什麼是科學？

它是一種以不自然地眼光來看待、理解大自然的方式

撰文 高涌泉



不自然的科學

我們的好奇心是自然的，但科學的解釋方法卻非自然。

前幾天在網路上漫遊，無意間碰上一個名為「人物檔案庫」（Peoples Archive）的精采網站（http://www.peoplesarchive.com/）。它的宗旨清楚寫在首頁上：「人物檔案庫致力於為後世蒐羅我們這個時代偉大的思想者、創造者、成就者的故事。你在此網站所碰到的都是各個領域的領導者，他們的工作影響並改變了我們的世界。」目前此網站已登出了31位名人的訪問紀錄影片。

這31位名人裡，科學家佔過半數，其餘是詩人、導演、攝影師、雕塑家等。科學家又以生物或生化學家居多，其中包括發現DNA雙螺旋結構的克里克（Francis Crick）。我沒見過克里克本人，對於他的風采相當好奇，因為和他一起發現DNA結構的夥伴華生曾說：「我知道很多外人會認為克里克才是主要的DNA頭腦，因為他很明顯超級聰明。」可惜這位傳奇人物已於2004年過世，所以能在這裡看到他的講話神態，令人高興。

科學方法的新鮮處之一，在於超越傳統的直覺式思維。

更有意思的是克里克在影片中談到科學的本質，其中許多看法，於我心有戚戚焉。這些觀點前人都談過，甚至我也曾在課堂上提過，但是我覺得還是值得在此介紹一下。

首先這位「超級聰明」的人說：「我不以為我有個特別的腦袋，我的腦子和多數科學家是一樣的：對於世界感到好奇，然後學習以科學的方法去看待事情，但這並不是一種自然的做事方式，它反而幾乎是種詭異的方式。例如，中國人並沒有發現科學，任何其他文明也沒有發現科學。科學大概起於希臘，但直到伽利略才真的發展起來。伽利略之前的人都只是在摸索階段，還談不上是真正的科學家，而伽利略聽起來就像是個貨真價實的科學家。」

克里克說伽利略的推理方式與實驗精神，都充份具有現代感，他知道如何建構出一般性的原理來解釋實驗，而不僅僅是以自己的方式再將實驗描述一遍。克里克強調：「我不認為（伽利略的）這種方式自然，這是你必須學了才會的事。我們的好奇心是自然的，但是用科學解釋事情的方法不是自然的。我們狩獵的祖先並不需要科學方法，他們需要的只是幾個大略的、可以馬上派上用場的主要法則，這樣他們就可以很快從一件事推論，下正確的決定。對他們來說，做決定比知道背後真正的道理重要。」

換句話說，克里克以為科學方法的新鮮處之一，在於超越了傳統的直覺式思維。當然他很了解「當你在選擇一個科學問題時，你必須依賴直覺，因為這時你還無法解釋何以這是好問題，而那是壞問題」，不過一旦你開始研究問題，你就得和伽利略一樣，仔細設計實驗去檢驗理論。

有過一些科學經驗的人對於克里克的講法或許不會覺得意外，例如，名生物學家沃伯特（Lewis Wolpert）多年前就出版過一本談論科學意義的書，名為《科學不自然的本質》（*The Unnatural Nature of Science*）。我們從書名便可看出沃伯特的見解和克里克一樣，無論是就方法而言，或是從累積起來的科學知識而論，科學的確是不甚自然。

然而儘管科學家對此有相當共識，還是有許多人對此「不自然性」相當陌生。證據之一便是我們常常會聽到一種主張：要讓學生以生活化的自然方式接近科學，最好能讓他們自行建構出科學知識來。的確，科學所處理的當然都是自然現象，不過如果沒有老師的指引，學生不太可能摸索出正確的道路。以物理學第一課的慣性原理為例：這項原理的意思是「物體如果沒有受到外力，它將保持等速前進或靜止」，可是在自然環境中，物體幾乎不可能不受力，尤其是摩擦力，所以如果沒有伽利略告訴我們這個違逆直覺的原理，我們很難自行想出來。依直覺，我們都會和另一位超級聰明的人——亞里斯多德——一樣，認定物體的「自然狀態」就是靜止不動的。

高涌泉　台灣大學物理系教授

但更有意思的是克立克在影片中談到科學的本質，其中許多看法，於我心有戚戚焉。雖然這些觀點前人都談過，甚至我也曾在課堂上提過，但是我覺得對於一般人而言，應還是有其新鮮之處，值得在此介紹一下。

首先這位「超級聰明」的人說：「我不以為我有個特別的腦袋，我的腦子和多數科學家是一樣的；他們對於世界感到好奇，**然後學習以科學的方法去看待事情，但這(科學方法)並不是一種自然的做事方式，它反而幾乎是種詭異的做事方式。**例如，中國人並沒有發現科學，任何其他文明也沒有發現科學。科學大概起於希臘，但是直到加利略才真的發展起來。加利略之前的人都只是在摸索階段，還談不上是真正的科學家，但加利略聽起來就像是個真正的科學家。」

克立克說加利略的推理方式與實驗精神都具有充分的現代感，他知道如何建構出一般性的原理來解釋實驗，而不僅僅是以自己的方式再將實驗描述一遍而已。克立克強調：「**我不認為(加利略的)這種方式特別自然，這是你必需學(了才會做)的事。我們的好奇心是自然的，但是(科學中)解釋事情的方法不是自然的。**我們狩獵的祖先並不需要科學方法，他們需要的是幾個大略的、可馬上派上用場的主要法則而已，這樣子他們就可以很快地從一件事去做推論，下出正確的決定。對他們來說，做決定比知道背後真正的理由來得重要。」

換句話說，克立克以為科學方法的新鮮處之一就在於**超越了傳統的直覺式思維**。當然他很了解「當你在選擇一個科學問題的時候，你必需依賴直覺，因為這時你還講不清楚何以這是個好問題，而那是個壞問題」，不過一旦你著手研究選定的問題，你就會必需和加利略一樣，仔細地設計實驗去檢驗理論。

有過一些科學經驗的人對於克力克的講法大約不會覺得意外，例如，名生物學家沃珀特(L. Wolpert)多年前就出版過一本談論科學意義的書，名為《**科學不自然的本質**》(The Unnatural Nature of Science)。我們從書名便可看出沃珀特的見解和克力克是一樣的。我們可以這麼講，無論是就方法而言，或是從累積起來的科學知識而論，科學的確是不甚自然的事情。

然而儘管科學家對此有相當共識，還是有許多人對此「不自然性」相當陌生。證據之一便是我們常常會聽到一種主張，就是要讓學生以生活化的自然方式接近科學，最好能讓他們自行建構出科學知識來。的確，科學所處理的對象當然都是自然現象，不過如果沒有老師的指引，學生大約不可能摸索出正確的道路。讓我以物理學第一課的慣性原理為例：這項原理的意思是「物體如果沒有受到外力，它的運動狀態就是等速前進或靜止」，可是在自然環境中，物體幾乎不會沒受到力，尤其是摩擦力，所以如果沒有加利略來告訴我們這個違逆直覺的原理，我們很難自行將它想出來。依直覺，**我們都會和另一個超級聰明的人—亞里斯多德—一樣，認定物體的「自然狀態」就是靜止不動的。**



The School of Athens by Raphael

「西方科學奠基於兩大成就。一為希臘哲人所發展出來的歐氏幾何公設系統，另一為文藝復興時期，人們發現可以透過有系統的實驗了解事物的因果關係。在我看來，中國聖哲在這方面沒有絲毫貢獻，一點也不奇怪。真正令人訝異的是科學終究還是被發現了」

愛因斯坦

時空是舞台

基本粒子是舞台上的演員

它們會彼此交談或變換身分

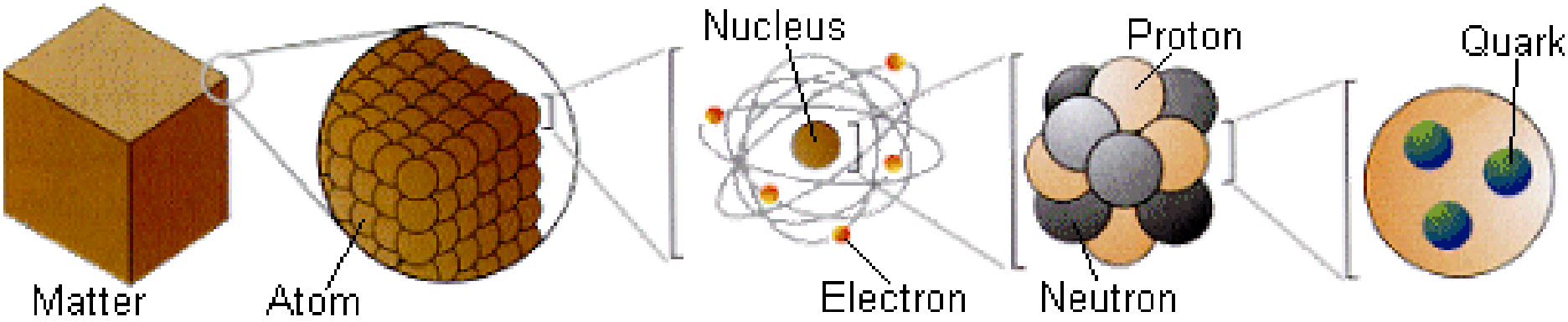
Democritus (460B.C.-370B.C.)

Atomism 原子論 Henri Bergson The Philosophy of Poetry

“In short, bodies and souls as well as objects and worlds are composed of atoms; natural phenomena and thinking are movements of atoms; there has never been and will never be anything other than atoms, void, and movement.”

