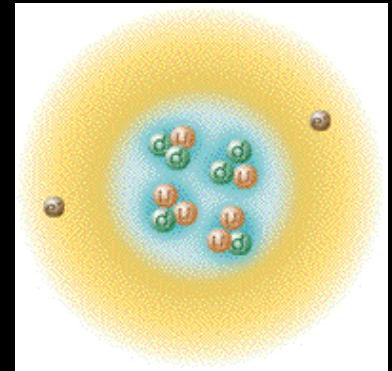
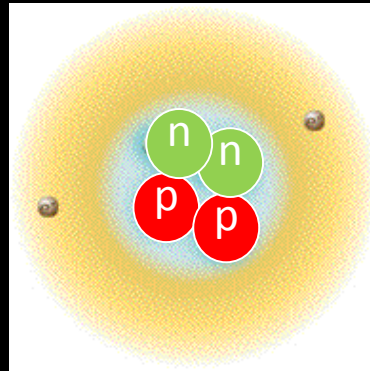
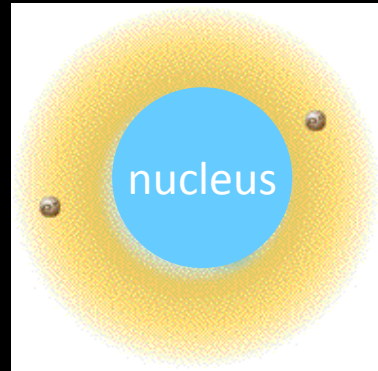
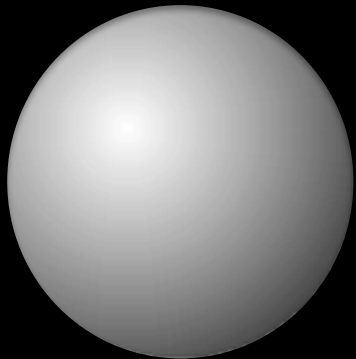
핵
전자

양성자+중성자
전자

위(up)+아래(down) 쿼크
전자

전자기력

약력 + 강력



~400 BC

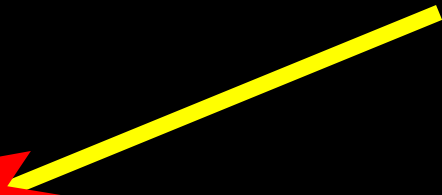
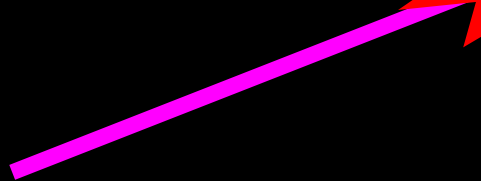
~ 1910

