

박문호의 자연과학 세상

137억년 우주의 진화

3회 2강

#4. 전자기파 스펙트럼

#5. 수소 원자

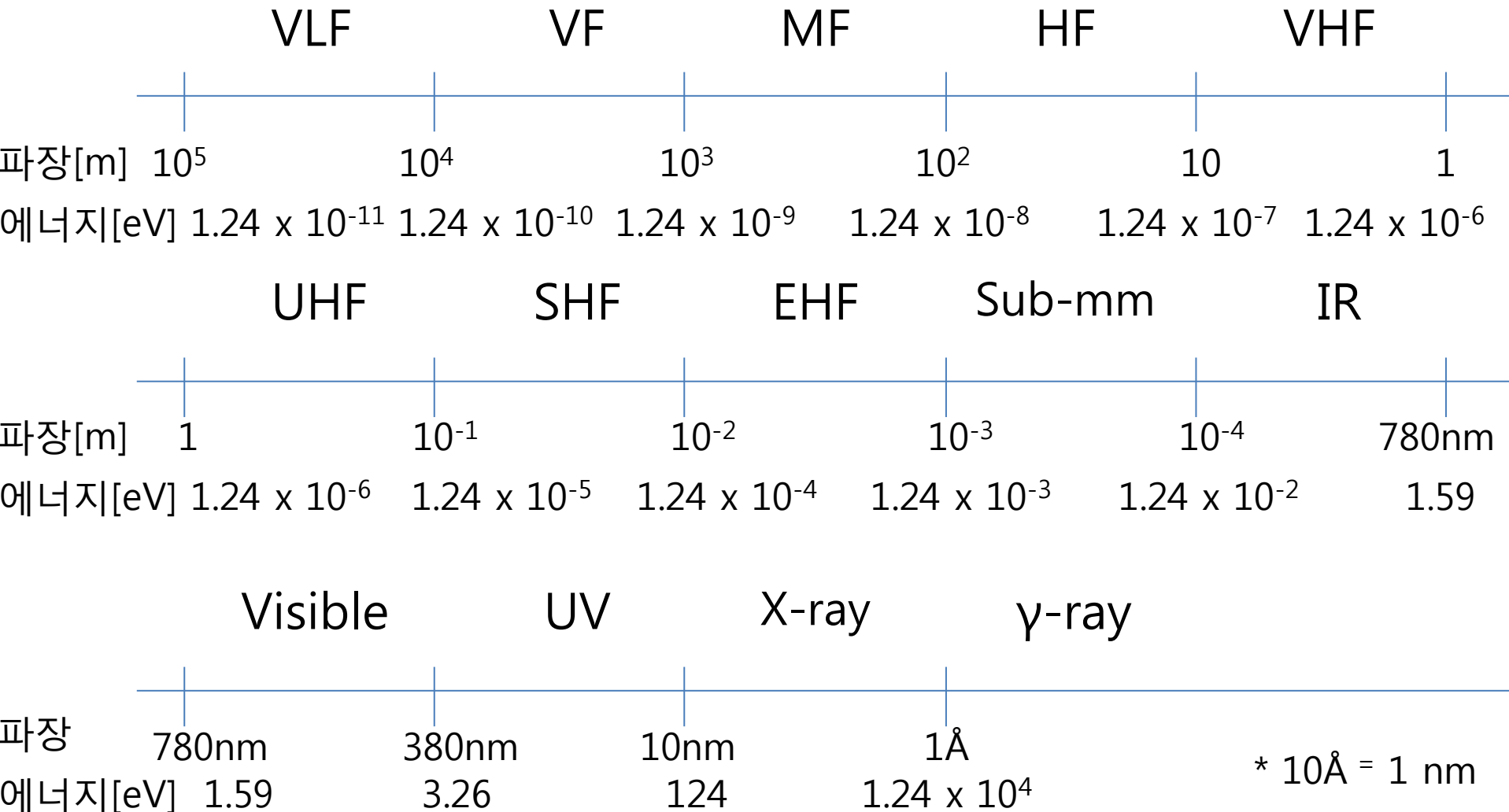
※ 박문호 박사님의 강연을
나름대로 정리한 것이므로
전달의도가 왜곡될 수 있으며
이 강연의 저작권은
강연자에게 있으니
재배포를 삼가 바랍니다.

강연일 : 2011. 3. 20. (일)

배포일 : 2011. 8. 2. (화)

작성자 : 푸른버들(김양겸)

#4. 전자기파 스펙트럼



#4. 전자기파 스펙트럼

VLF = Very Low Frequency

LF = Low Frequency

MF = Medium Frequency

HF = High Frequency

VHF = Very High Frequency

UHF = Ultra High Frequency

SHF = Super High Frequency

EHF = Extremely High Frequency

Sub-mm = Sub-millimeter wave

IR = 적외선(Infra-red)

Visible = 가시광선

UV = 자외선(Ultraviolet)