Materialism 物質主義 唯物主義 唯物論

物質的組成

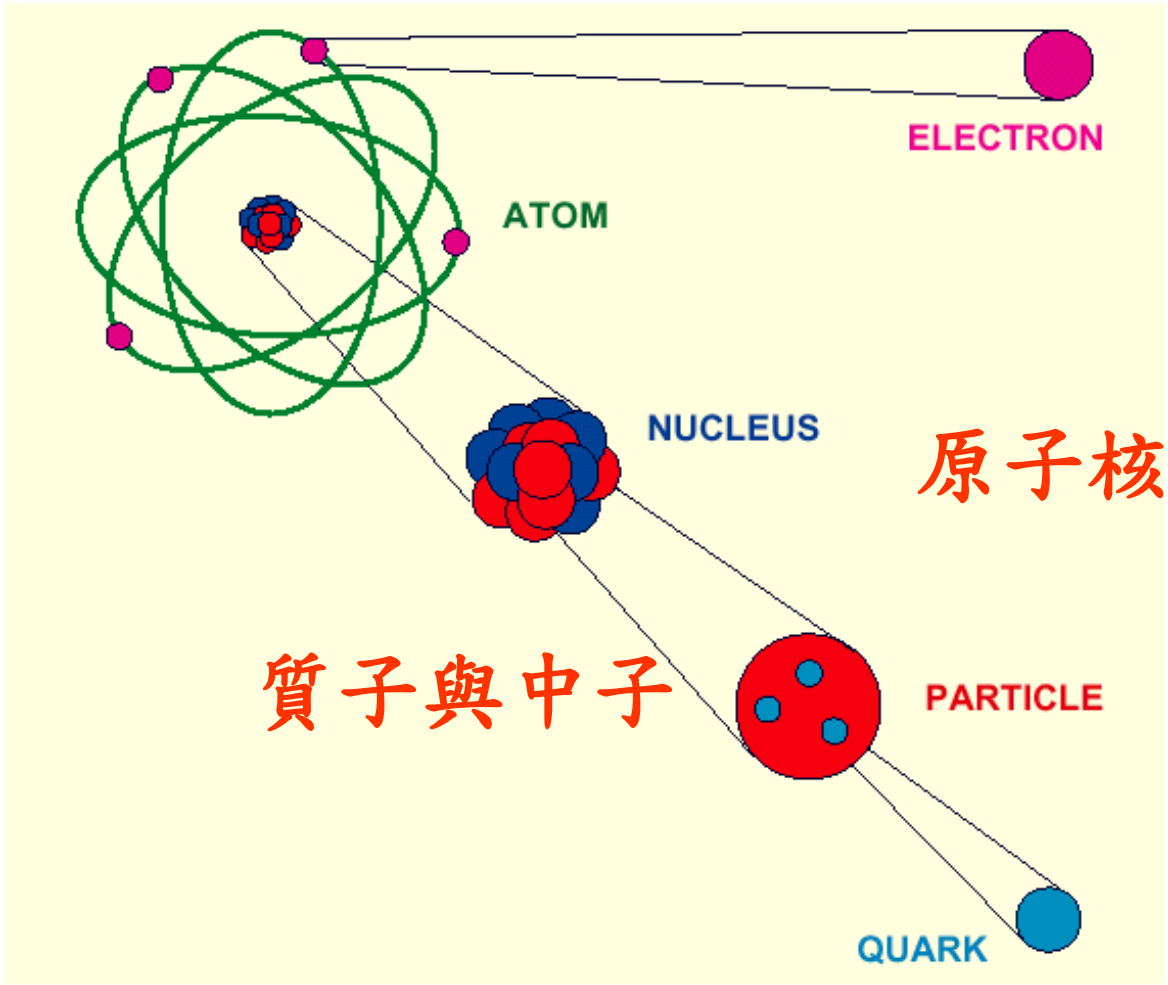


物質　　原子　　原子核 電子　質子 中子　夸克

10^{-8}公分

Constituents of Matter

物質的組成



電子

原子

原子核

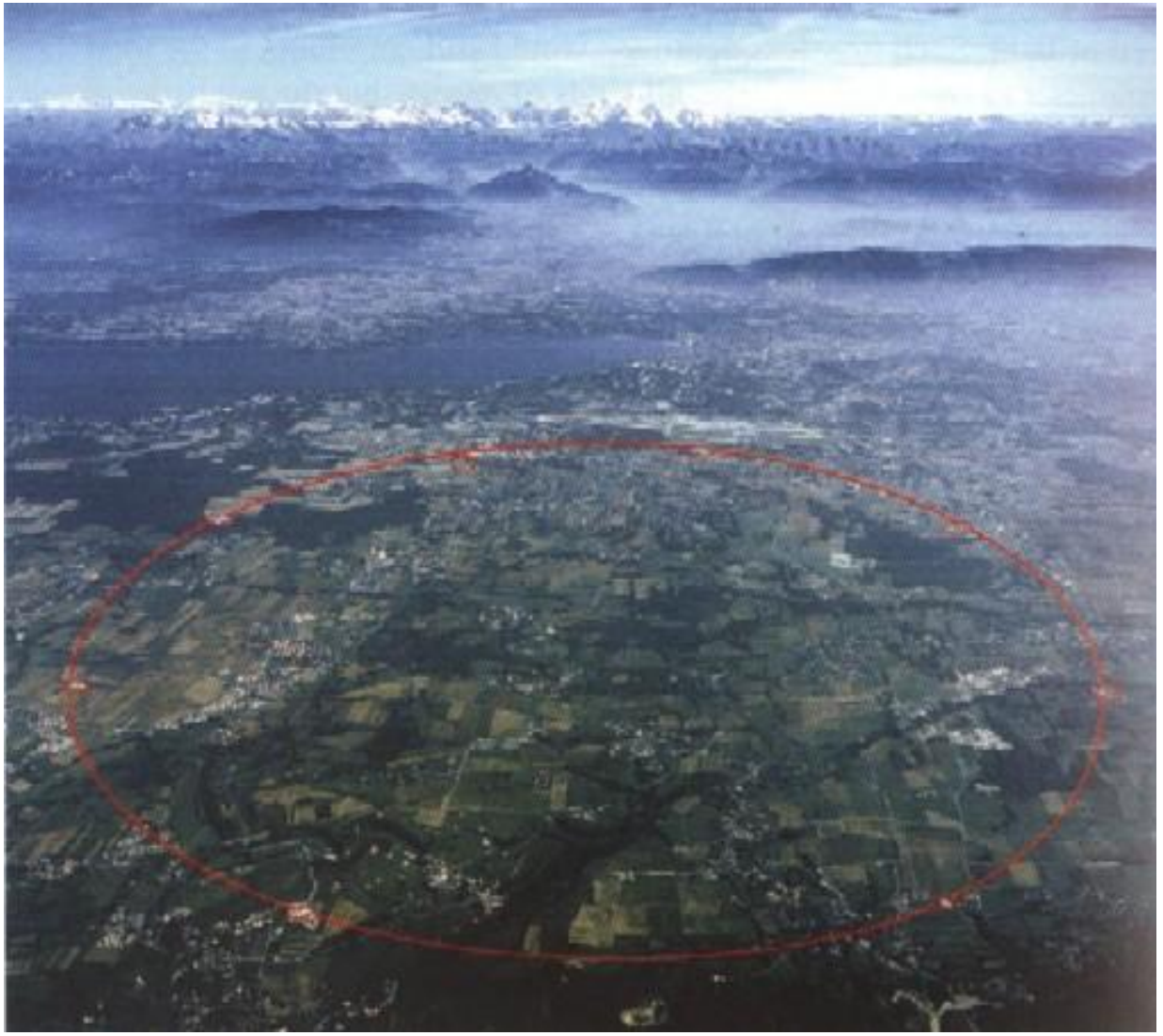
質子與中子

夸克



Fermilab is home to the Tevatron, the world's highest-energy particle accelerator.

Four miles in circumference, the Tevatron is housed in a tunnel about 30 feet below the big ring you see in this aerial view of the laboratory. We use a series of accelerators to send particles racing around the Tevatron at 99.9999 percent of the speed of light in a vacuum. The particles complete the four-mile course nearly 50 thousand times a second.



Aerial view of the **Geneva**, Switzerland area, with the **27-kilometer** path of the **LHC tunnel** outlined in red. *Image © CERN*

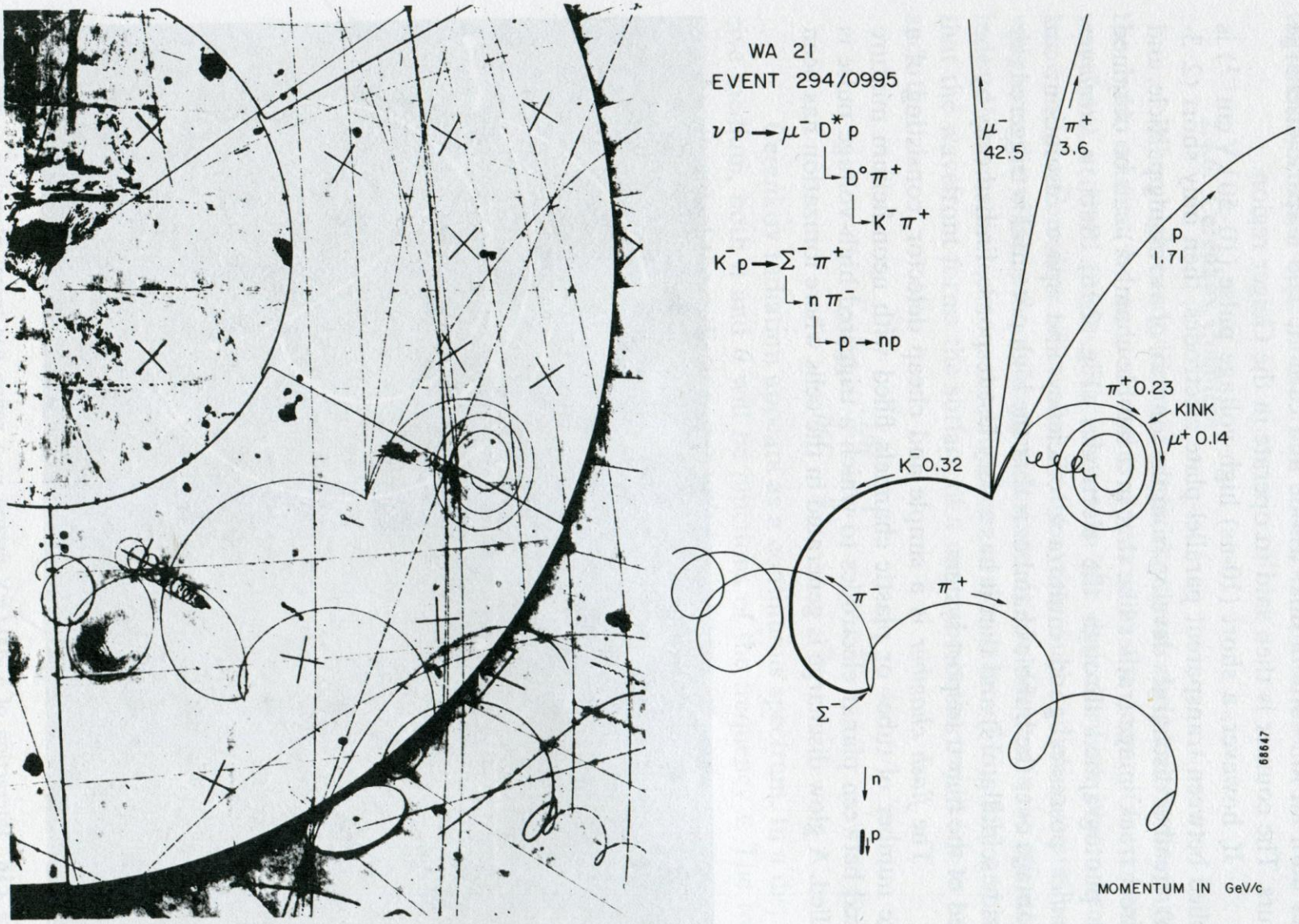


Figure 2.15 Example of charmed-particle production and decay in the hydrogen bubble chamber BEBC exposed to a neutrino beam at the CERN SPS. (Courtesy CERN.)