~1930

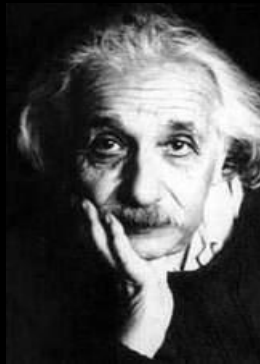
오늘날

Big Surprise

입자 빔

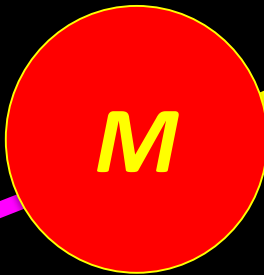


반입자 빔

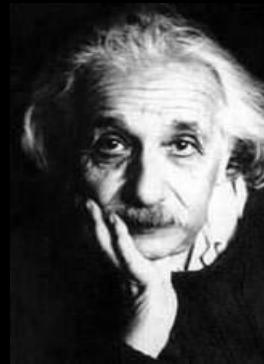


$$E = Mc^2$$

입자 빔



반입자 빔



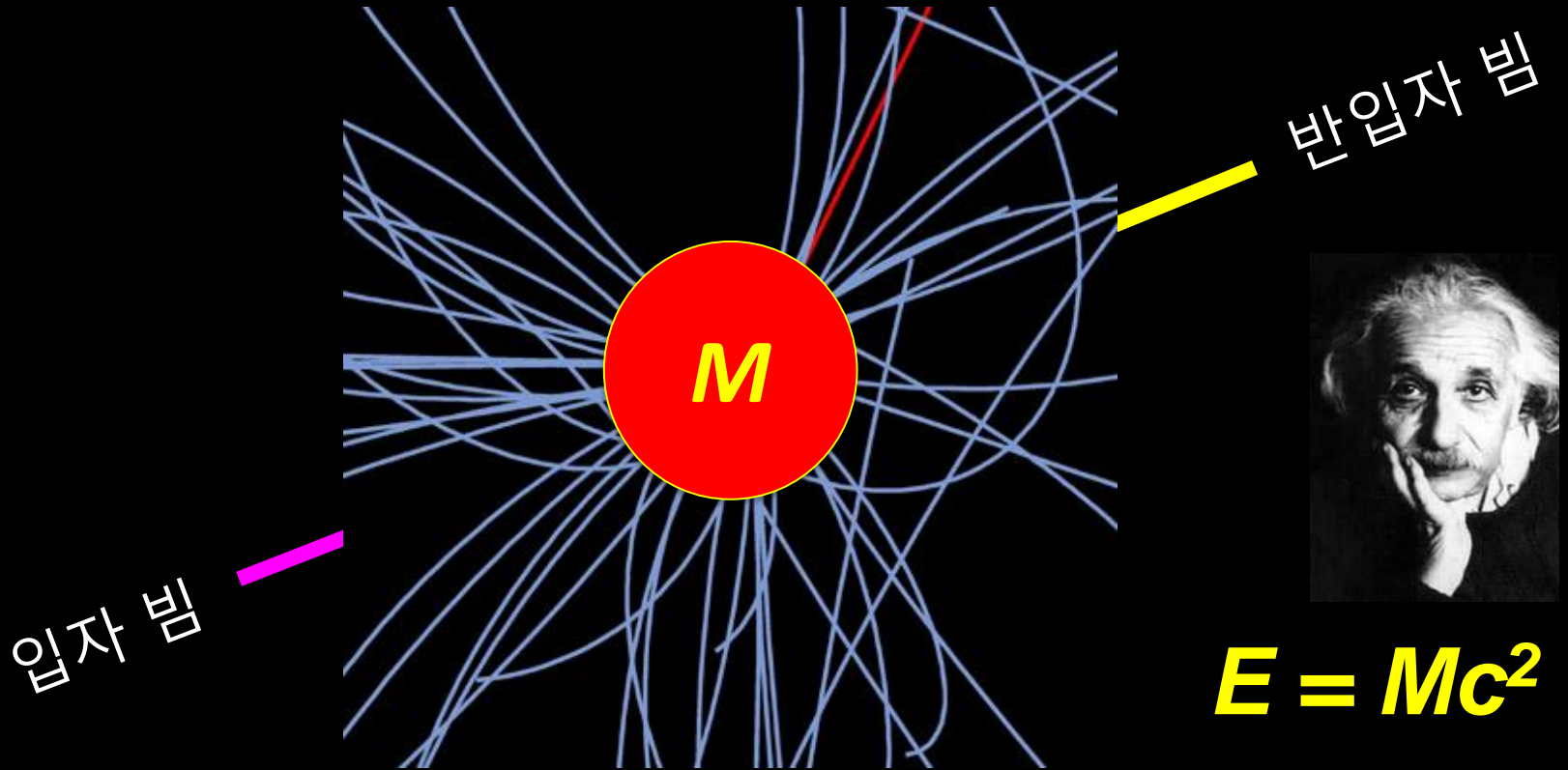
$$E = Mc^2$$

우주의 역사