X-ray

Gamma-ray

#4. 전자기파 스펙트럼

$$E(eV) = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)}$$

$$\text{Si} = 0.6 \text{ eV}$$

$$\text{GaAs} = 1.35 \text{ eV}$$

$$\text{InP} = 0.95 \text{ eV}$$

$$\rightarrow \lambda = 1.3 \mu m \text{ (광통신)}$$

$$\text{CO}_2 = 4.2 \text{ eV}$$

$$E = h\nu$$

h 는 플랑크 상수, $6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

ν 는 주파수(frequency)

$$c = \nu\lambda$$

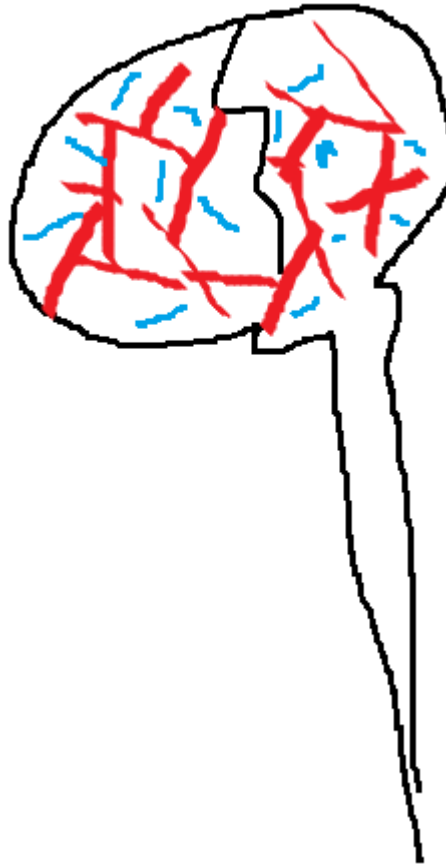
c 는 광속, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

λ 는 파장(wavelength)

길

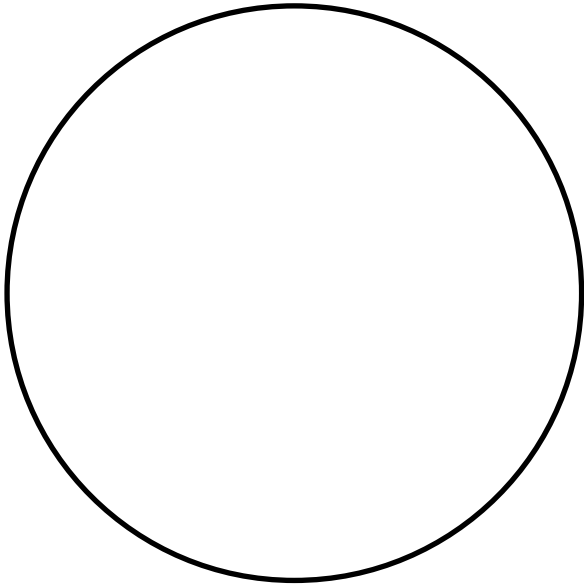
길을 내자!

암기를 한 뒤에
의미는 찾아온다



— 고속도로
— 오솔길

#5. 수소 원자



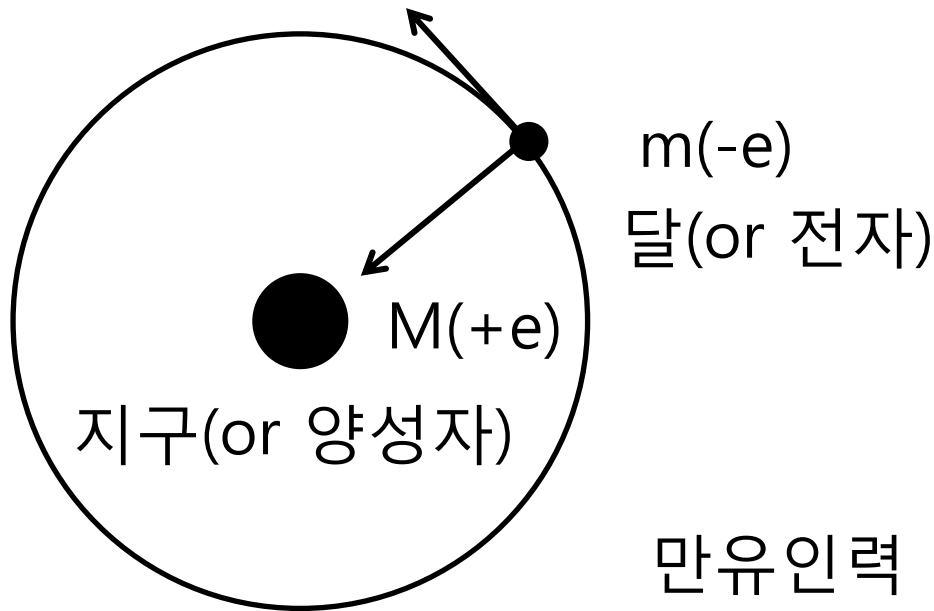
플라톤의 Idea

극단적인 경우

(극대 or 극소)