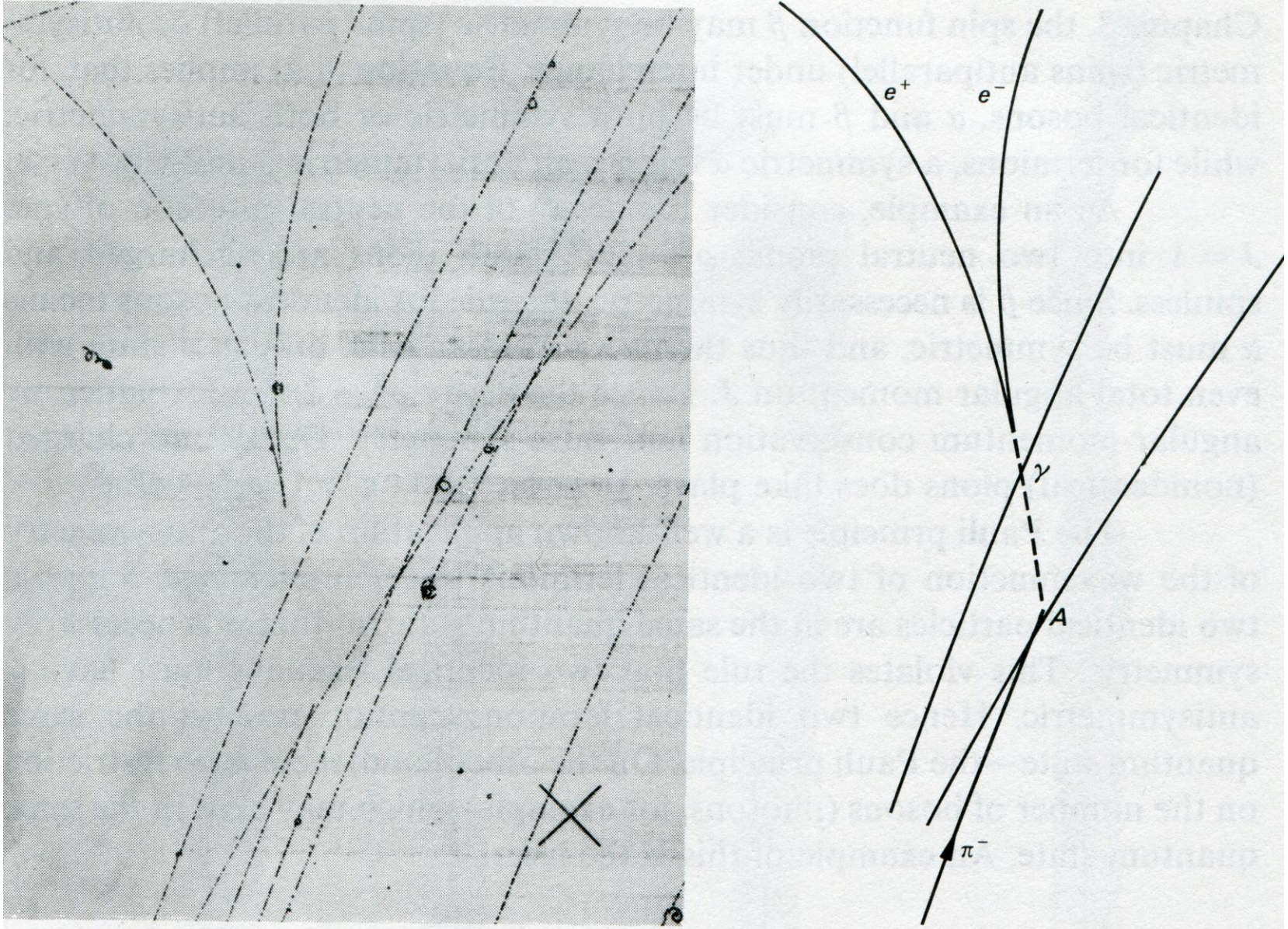
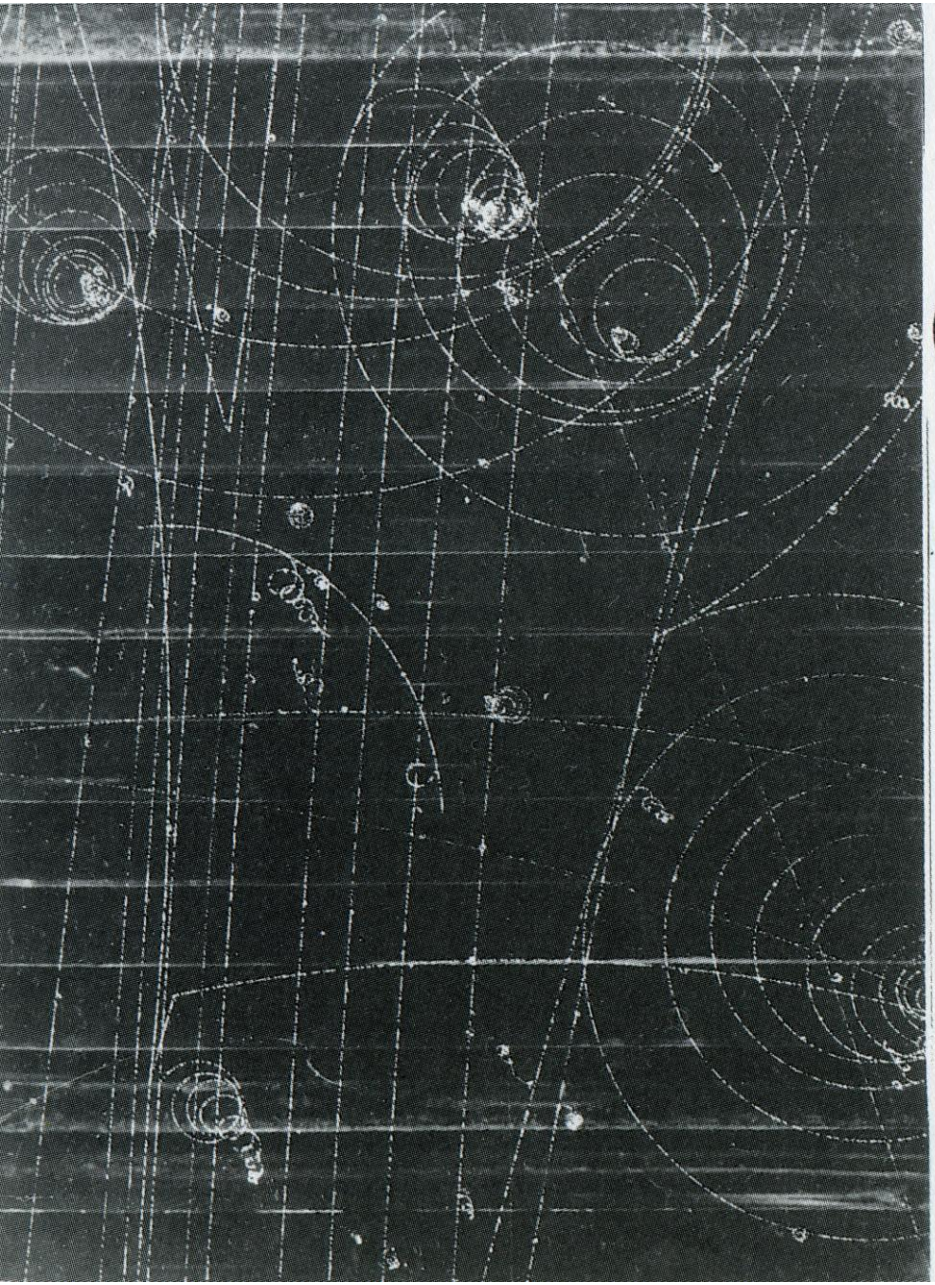
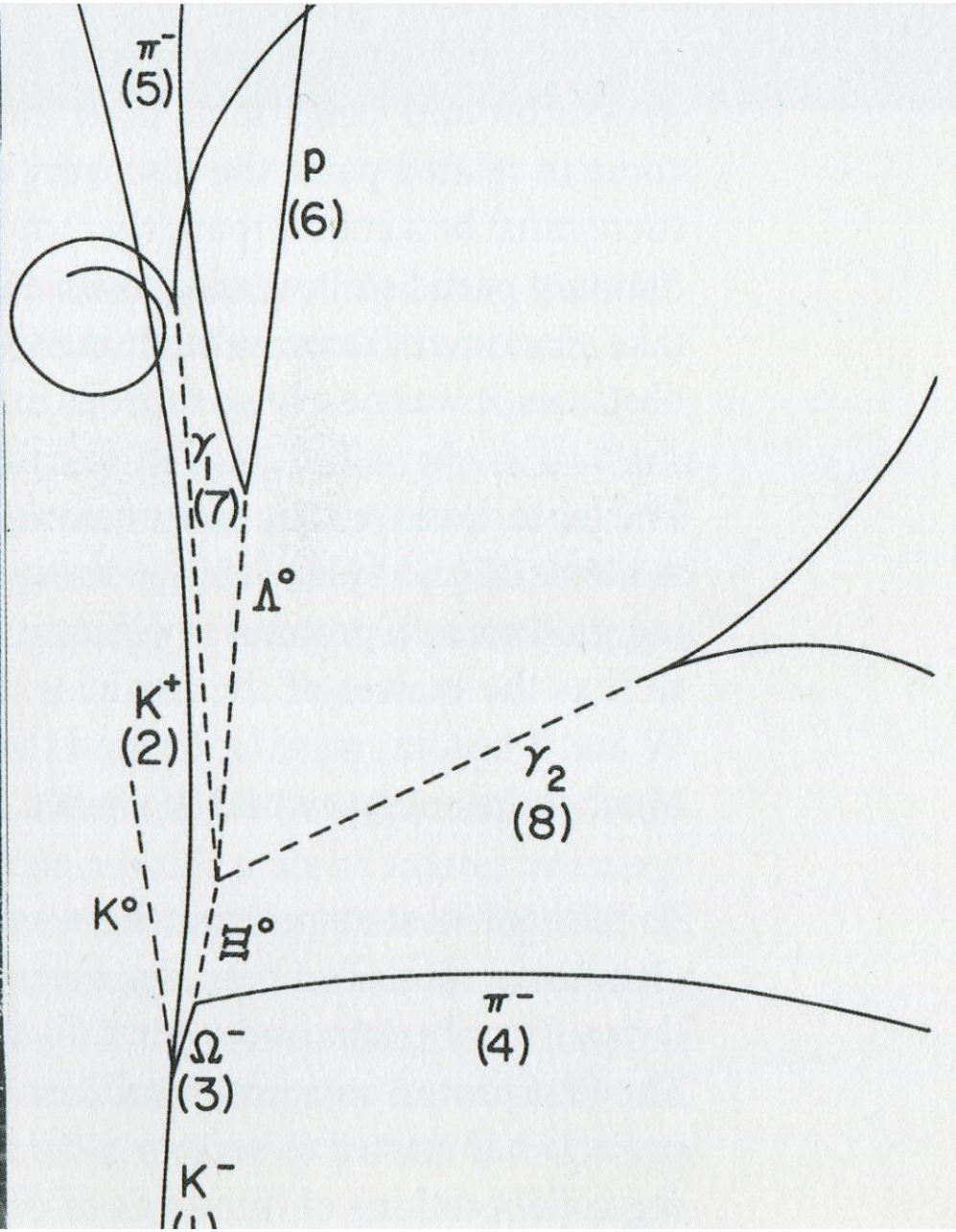
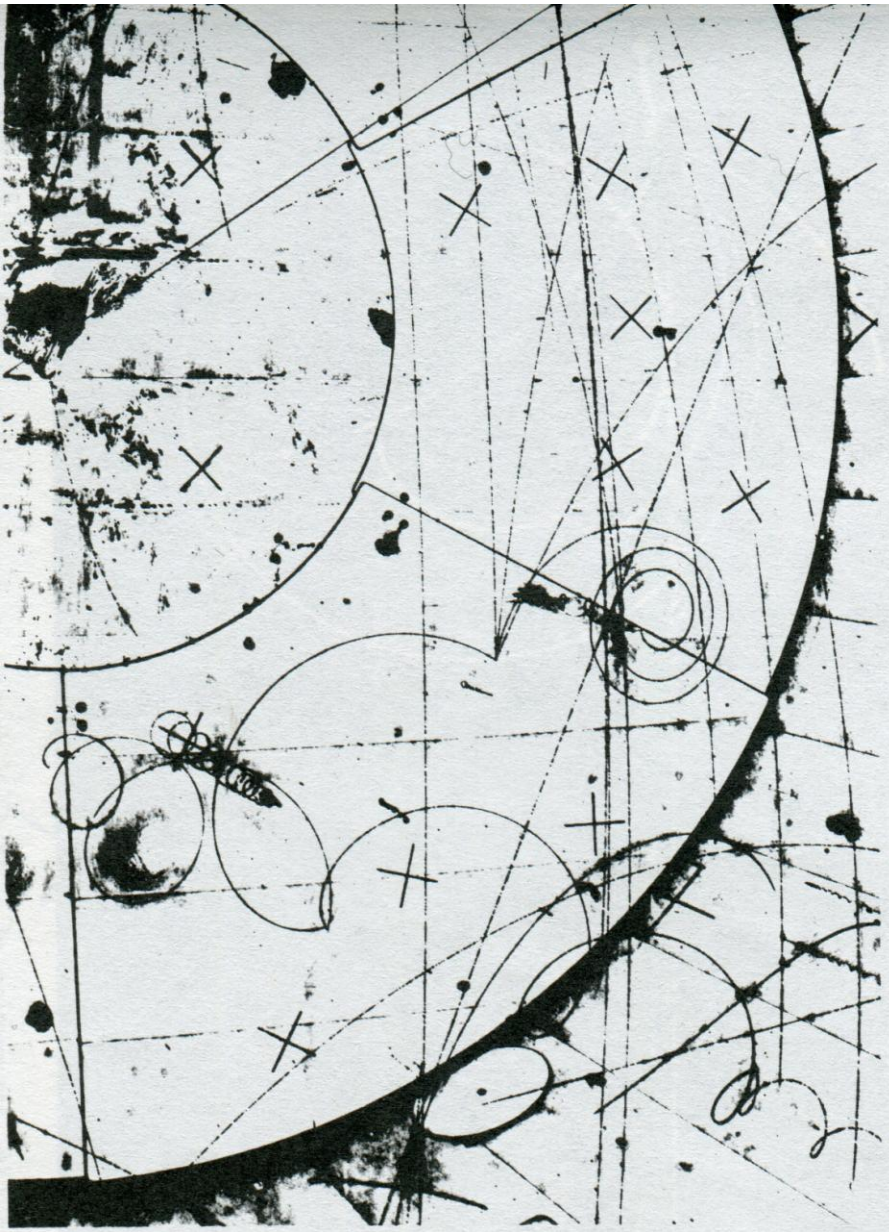


Figure 1.2 Conversion of a photon to an electron-positron pair in a bubble chamber. An incoming negative pion undergoes charge-exchange at point A: $\pi^- + p \rightarrow n + \pi^\circ$, followed by decay of the neutral pion, $\pi^\circ \rightarrow 2\gamma$. Since the π° lifetime is only 10^{-16} s, the pair appears to point straight to the interaction vertex.




π⁻
(5)
p
(6)
γ₁
(7)
Λ°
K⁺
(2)
γ₂
(8)
K°
Ξ°
π⁻
(4)
Ω⁻
(3)
K⁻



WA 21
EVENT 294/0995

$\nu p \rightarrow \mu^- D^* p$
$\quad \hookrightarrow D^0 \pi^+$
$\quad\quad \hookrightarrow K^- \pi^+$
$K^- p \rightarrow \Sigma^- \pi^+$
$\quad \hookrightarrow n \pi^-$
$\quad\quad \hookrightarrow p \rightarrow np$

μ^- 42.5
π^+ 3.6
p 1.71
π^+ 0.23
KINK
μ^+ 0.14
K^- 0.32
π^-
π^+
Σ^-
n
p

68647

MOMENTUM IN GeV/c

Q: How to describe a particle?

A: By its **mass**, **spin**, **electric charge**, **color charge**, **weak charge** etc.

spin 0 $\hbar$ particles: pion, Higgs particle…

spin ½ $\hbar$ particles: proton, neutron, electron, quark..

spin 1 $\hbar$ particles: photon, gluon, W boson….

spin 2 $\hbar$ particles: graviton

Some are **composite** particles: pion, proton, neutron,..

Some are **elementary** particles: electron, quark,…

pion ~ quark + anti-quark

(π^+ ~ u quark + anti d quark)