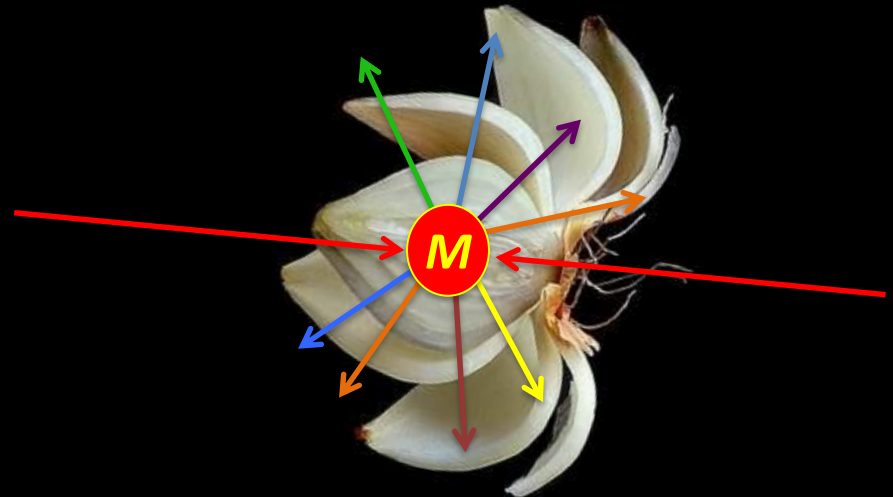
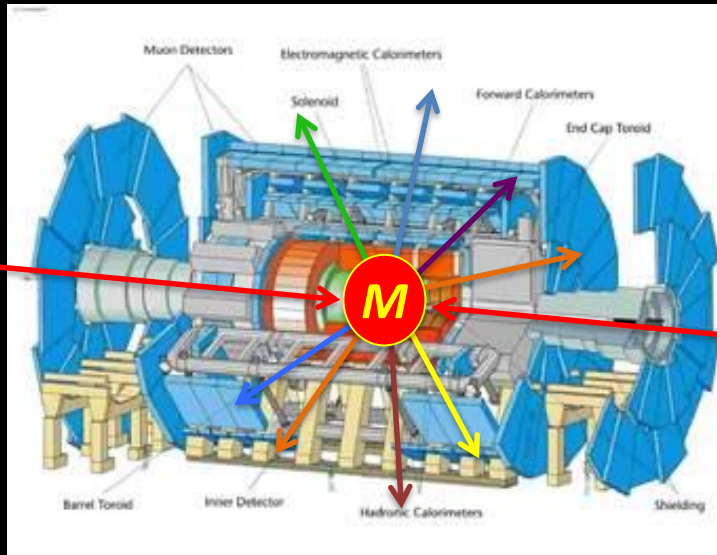
우주의 가장 초기 순간에 존재했던 입자들 (가장 작은 알맹이들)



우주의 가장 초기 순간에 존재했던 입자들 (가장 작은 알맹이들)



검출기 또한 양파와 비슷한 모양



가속기: 가장 작은 알맹이들의 발견

● 수소 원자 질량

Top quark
(탑 쿼크)

Spin (회전) $\frac{1}{2}$

Higgs boson
(힉스)