개념의 진수 파악

#5. 수소 원자



원운동, 매 순간 방향 변경
관성의 법칙, 직선 운동하는
물체는 힘이 작용하지 않는
한 운동을 계속함

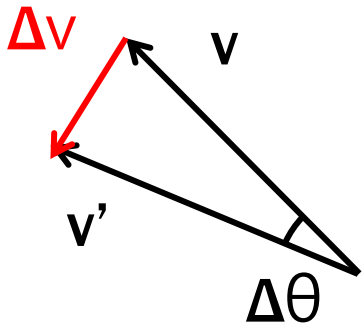
만유인력

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

쿨롱 법칙
(Coulomb's law)

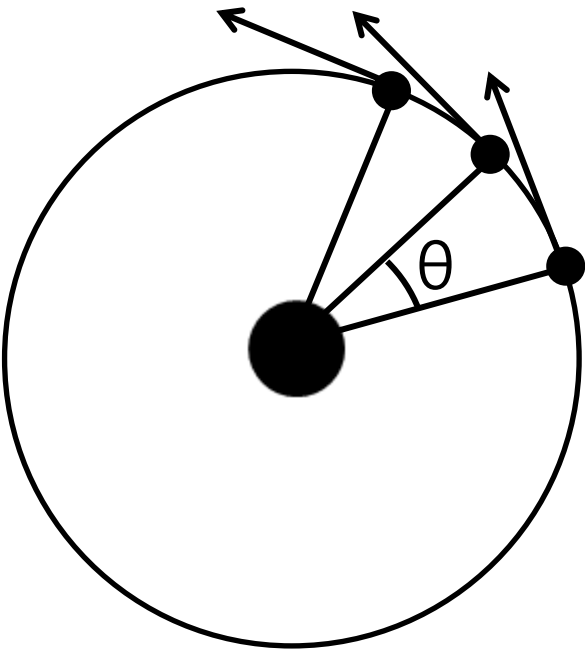
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{e^2}{r^2}$$

#5. 수소 원자



$$\Delta v = v(\Delta\theta) = v(\Delta\omega t) = v\omega\Delta t$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = v\omega = v(2\pi f) = v\frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi v}{\left(\frac{2\pi r}{v}\right)} = \frac{v^2}{r}$$



원운동 하는 물체에 작용하는 힘

$$F = ma = m\frac{v^2}{r}$$

#5. 수소 원자

원운동 하는 물체에
작용하는 힘

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

쿨롱 법칙
(Coulomb's law)

$$F = k \frac{e^2}{r^2}$$

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \Rightarrow mv^2 r = ke^2$$

#5. 수소 원자

각운동량 $\vec{L} = \vec{P} \times \vec{r} = Pr \sin \theta = Pr = mvr$

닐스 보어(Niels Bohr)의 가정
: 각운동량은 양자화 되어있다.

$$L^2 = l(l+1)\hbar^2 \quad l = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$L = n\hbar \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

묻지도 따지지도 말자.

대가들은 하다가 도저히 안되어서 가정을 도입한다.

#5. 수소 원자

각운동량 $L = mvr$

양자화된 각운동량 $L = n\hbar$

$$mvr = n\hbar$$

$$v = \frac{n\hbar}{mr}$$

$$mv^2r = ke^2 \Rightarrow r = \frac{ke^2}{mv^2}$$

#5. 수소 원자

$$v = \frac{n\hbar}{mr}$$

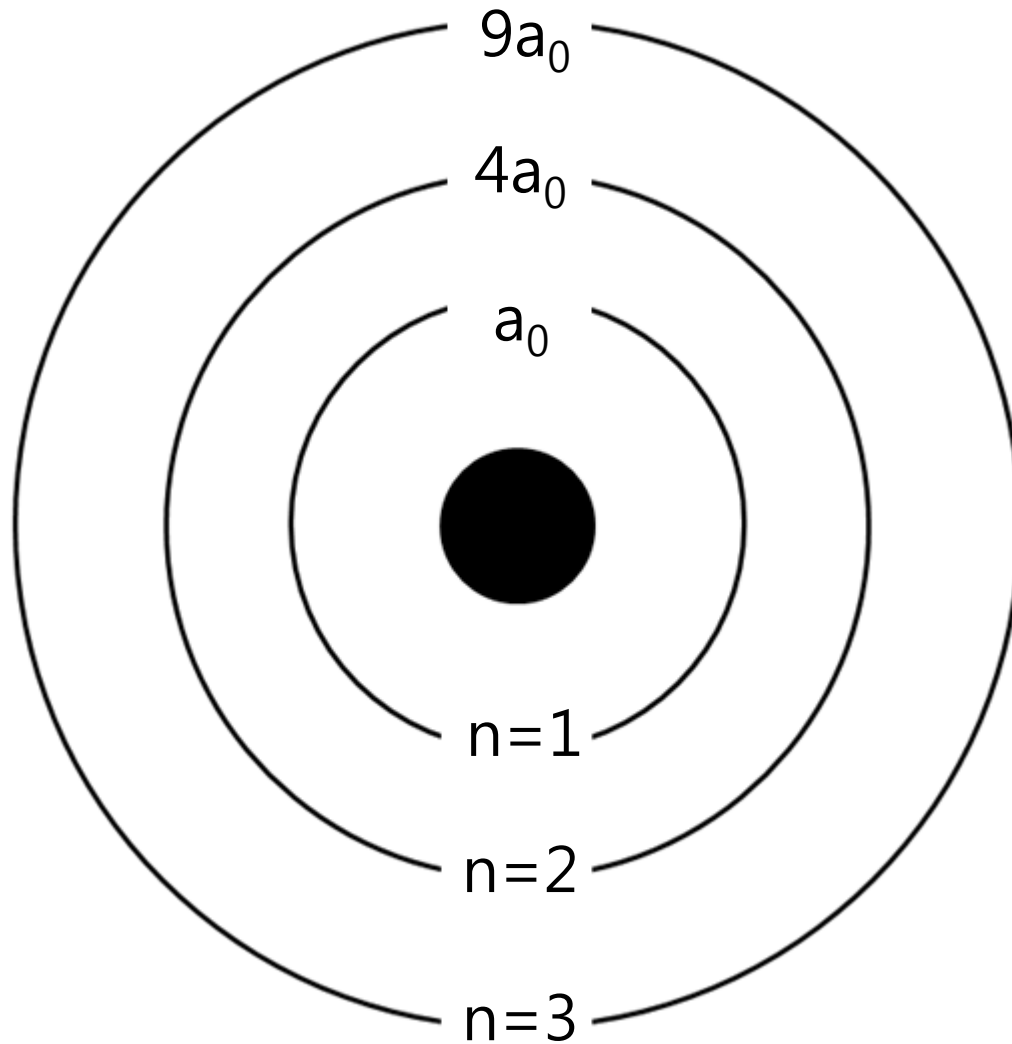
$$r = \frac{ke^2}{mv^2} = \frac{ke^2}{m\left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2} = \frac{ke^2mr^2}{n^2\hbar^2}$$