proton ~ 2 u quark + d quark

neutron ~ 2 d quark + u quark

重子　Baryon　如質子、中子

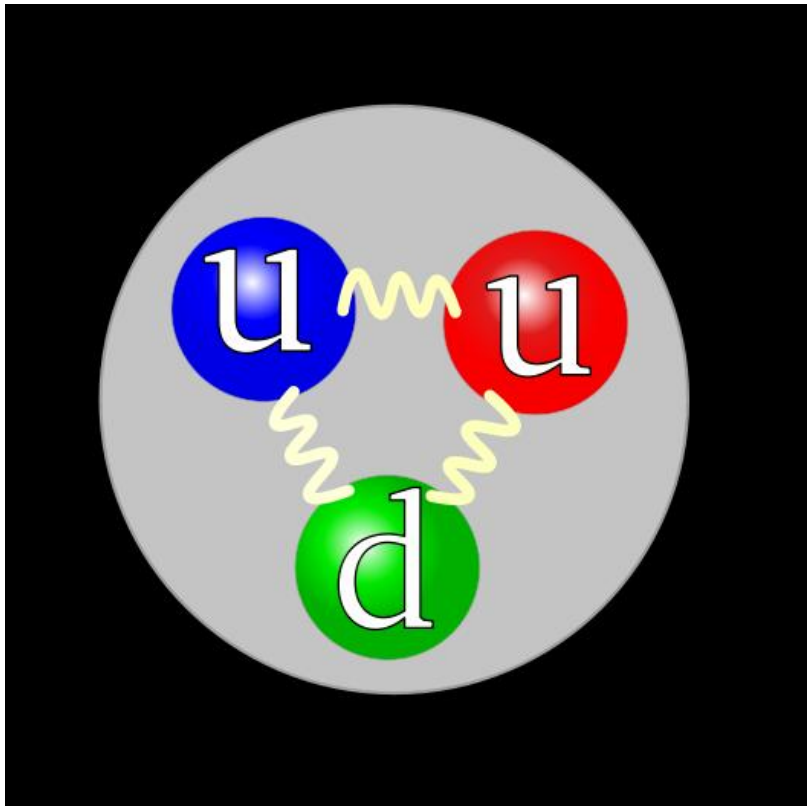
介子　Meson　如 **π**介子

輕子　Lepton　如電子、微中子

重子由三個夸克構成

介子由一個夸克與另一個反夸克構成

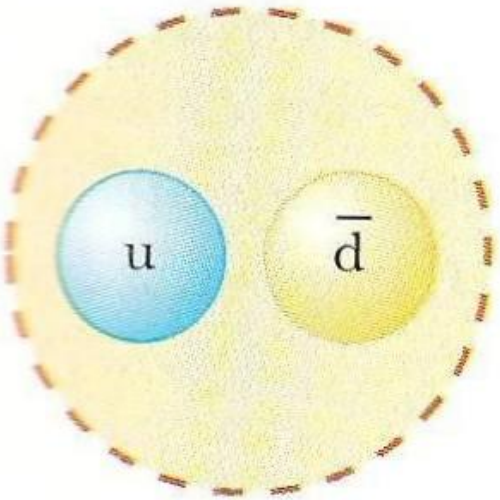
質子由兩個u夸克與一個d夸克所組成



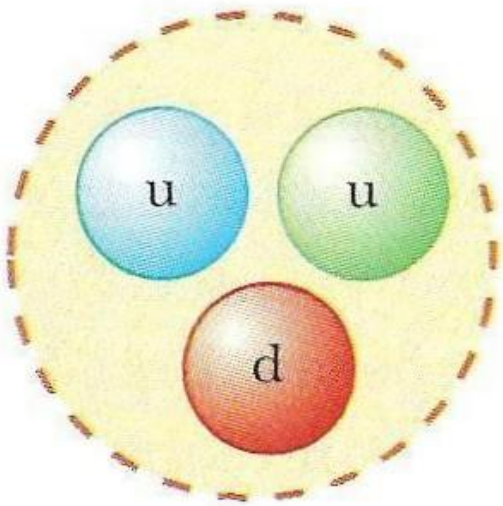
Mesons

Baryons

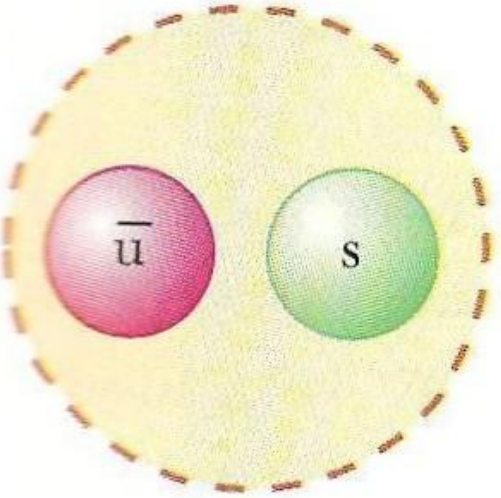
π^+



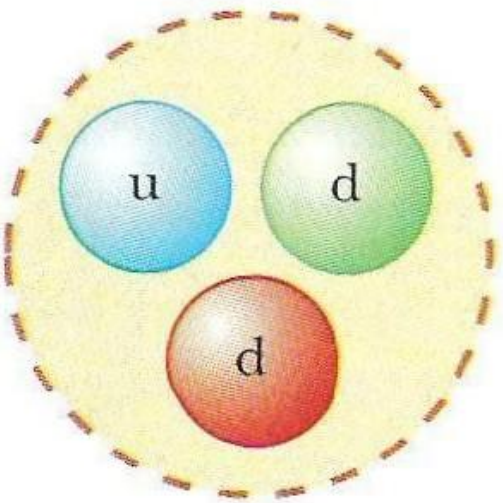
p



K^-

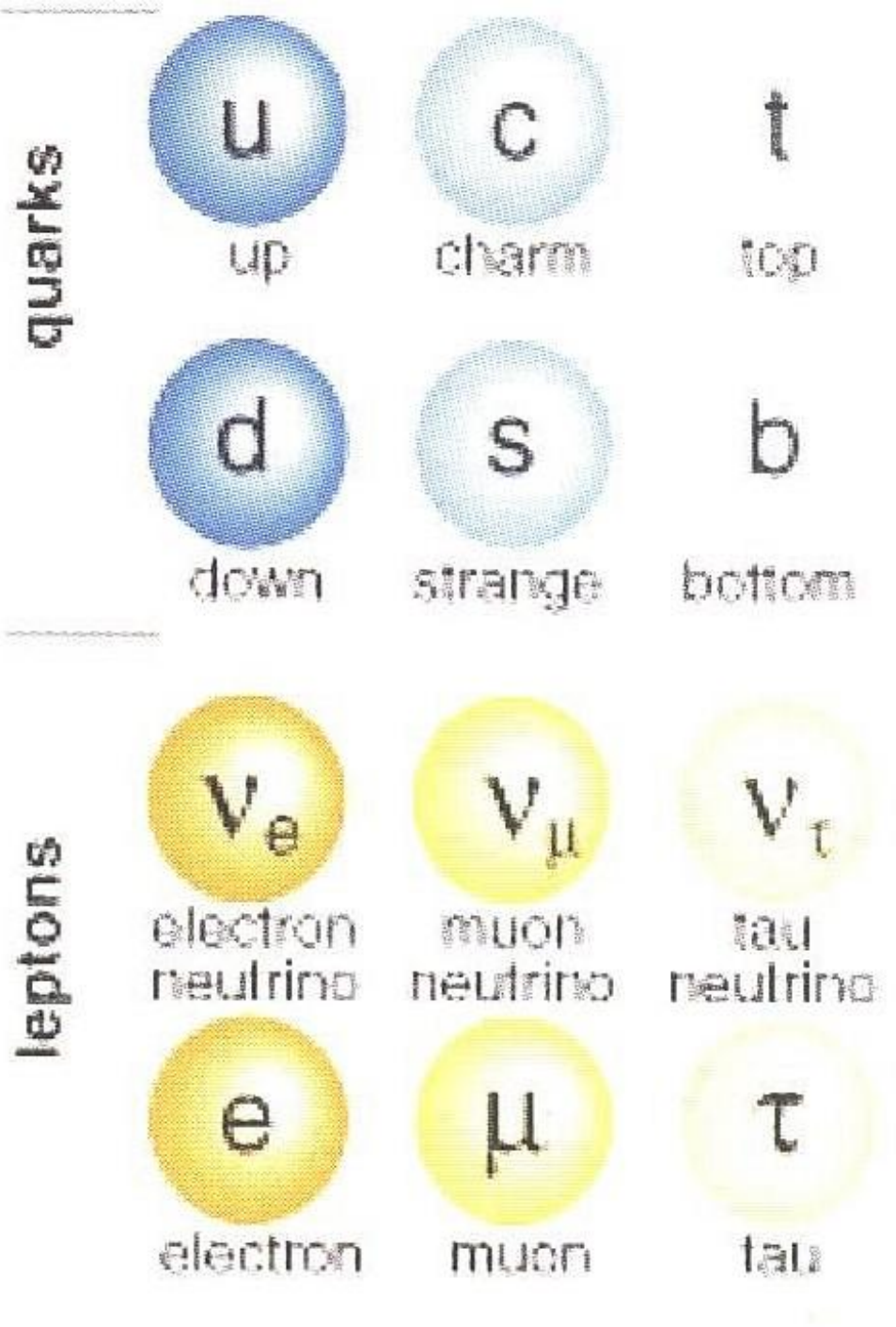


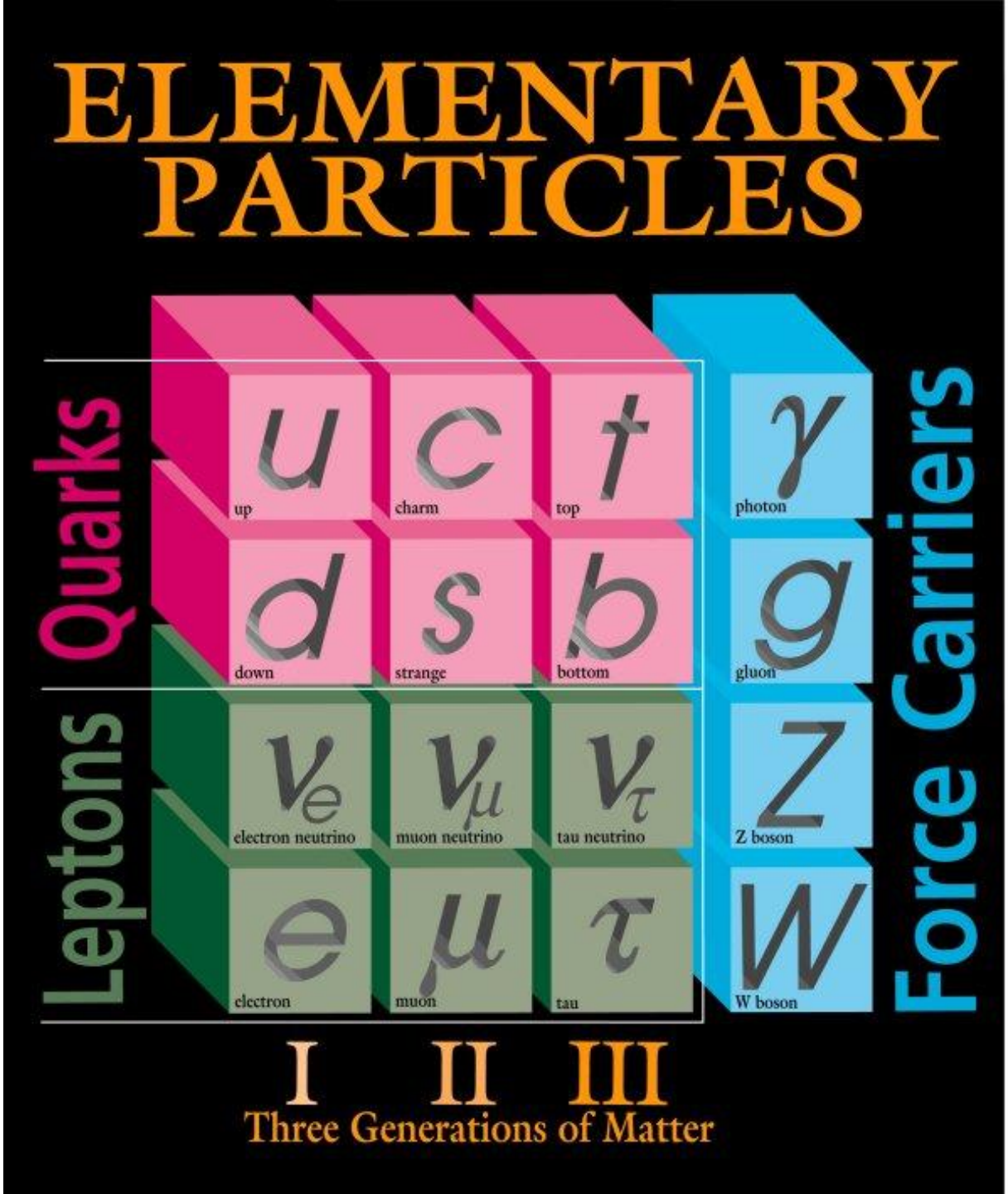
n



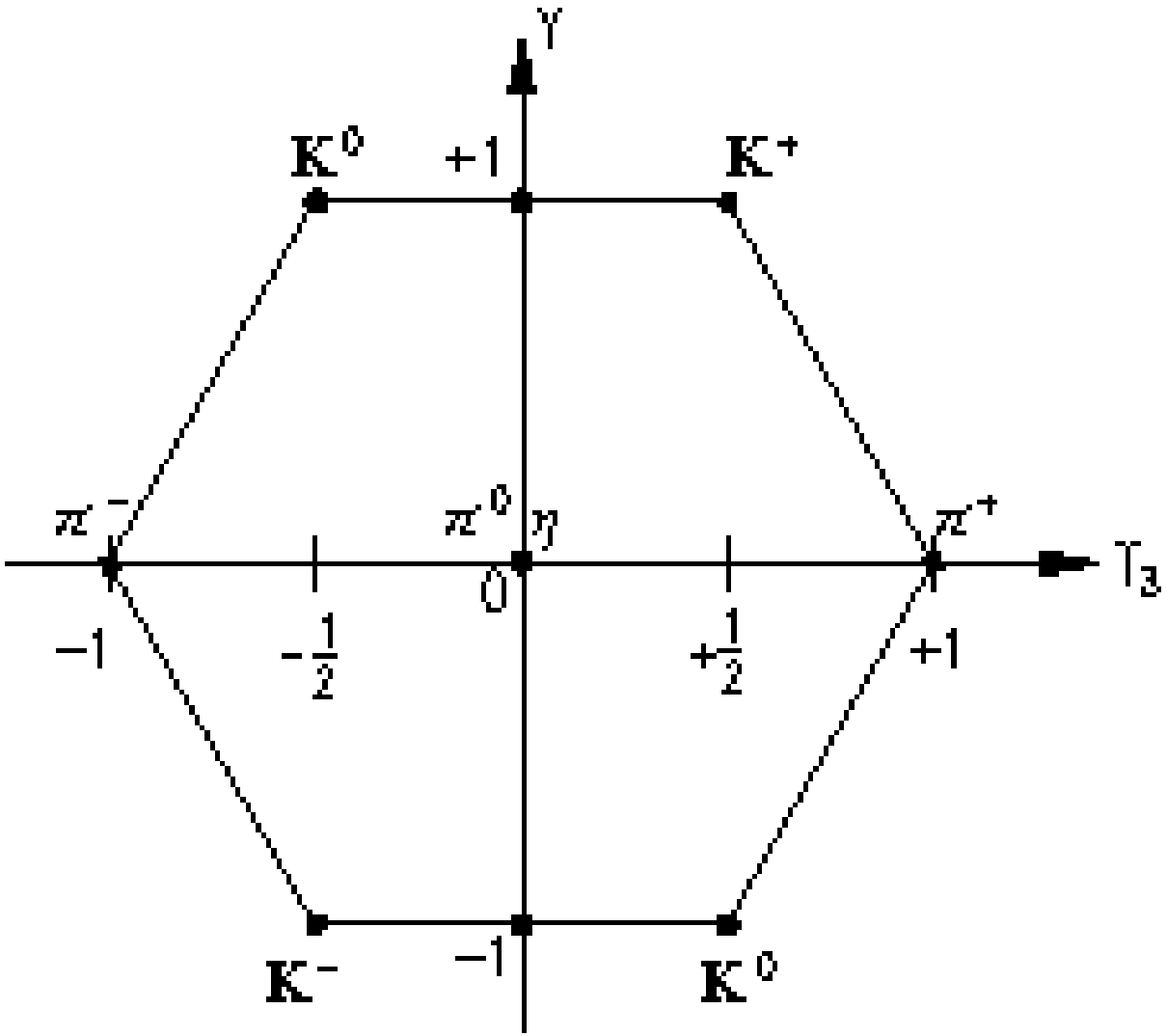
				charge
quarks	u	c	t	+2/3
	d	s	b	-1/3
leptons	e	μ	τ	-1
	ν_e	ν_μ	ν_τ	0

基本粒子


quarks
u
up
c
charm
t
top
d
down
s
strange
b
bottom
leptons
ν_e
electron neutrino
ν_μ
muon neutrino
ν_τ
tau neutrino
e
electron
μ
muon
τ
tau