Spin (회전) 0

Z

W: Spin (회전) 1

gluons

b

c

τ

$\bar{\nu}_\tau$

c

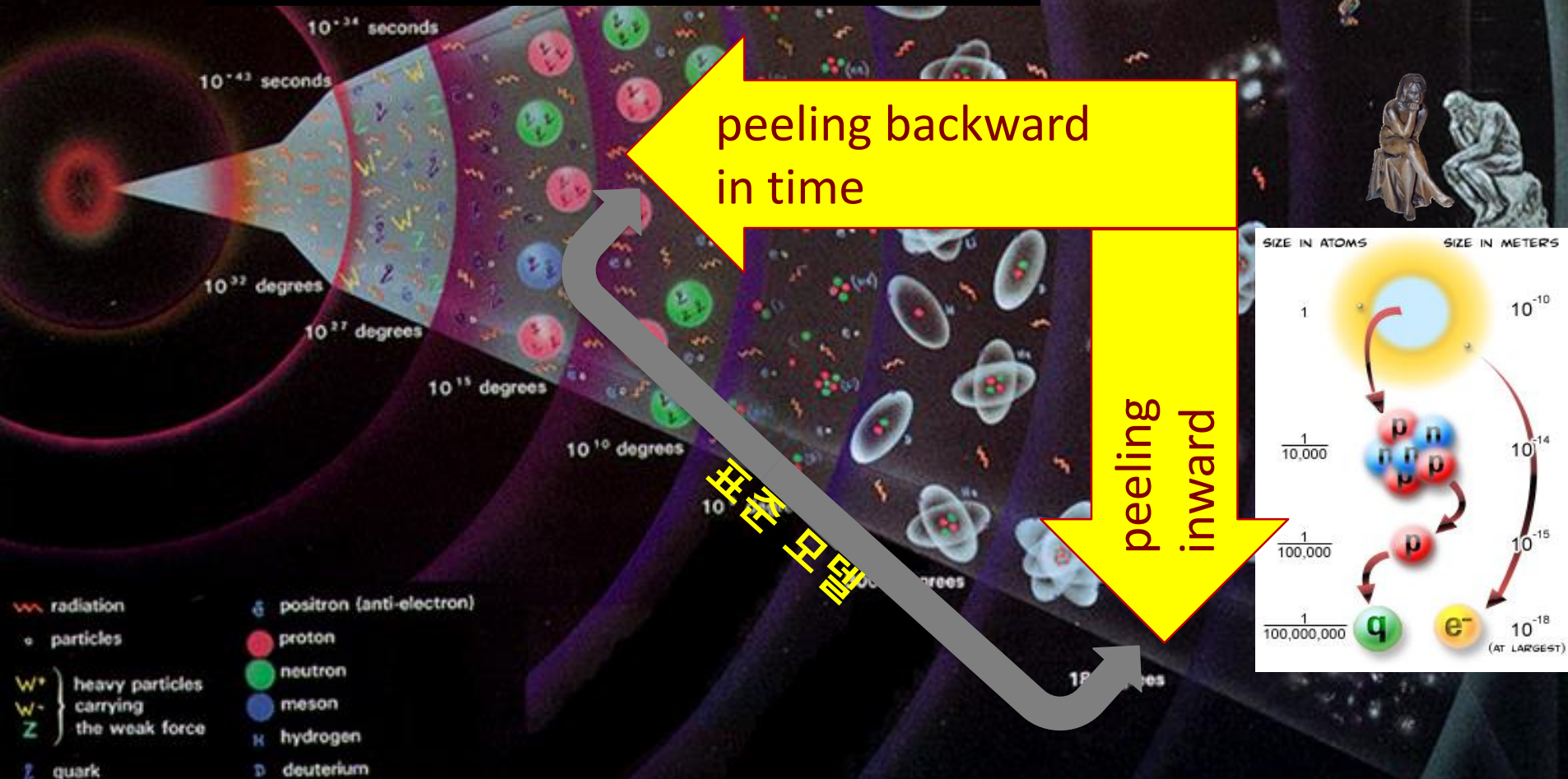
ν_μ

이 알맹이들은 자연의 법칙을 아는 데 도움을 주는 메신저

우주의 역사

입자 물리학은

- 가장 작은 것과 가장 큰 것이 만나는 연구
- 기본 요소와 초기 우주가 만나는 연구
- 내부 세상과 외부 세상이 만나는 연구



19 세기의 성취

주기율표

20 세기의 성취

기본 입자 표

표준 모델

Quarks



Forces



Leptons



표준 모델의 완성 !!