$$r = \frac{\hbar}{ke^2m}n^2 = a_0n^2$$

수소의 반지름(보어 반경) $a_0 = 0.53\text{\AA}$

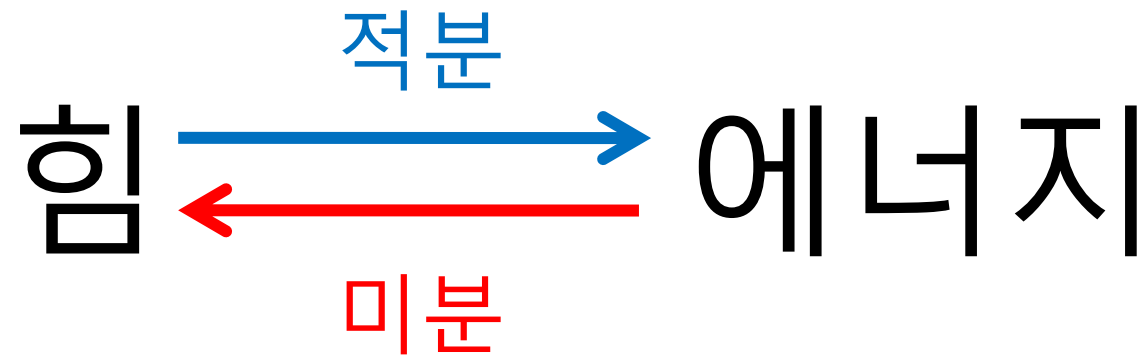
수소원자의 크기는 대략 1\AA

#5. 수소 원자



#5. 수소 원자

힘은 벡터(vector, 방향과 크기)
에너지는 스칼라(scalar, 크기)



힘 기반 학문 : 역학, 양자역학, 열역학
에너지 기반 학문 : 전자기학 → 장 이론

에너지 기반 학문으로부터
힘 기반 학문을 유도할 수 있음

#5. 수소 원자

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = \frac{dP}{dt}$$

힘을 거리에 대해서 적분 = 운동에너지

$$\begin{aligned} K &= \int F dx = \int \frac{dP}{dt} dx = \int \frac{dx}{dt} dP \\ &= \int v d(mv) = m \int v dv = \frac{1}{2} m v^2 \end{aligned}$$

#5. 수소 원자

전체 에너지 = 운동 에너지 + 포텐셜 에너지

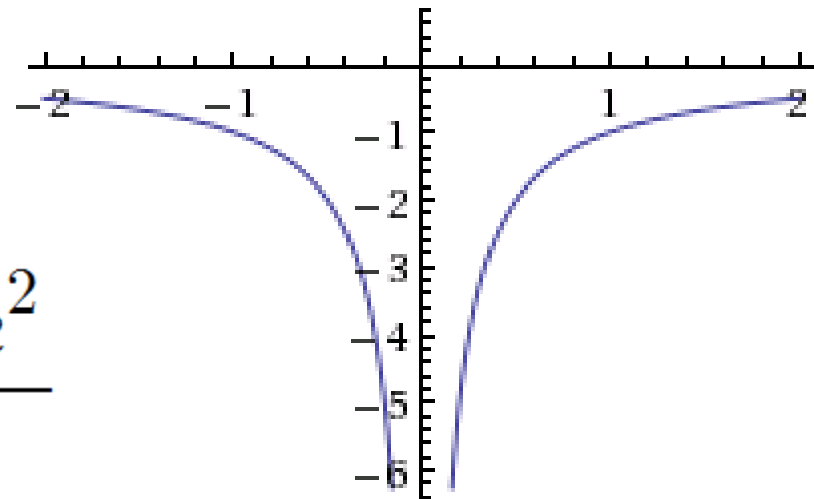
포텐셜 에너지

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

$$-\frac{1}{|x|}$$

$$mv^2 r = ke^2 \Rightarrow mv^2 = \frac{ke^2}{r}$$

$$E = \frac{1}{2} \frac{ke^2}{r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{ke^2}{r}$$