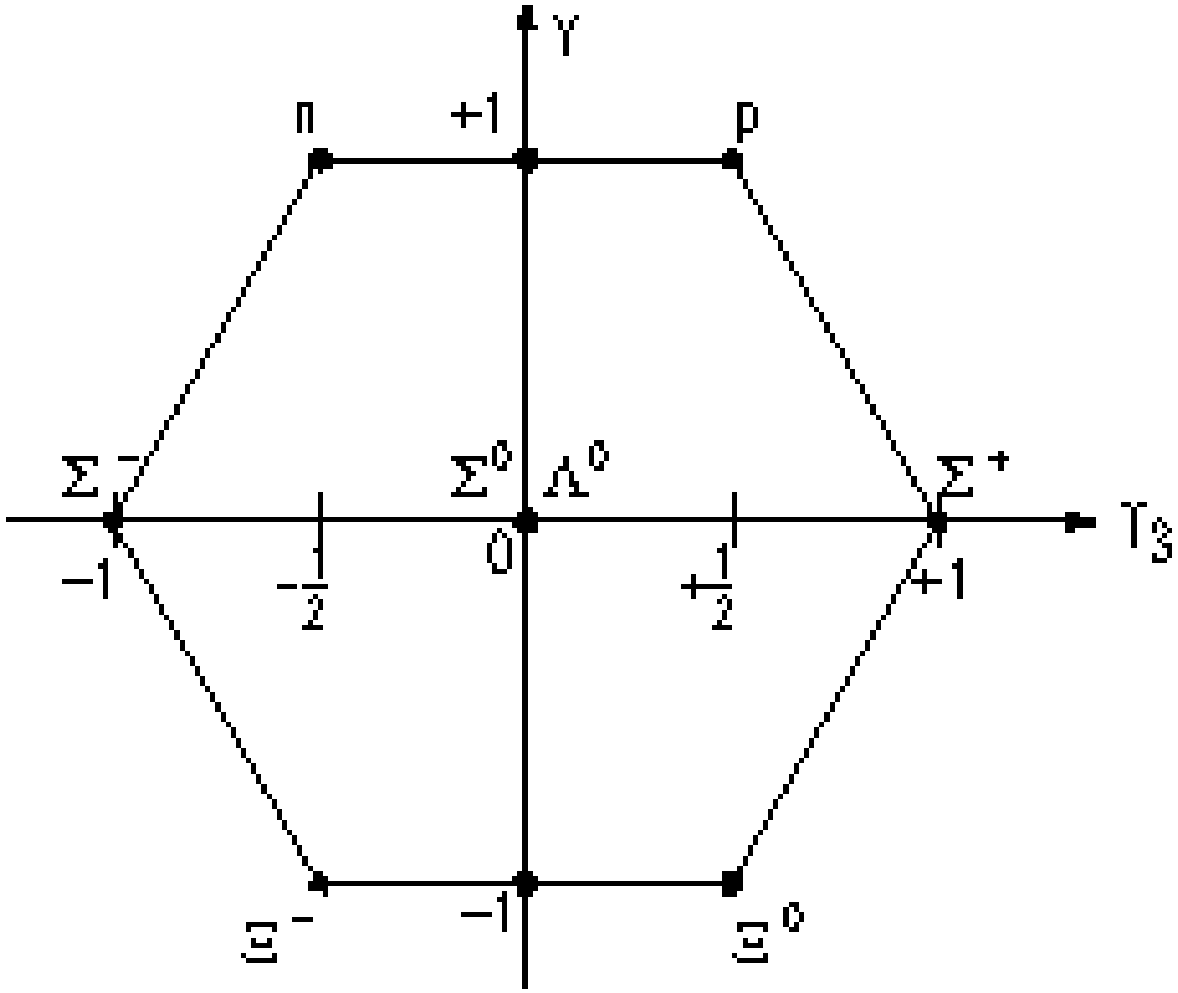

ELEMENTARY PARTICLES
Quarks
Leptons
Force Carriers
u
up
c
charm
t
top
γ
photon
d
down
s
strange
b
bottom
g
gluon
νe
electron neutrino
νμ
muon neutrino
ντ
tau neutrino
Z
Z boson
e
electron
μ
muon
τ
tau
W
W boson
I
II
III
Three Generations of Matter

octet of 0^- mesons

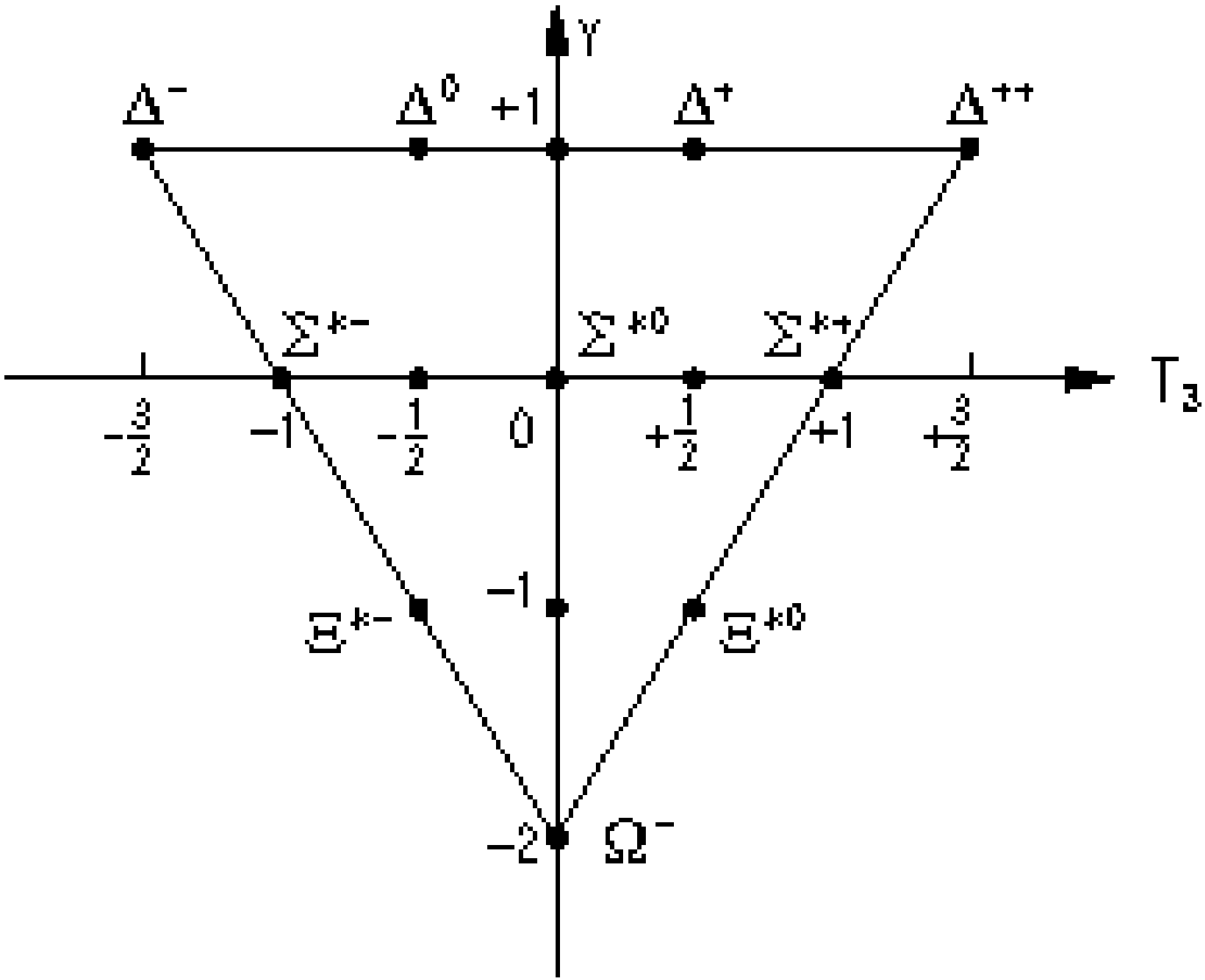


There is an octet of $1/2^+$ baryons:

octet of ½ $^+$baryons



decimet of $3/2^+$ baryons



Three quarks for Muster Mark!
Sure he has not got much of a bark
And sure any he has it's all beside the mark.

—James Joyce, *Finnegans Wake*[32]

Quark	B	T	T_3	σ	S	Y	Q
u	1/3	1/2	1/2	1/2	0	1/3	2/3
d	1/3	1/2	−1/2	1/2	0	1/3	−1/3
s	1/3	0	0	1/2	−1	−2/3	−1/3
$\overline{\text{u}}$	−1/3	1/2	−1/2	1/2	0	−1/3	−2/3
$\overline{\text{d}}$	−1/3	1/2	1/2	1/2	0	−1/3	1/3
$\overline{\text{s}}$	−1/3	0	0	1/2	1	2/3	1/3

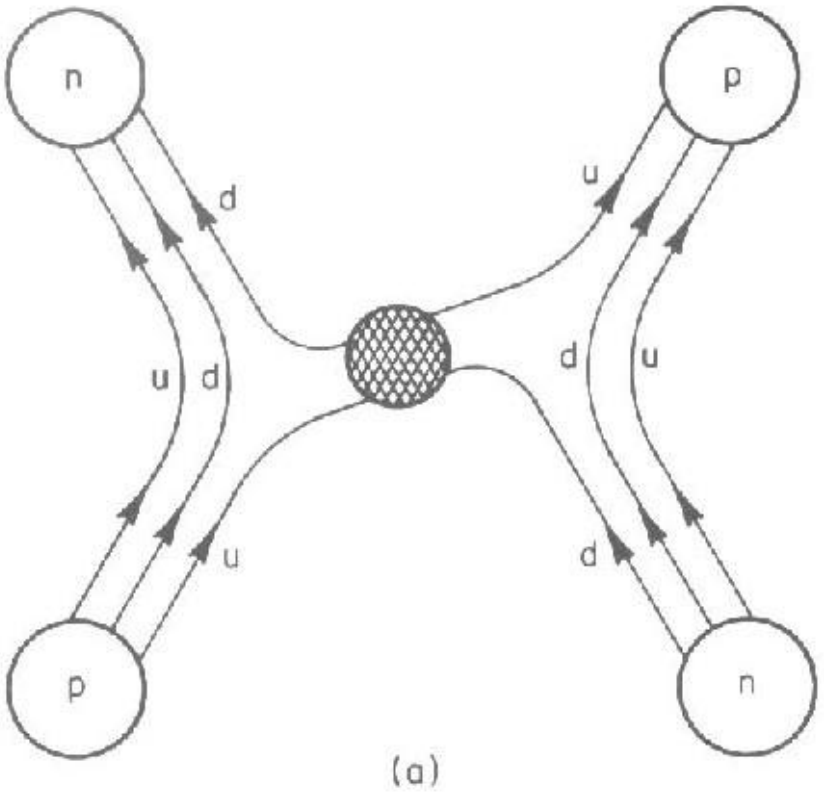
Quark Content	Spin 0	Spin 1	Spin 2
Octet:			
$u\bar{d}$	$\pi^+(140)$	$\rho^+(770)$	$A_2^+(1310)$
$(1/\sqrt{2})(u\bar{u}-d\bar{d})$	$\pi^0(135)$	$\rho^0(770)$	$A_2^0(1310)$
$\bar{u}d$	$\pi^-(140)$	$\rho^-(770)$	$A_2^-(1310)$
$u\bar{s}$	$K^+(494)$	$K^{*+}(892)$	$K_N^+(1420)$
$d\bar{s}$	$K^0(498)$	$K^{*0}(892)$	$K_N^0(1420)$
$\bar{d}s$	$\bar{K}^0(498)$	$\bar{K}^{*0}(892)$	$\bar{K}_N^0(1420)$
$\bar{u}s$	$K^-(494)$	$K^{*-}(892)$	$\bar{K}_N^-(1420)$
$(1/\sqrt{6})(u\bar{u}+d\bar{d}-2s\bar{s})$	$\eta(549)$	$\phi(1019)$	$f'(1514)$
Singlet:			
$(1/\sqrt{3})(u\bar{u}+d\bar{d}+s\bar{s})$	$\eta'(958)$	$\omega(784)$	$f(1270)$

The baryon octet:

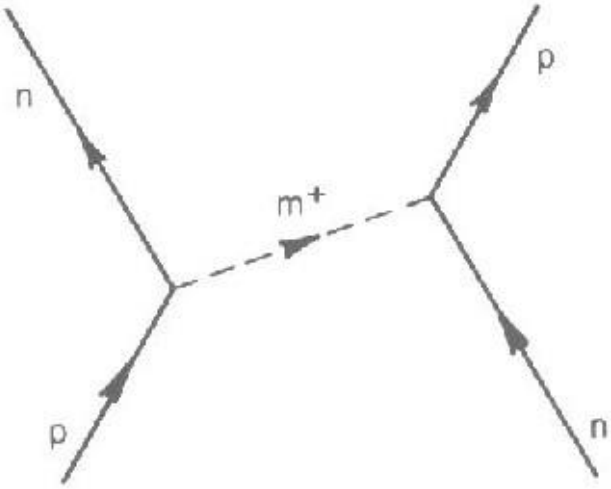
quarks:	T	particle:
uud	$1/2$	p
udd	$1/2$	n
uds	0	Λ^0
uus	1	Σ^+
uds	1	Σ^0
dds	1	Σ^-
uss	$1/2$	Ξ^0
dss	$1/2$	Ξ^-

The baryon decimet:

quarks:	T	particle:
uuu	$3/2$	Δ^{++}
uud	$3/2$	Δ^+
udd	$3/2$	Δ^0
ddd	$3/2$	Δ^-
uus	1	Σ^{*+}
uds	1	Σ^{*0}
dds	1	Σ^{*-}
uss	$1/2$	Ξ^{*0}
dss	$1/2$	Ξ^{*-}
sss	0	Ω^-