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA												
1 H 1.0079	2 He 4.0026									5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.179												
3 Li 6.941	4 Be 9.0122									13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948												
11 Na 22.990	12 Mg 24.305									29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.63	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80										
19 K 39.098	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.88	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.6	53 I 126.905	54 Xe 131.30
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04												
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)												

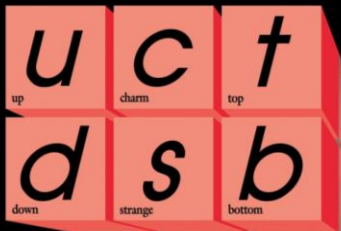
Legend:
 Alkali Metals (red), Alkaline Earth Metals (orange), Transition Metals (yellow), Other Metals (light green), Nonmetals (green), Noble Gases (blue), Inner Transition Metals (purple).
 Gaseous State (red), Liquid State (orange), Solid State (yellow), Synthetically Prepared (purple).

*Name Not Officially Assigned

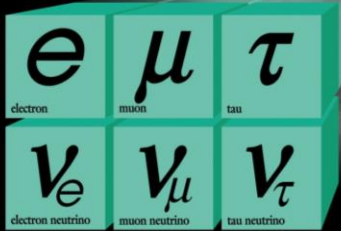
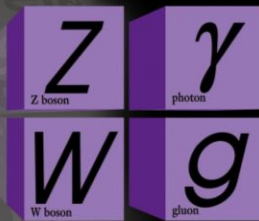
이제 양파 까기와도 같은 입자 물리 탐구는 끝?

..... and the mysteries

Quarks



Forces



Leptons

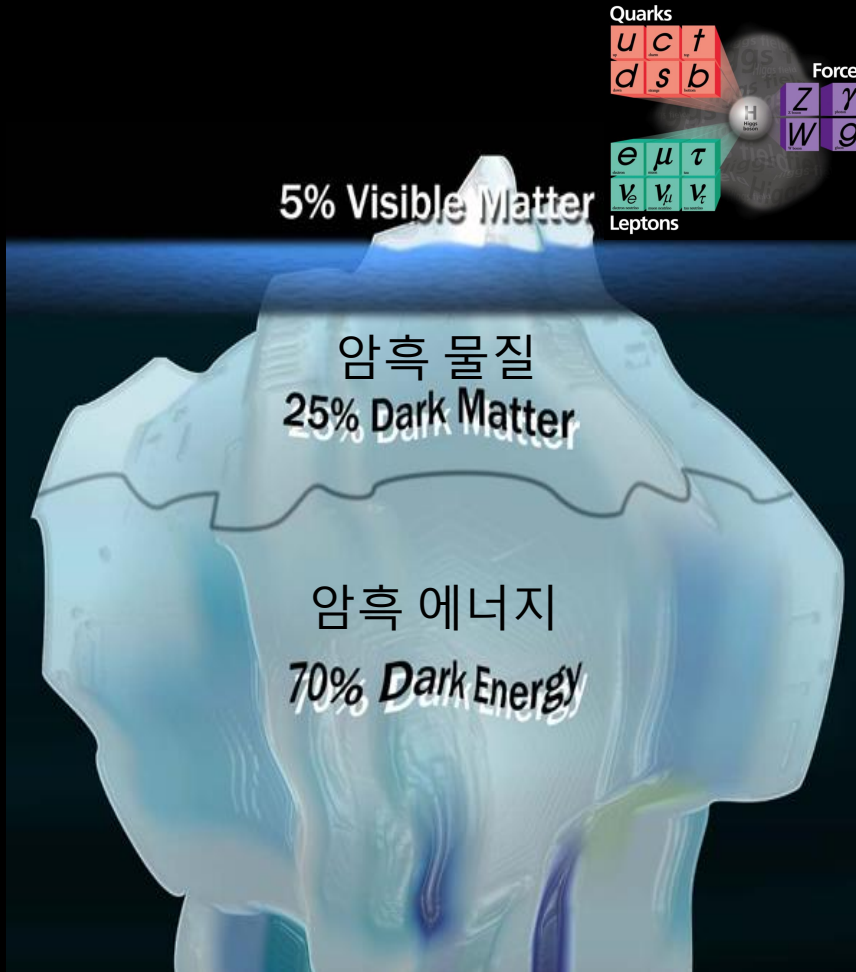
WHY ?