#5. 수소 원자

$$E = -\frac{ke^2}{2r} = -\frac{ke^2}{2a_0n^2} = -\frac{13.6}{n^2}$$

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} [\text{eV}]$$

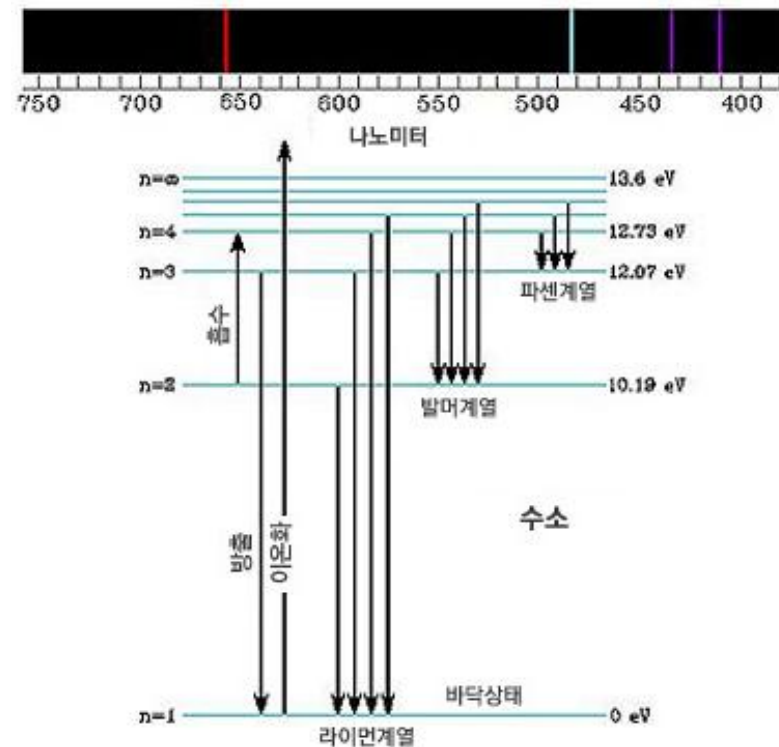
$$E_1 = -\frac{13.6}{1^2} = -13.6 [\text{eV}] \quad E_3 = -\frac{13.6}{3^2} = -1.5 [\text{eV}]$$

$$E_2 = -\frac{13.6}{2^2} = -3.4 [\text{eV}] \quad E_4 = -\frac{13.6}{4^2} = -0.9 [\text{eV}]$$

#5. 수소 원자

양성자 하나, 전자 하나로 구성된 수소원자로부터
전자를 떼어내는 데 필요한 에너지 13.6 eV

1. 라이먼 계열($n=1$, 자외선)
2. 발머 계열($n=2$, 가시광선)
3. 파셴 계열($n=3$, 적외선)



보어의 원자모형과 스펙트럼 계열

<출처: NASA>

* [참고자료 : 네이버 캐스트 - 보어의 원자모형](#)

양자화된 에너지

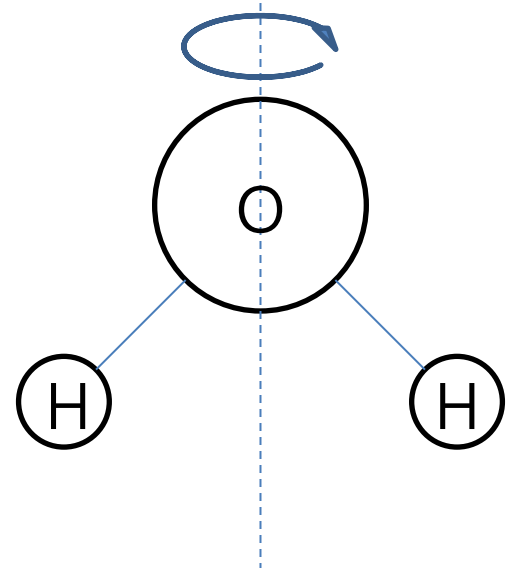
회전 운동

L : 각운동량, P : 선운동량

$$E_{\text{회전}}^{H_2O} = 0.01 \text{ [eV]}$$

$$E_{\text{회전}} = \frac{L^2}{2I} = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2I}$$

$$E_{\text{병진}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{P^2}{2m}$$



회전(rotational), 병진(translational)

양자(quanta), 자연은 덩어리져 있다.

덩어리져 있기 때문에 주고 받을 수 있다.