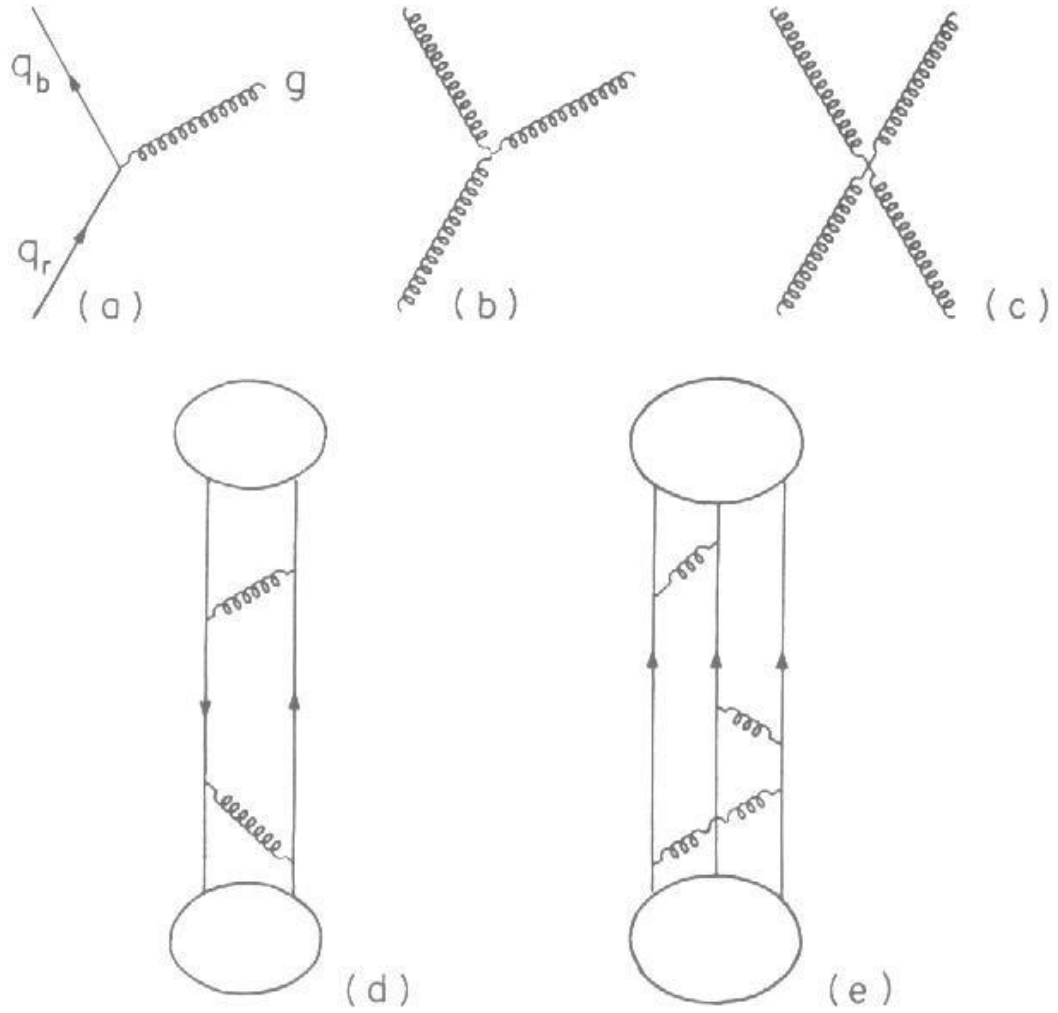
(a)



(b)

Yukawa

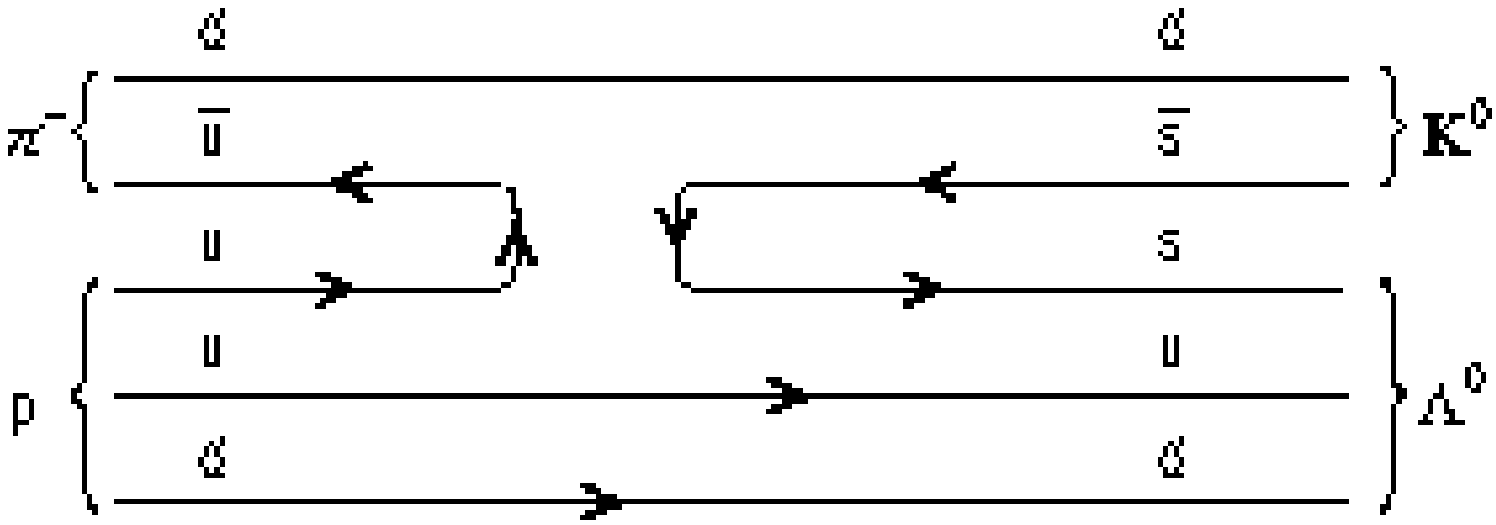
強交互作用



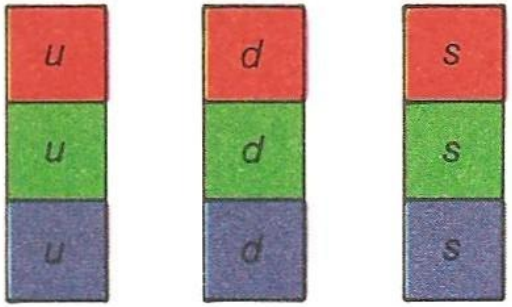
強交互作用

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0$$

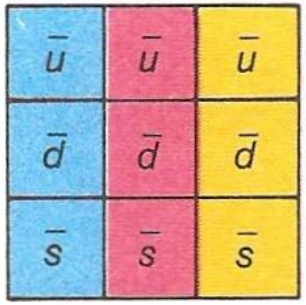
$$\bar{u}d + uud \rightarrow d\bar{s} + uds$$



FERMIONS (SPIN = ½)

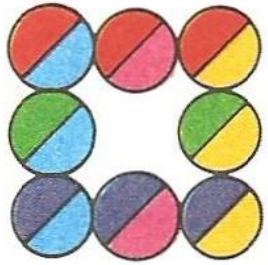


QUARKS

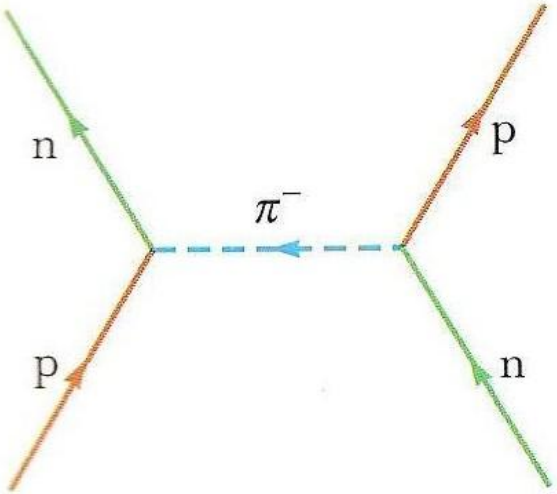


ANTIQUARKS

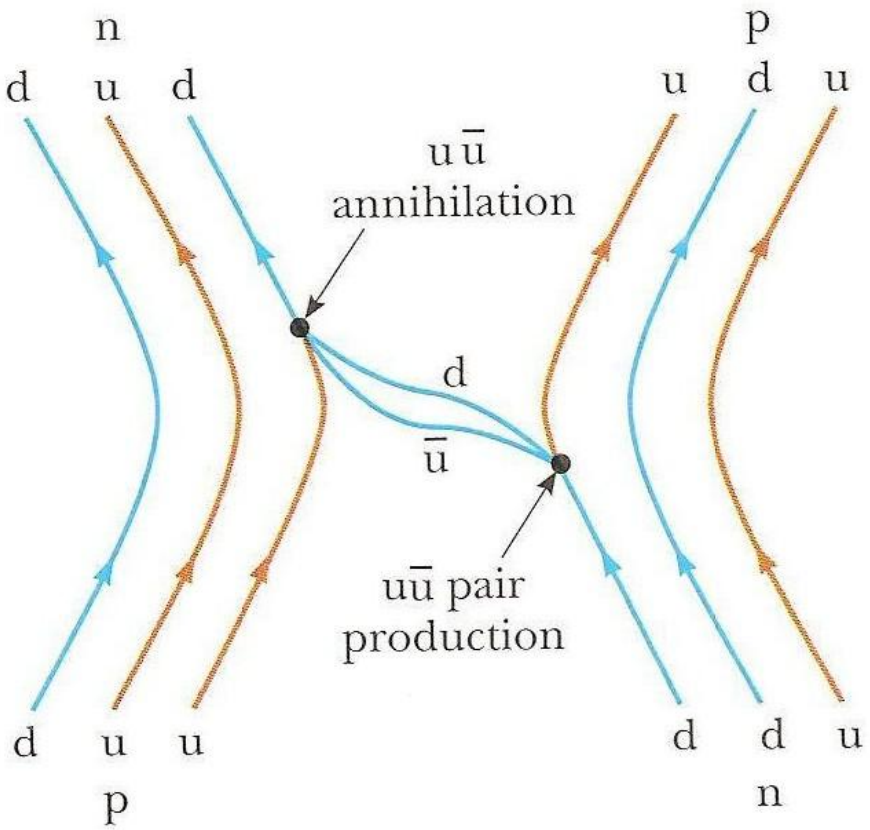
GAUGE VECTOR BOSONS (SPIN = 1)