- mass (질량)
- 6 quarks (쿼크)
- 3 generations (세대)
- forces (힘)
- anti-matter (반 입자)
- neutrinos (중성 미자)

WHAT ?

- dark matter (암흑 물질)
- dark energy (암흑 에너지)

..... and the mysteries



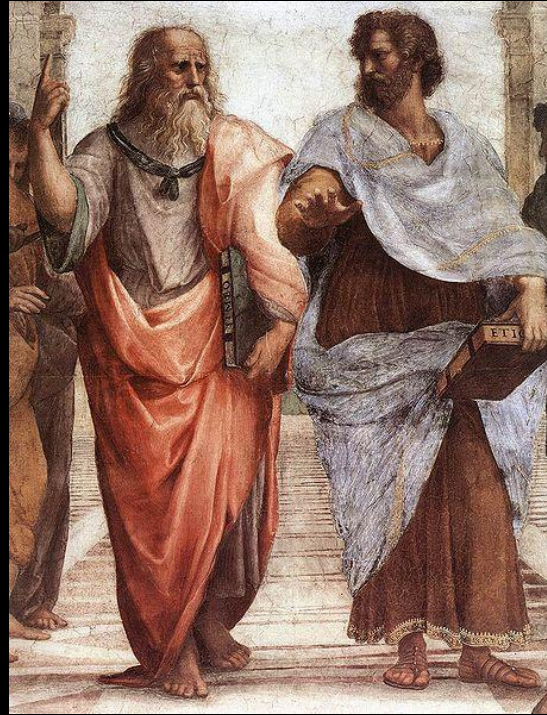
보이는 우주

Tip of the iceberg
빙산의 일각

보이지 않는 우주
(암흑 우주)

“The more you know, the more you know you don't know.”

우리가 많이 알면 알수록, 모르는 것이 더 많다는 것을 알 수 있습니다.



아리스토텔레스 (그리스 철학자이자 과학자, 384 BC – 322 BC)

까는 작업은 계속 될 것입니다.
더 아름답고 완전한 이론을 찾기 위해....

우주의 역사



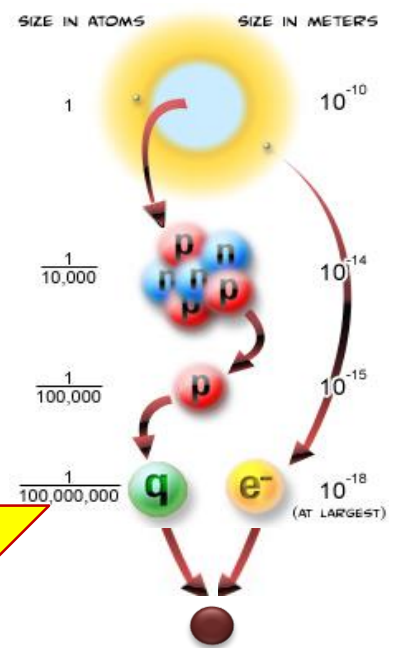
더 아름답고 완전한 이론을 찾기 위해...



peeling backward in time

Elegant Theory

peeling inward



세상 만물의 가장 근본적인 기본 요소를 탐구하는 입자 물리학은
마치 양파를 까는 일과도 같다.

원자가 가장 작은 입자인 줄 알았으나 곧 그 속에 원자핵과 전자가 있음을 알게 되었고,
원자핵 역시 더 작은 양성자와 중성자로 이뤄져 있음을 알게 되었고,
양성자와 중성자는 훨씬 더 작은 쿼크로 이뤄져 있음을 알게 되었다.



양파 까기는 끝이 있는데

이 양파 까기와의 같은 입자 물리 탐구는 언제쯤 끝이 날까?

끝이 있기는 할까?

History of the Universe