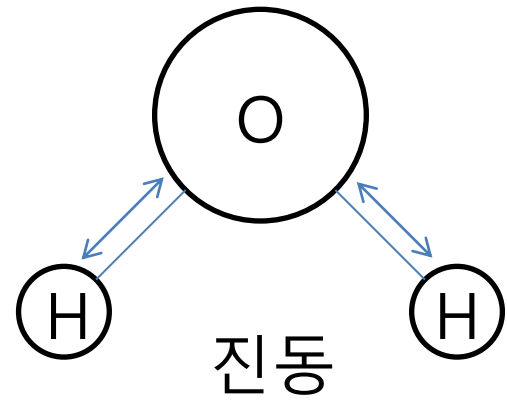
자연의 구조를 따라서, 모듈(module)식 학습

양자화된 에너지

$$E_{\text{진동}}^{H_2O} = 0.1 \text{ [eV]}$$

$$E_{\text{진동}} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega$$

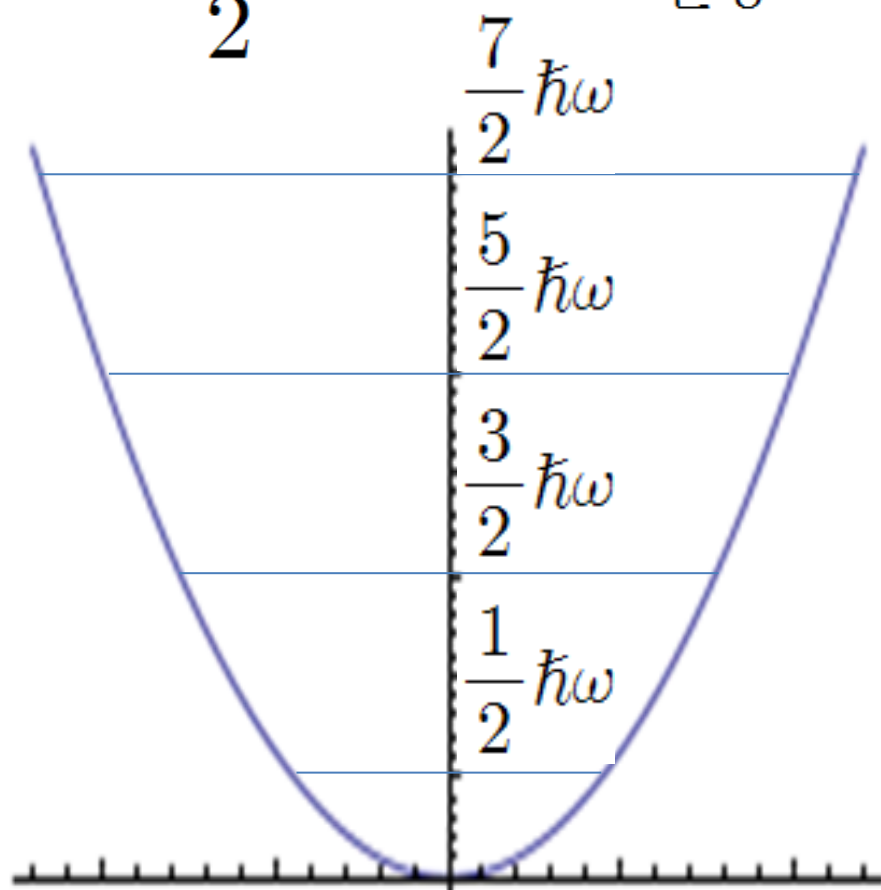
$$E_{\text{진동}}^{n=0} = \frac{1}{2} \hbar \omega \quad ; \text{진공 에너지 (zero point energy)}$$



진공(vacuum)이란,
양자상태(quantum state)가 0

양자화된 에너지

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \quad E_{\text{진동}} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega \quad n = 0, 1, 2, \dots$$



빛의 세계, 보즈-아인슈타인
통계를 따르는 보존(boson)
하나의 에너지 준위(level)에
무한히 중첩 가능

페르미-디랙 통계를 따르는
페르미온(fermion)
파울리의 배타 원리 적용
하나의 에너지 준위에
하나의 페르미온만 가능

양자화된 에너지

페르미온 : 물질을 구성하는 입자,
스핀 반 정수 $\pm 1/2, \pm 3/2, \pm 5/2, \dots$

보존 : 물질을 구성하게끔 끌어 모으는 힘
스핀 정수 $0, 1, 2, \dots$

힘도 입자다.

모든 것을 입자로 설명하려는 입자 물리학 !