GLUONS



(a) Yukawa's pion model



(b) Quark model

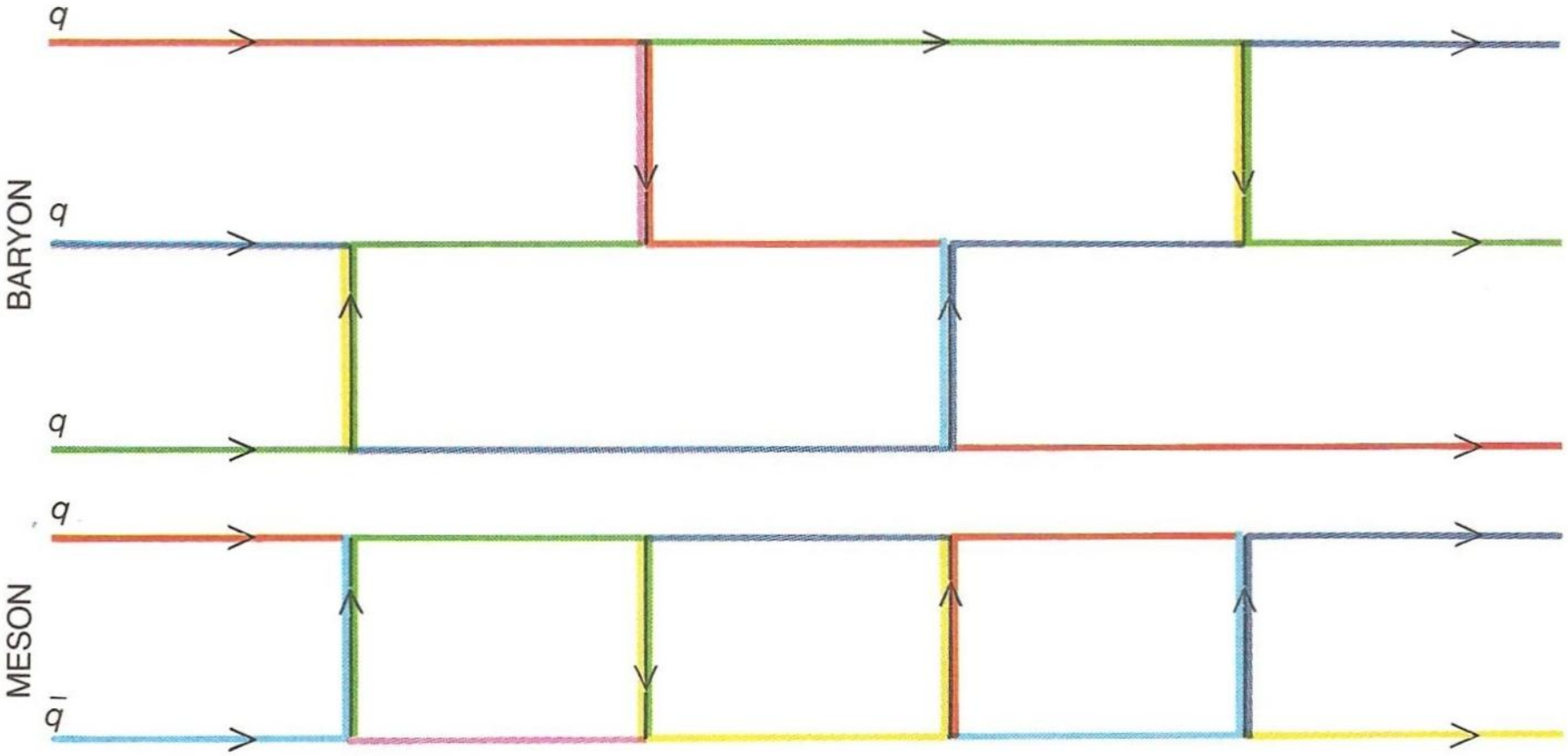
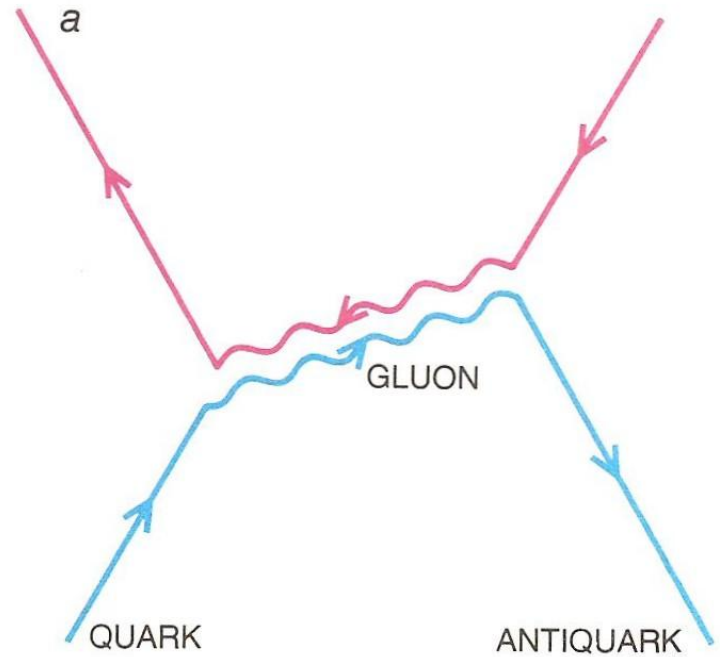
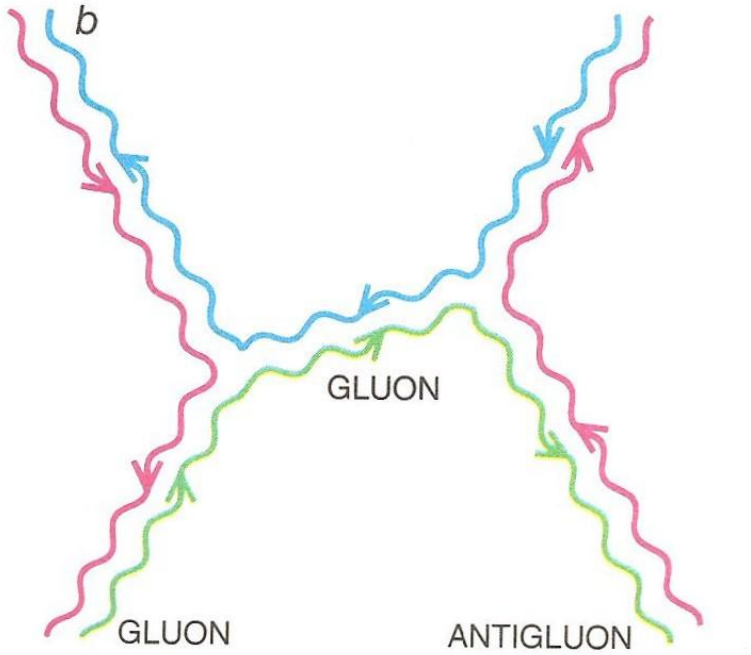
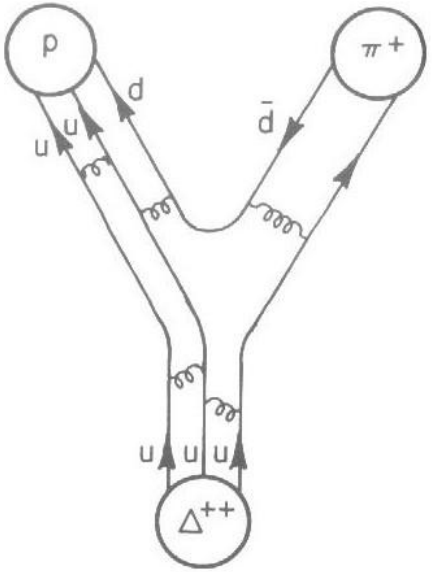


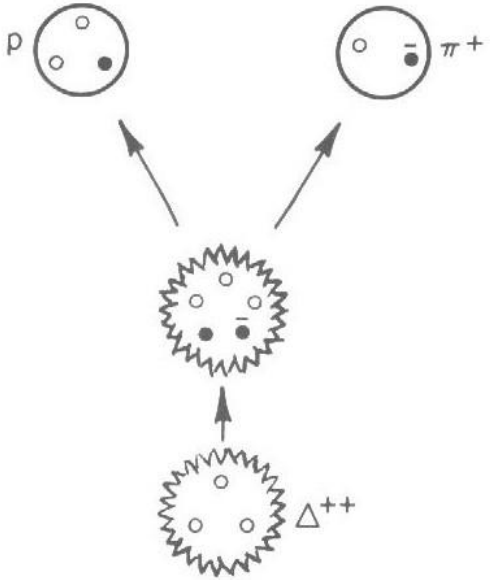
Figure 50 EXCHANGE OF GLUONS maintains a baryon (made up of three quarks) or a meson (made up of a quark and antiquark) colorless. In this process the total color of the particles is conserved.


a
GLUON
QUARK
ANTIQUARK

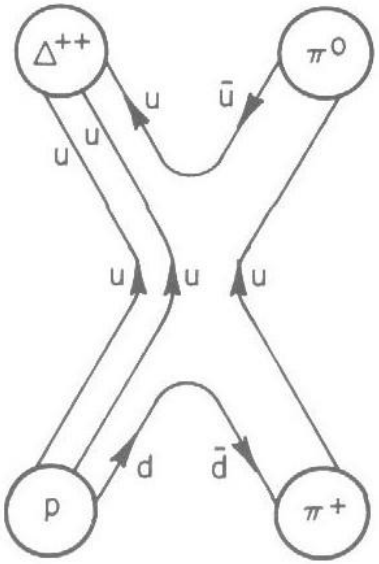

b
GLUON
GLUON
ANTIGLUON



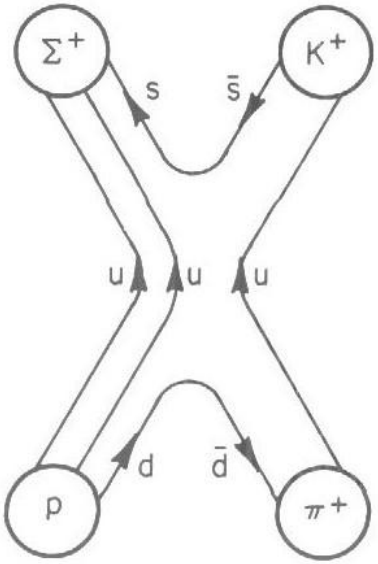
(a)



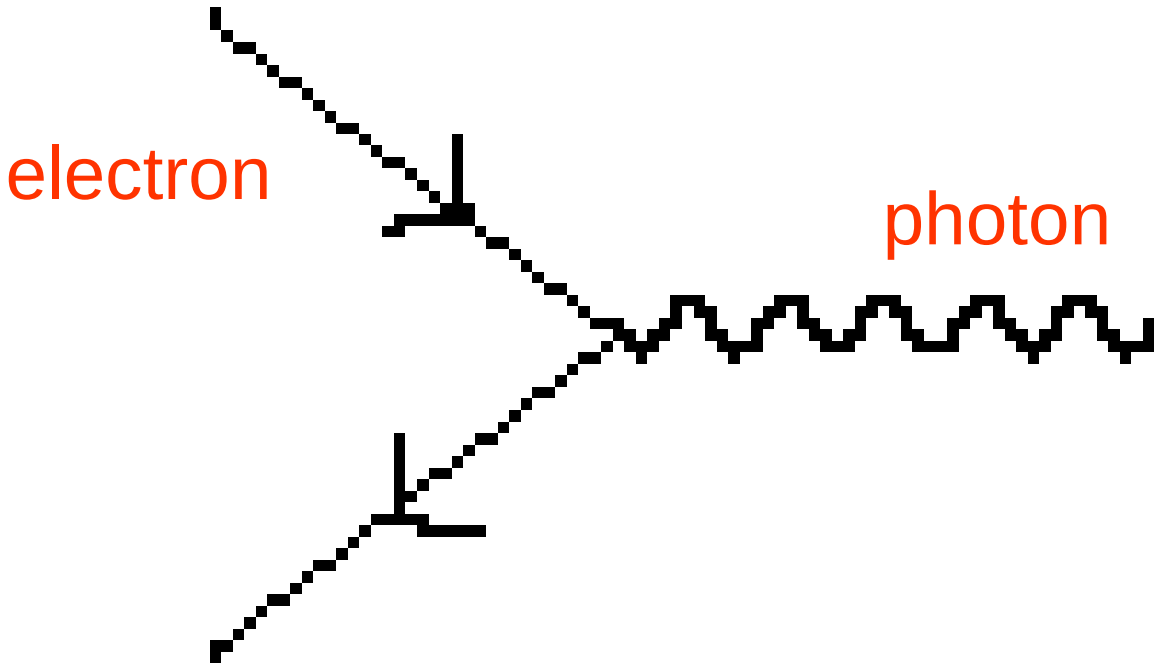
(b)



(c)



(d)

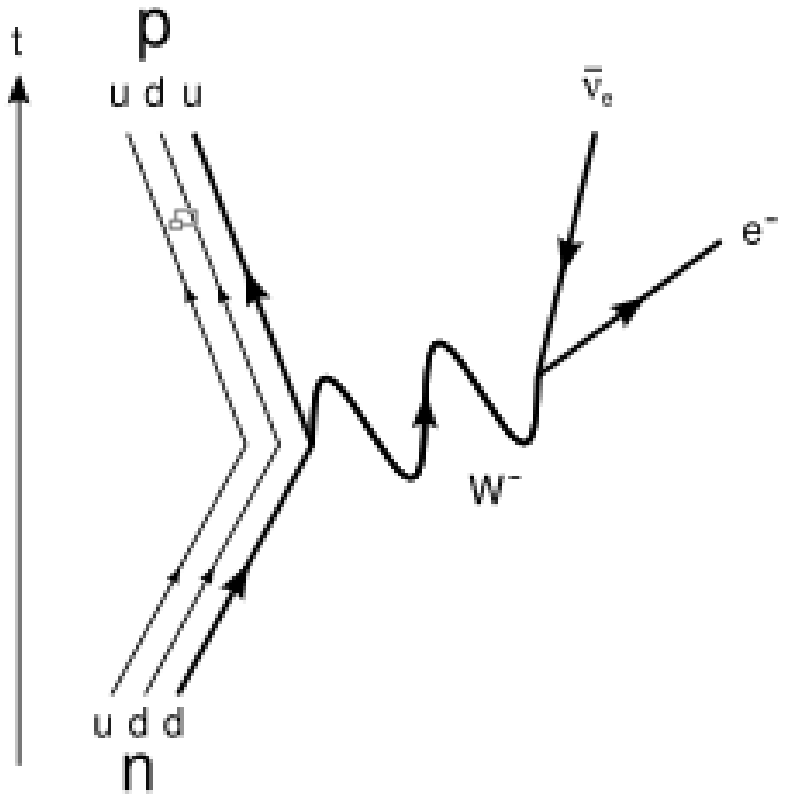


電磁交互作用

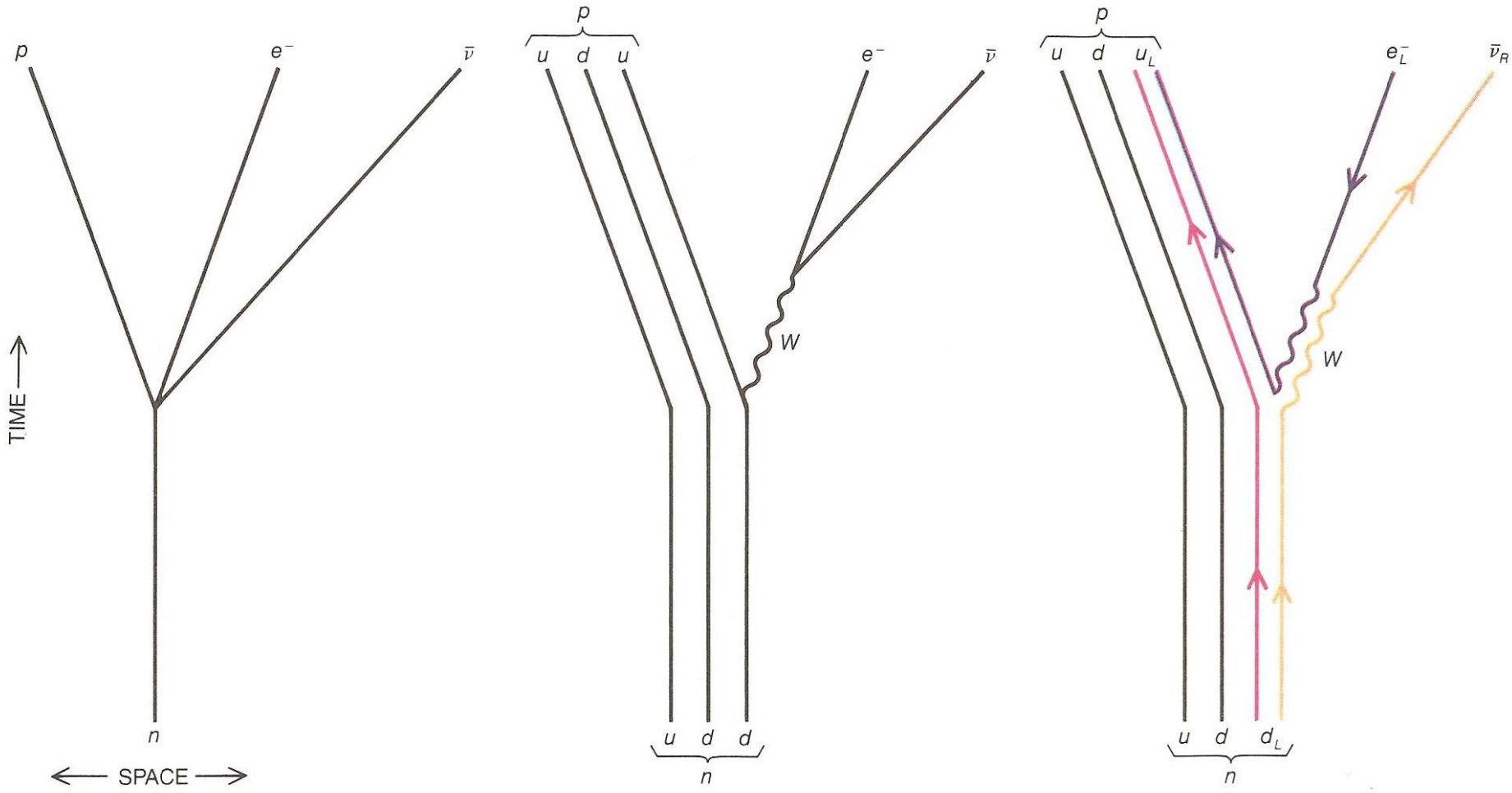
$$\begin{aligned} \pi^0 &\rightarrow \gamma + \gamma \\ (1/2)(u\bar{u} - d\bar{d}) &\rightarrow \gamma + \gamma \end{aligned}$$