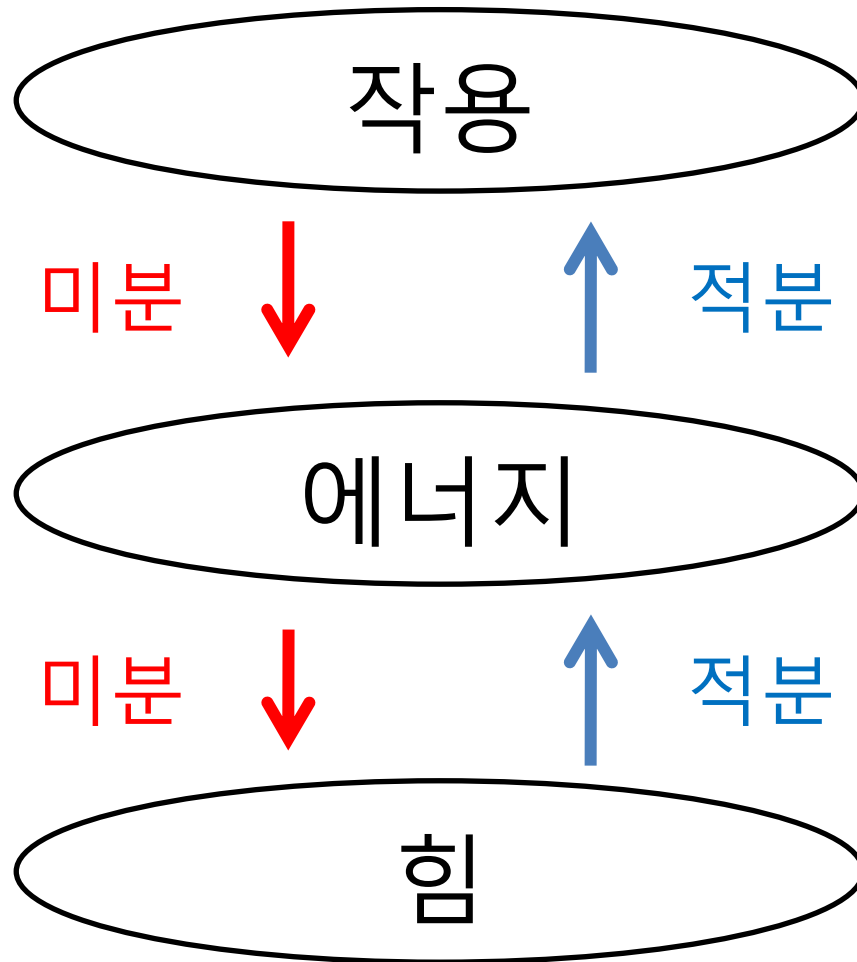
양자화된 에너지

입자물리학에서 다루는 속성 세가지
질량, 전하, 스핀

블랙홀을 다루는 속성 세가지
질량, 전하, 스핀

물리현상은 표출되는 속성으로만 알 수 있기 때문에
소립자 = 블랙홀

힘, 에너지, 작용의 계층구조



라그랑지안 L
(좌표, 속도, 운동량)

최소작용의 원리

해밀토니안 H

$$H = K + U$$

양자역학

$$H\Psi = E\Psi$$

적분보다 미분이 쉽다
에너지를 이해하면
힘을 알 수 있다.
 $\text{힘} < \text{에너지} < \text{작용}$

기본입자의 표준 모형

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-27}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1	Color Charge Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.		
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

Electrically charged particles interact by exchanging photons. In strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons $q\bar{q}$ and baryons qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction			
	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength relative to electromagnetism for two u quarks at:				
for two u quarks at:	10^{-41}	0.8	1	25
for two protons in nucleus:	10^{-41}	10^{-6}	1	60
for two protons in nucleus:	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons

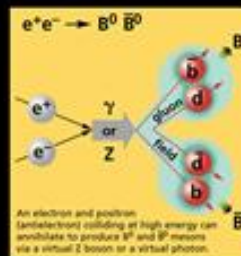
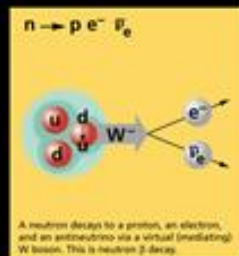
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 160 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and g , but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature The Particle Adventure at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURL INDUSTRIES, INC.

©2006 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

노터의 정리

하나의 대칭
하나의 보존 법칙



시간 대칭 → 에너지 보존 법칙
병진 대칭(균질성) → 운동량 보존 법칙
회전 대칭(등방성) → 각운동량 보존 법칙

물리 상수 표

상수와 단위	기호	값
1 라디안	1 rad	$180^\circ/\pi = 57.2957795^\circ = 206\,264.8''$
1(각의) 도	1°	0.01745329 rad
1(각의) 초	1''	0.000004848 rad
광속	c	$2.997925 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
중력상수	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} = 4\pi^2 \text{ AU}^3 \text{ M}_\odot^{-1} \text{ a}^{-2}$
플랑크 상수	h	$6.6256 \times 10^{-34} \text{ Js}$
	\hbar	$h/2\pi = 1.0545 \times 10^{-34} \text{ Js}$
볼츠만 상수	k	$1.3805 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
복사밀도 상수	a	$7.5643 \times 10^{-16} \text{ Jm}^{-3} \text{ K}^{-4}$
스테판-볼츠만 상수	σ	$ac/4 = 5.6693 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$
원자 질량 단위	amu	$1.6604 \times 10^{-27} \text{ kg}$
전자 볼트	eV	$1.6021 \times 10^{-19} \text{ J}$
전자의 전하	e	$1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$
전자의 질량	m_e	$9.1091 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV}$
양성자의 질량	m_p	$1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938.3 \text{ MeV}$
중성자의 질량	m_n	$1.6748 \times 10^{-27} \text{ kg} = 939.6 \text{ MeV}$
^1H 원자의 질량	m_{H}	$1.6734 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.0078 \text{ amu}$
^4He 의 질량	m_{He}	$6.6459 \times 10^{-27} \text{ kg} = 4.0026 \text{ amu}$
^1H 의 리드베르크 상수	R_{H}	$1.0968 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
질량이 ∞ 인 경우의 리드베르크 상수	R_∞	$1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
기체 상수	R	$8.3143 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
표준 기압	atm	$101325 \text{ Pa} = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg}$
천문 단위	AU	$1.49597870 \times 10^{11} \text{ m}$
파섹	pc	$3.0857 \times 10^{16} \text{ m} = 206265 \text{ AU} = 3.26 \text{ ly}$
광년	ly	$0.9461 \times 10^{16} \text{ m} = 0.3066 \text{ pc}$

물리 상수 표

상 수 명	표시기호	수치		SI
원자질량 단위($u^{-12}C/12$)	u	1.66053	± 0.00006	$\times 10^{-27}kg$
진공 중의 광속도	c	2.997925	± 0.000003	$\times 10^8 m/s$
기본 전하량	e	1.60219	± 0.00007	$\times 10^{-19}C$
전기 소량 e 를 가진 입자	F	9.64867	± 0.00016	$\times 10^4 C/mol$
1mol의 전하(Faraday상수) Avogadro수	N	6.02217	± 0.00028	$\times 10^{23} mol^{-1}$
이상 기체의 표준 부피 (1 atm, 0°C)	V_o	2.24136	± 0.00030	$\times 10^{-2} m^3/mol u$
중성자의 질량	m_n	1.00867 1.67482	± 0.00008	$\times 10^{-27}kg$ u
양성자의 질량	m_p	1.00728 1.67261	± 0.00008 ± 0.00004	$\times 10^{-27}kg$ $\times 10^{-31}kg$
전자의 질량	m_e	9.10956	± 0.000019	$\times 10^{11} C/kg$
전자의 비전하	e/m_o	1.758803	± 0.0006	$\times 10^{-21} J/T$
Bohr 磁子	μB	9.2741		
기체 상수	R	8.3143	± 0.0012	$\times J/mol.K$
Boltzaann상수($k=R/N$)	k	1.38054	± 0.00018	$\times 10^{-23} J/K$
Planck 상수	h	6.6262	± 0.0005	$\times 10^{-34} J.s$
각운동량의 기본량($\hbar=h/2\pi$)	\hbar	1.0549	± 0.0001	$\times 10^{-34} Js$
Bohr반지름	a_o	5.29167	± 0.00007	$\times 10^{-11} m$
전자의 고전반지름 ($r_e=e^2/m_e c^2$)	r_e	2.81777	± 0.00011	$\times 10^{-15} m$
Rydberg상수	Ry	1.097373	± 0.0000003	$\times 10^7 m^{-1}$
미세 구조 상수($\alpha=2\pi e^2/\hbar c$)	α	7.29735	± 0.00010	$\times 10^{-3}$

상 수 명	표시기호	수치		SI
전자의 Compton파장 ($\lambda_{ce}=\hbar/m_e c$)	λ_{ce}	2.42621	± 0.00006	$\times 10^{-12} m$
양성자의 Compton파장 ($\lambda_{cp}=\hbar/m_p c$)	λ_{cp}	1.32140	± 0.00004	$\times 10^{-15} m$
중성자의 Compton파장 ($\lambda_{cn}=\hbar/m_n c$)	λ_{cn}	1.31958	± 0.00004	$\times 10^{-15} m$
1eV의 에너지		1.60210		$\times 10^{-19} J$
1eV에 대응하는 진동수		2.418		$\times 10^{14} Hz$
1eV에 대응하는 파장		1.240		$\times 10^{-8} m$
1eV에 대응하는 파수		0.8066		$\times 10^6 m^{-1}$
1eV에 대응하는 온도		1.1605		$\times 10^4 K$
1eV에 대응하는 질량 ($1u=931.4MeV$)		1.074		$\times 10^{-9} u$
Planck의 복사 법칙에 포함되는 상수	$C_1=2\pi^2\hbar c$ $C_2=\hbar c/k$	3.741844 1.438833		$\times 10^{-16} Wm^2$ $\times 10^{-2} mK$
Wien의 변위치($\lambda_m T$)		2.8978	± 0.0004	$\times 10^{-3} mK$
Stefan-Boltzmann상수	σ	5.6696	± 0.0029	$\times 10^{-8} W/m^2 K^4$
만유 인력 상수	G	6.673	± 0.015	$\times 10^{-11}$ $\times 10^{-8}$
중력 가속도	g_o	9.80665		m/s^2
물의 응고점의 열역학적 온도		273.15		K
물의 삼중점의 열역학적 온도		273.16		K

<http://blog.daum.net/hongbkim/3699>