$n \rightarrow p + e + \nu$

中子β衰變　　β decay

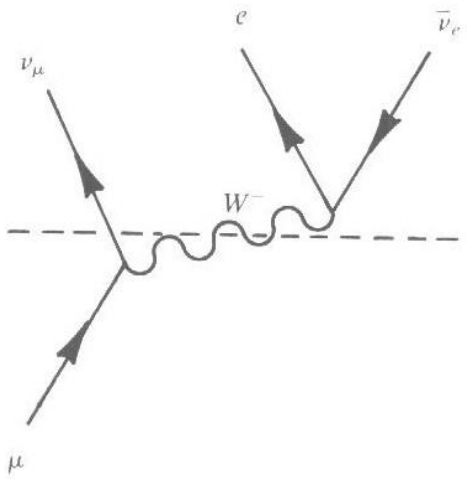


弱交互作用

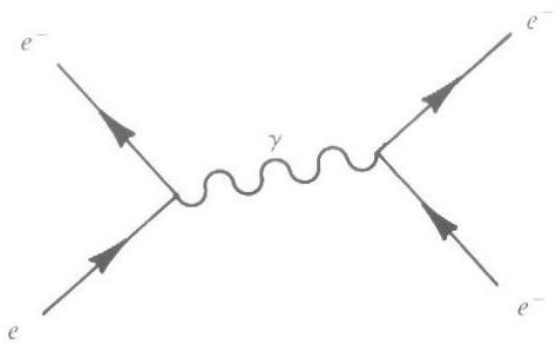


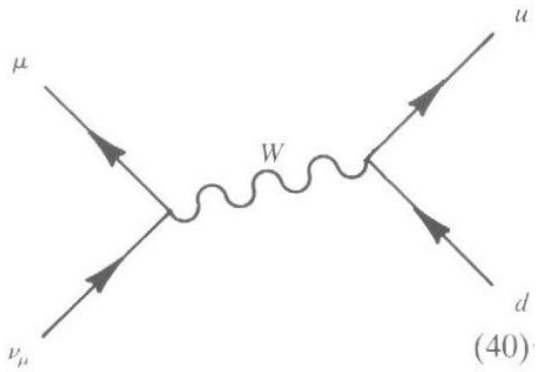
$W \mapsto$ lepton + antilepton

$W \mapsto$ quark + antiquark.



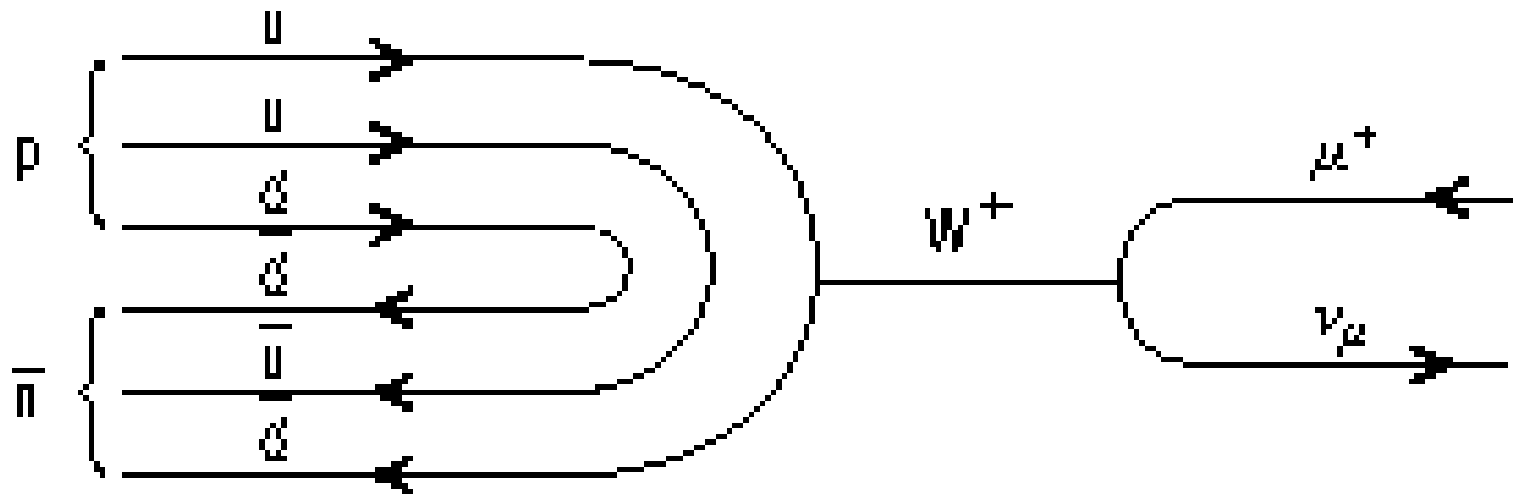
弱交互作用





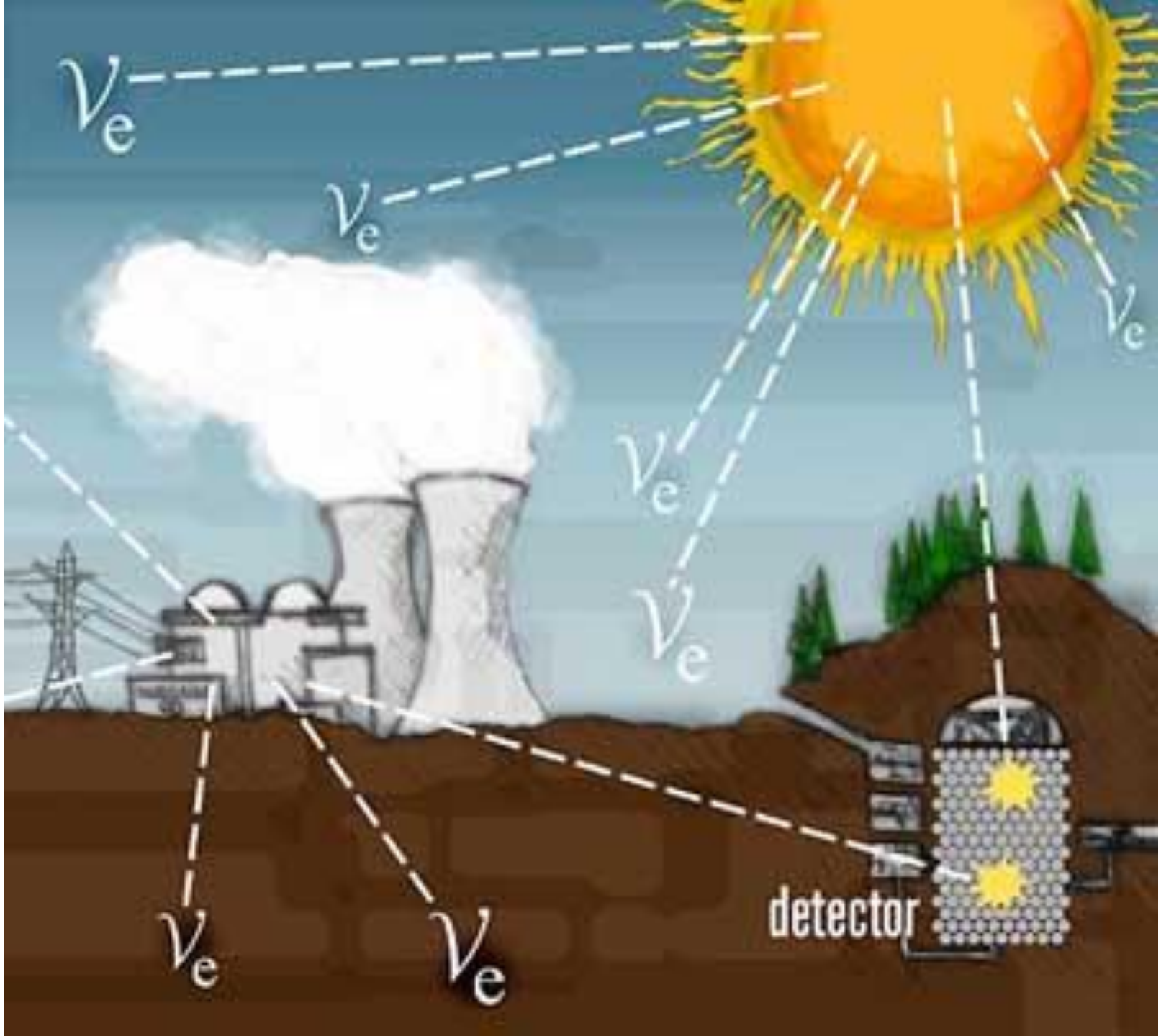
(40)

$p + \bar{n} \rightarrow$ leptons

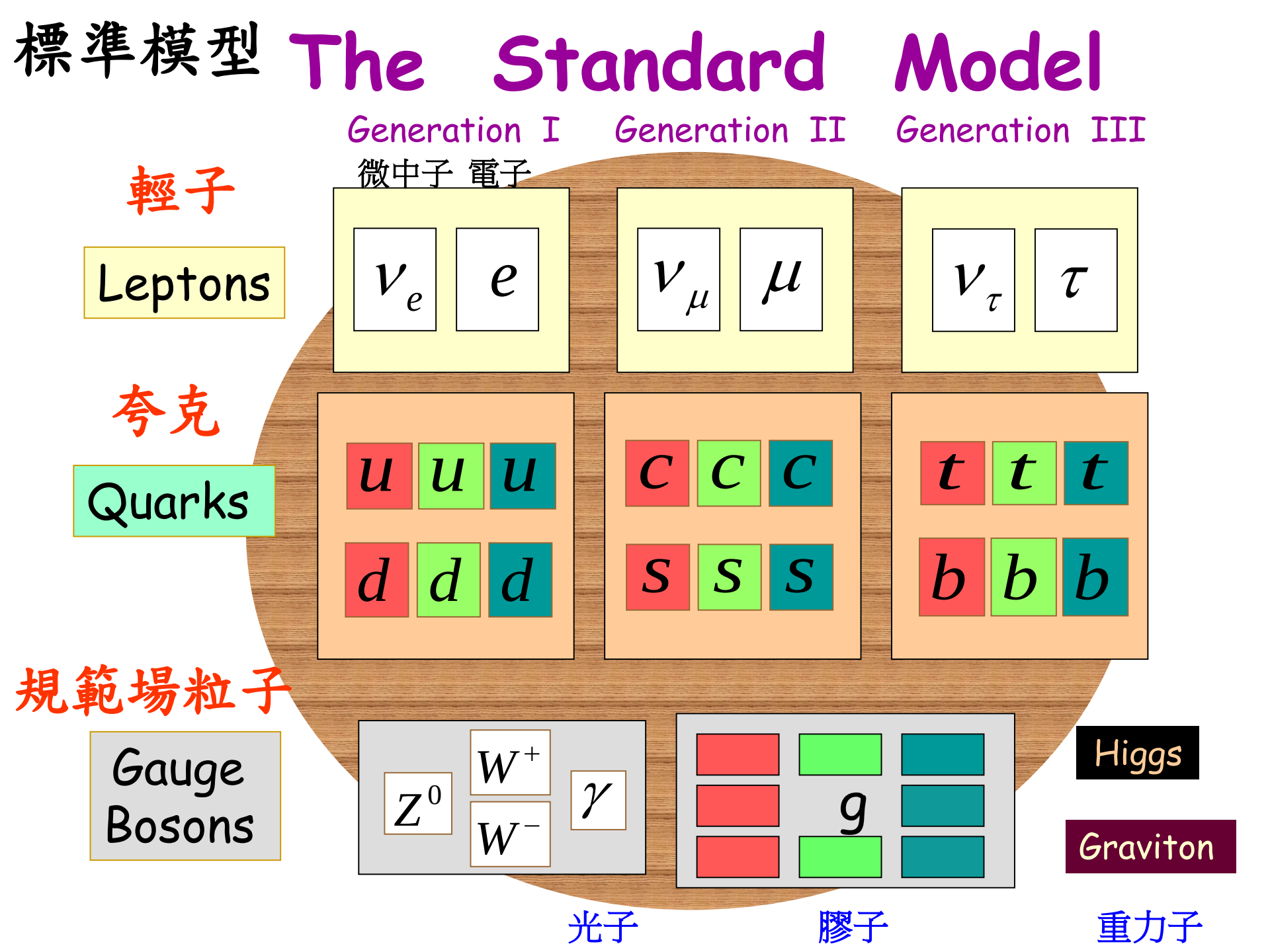


$W \mapsto$ lepton + antilepton

$W \mapsto$ quark + antiquark.


ν_e
ν_e
ν_e
ν_e
ν_e
ν_e
ν_e
detector

標準模型 The Standard Model



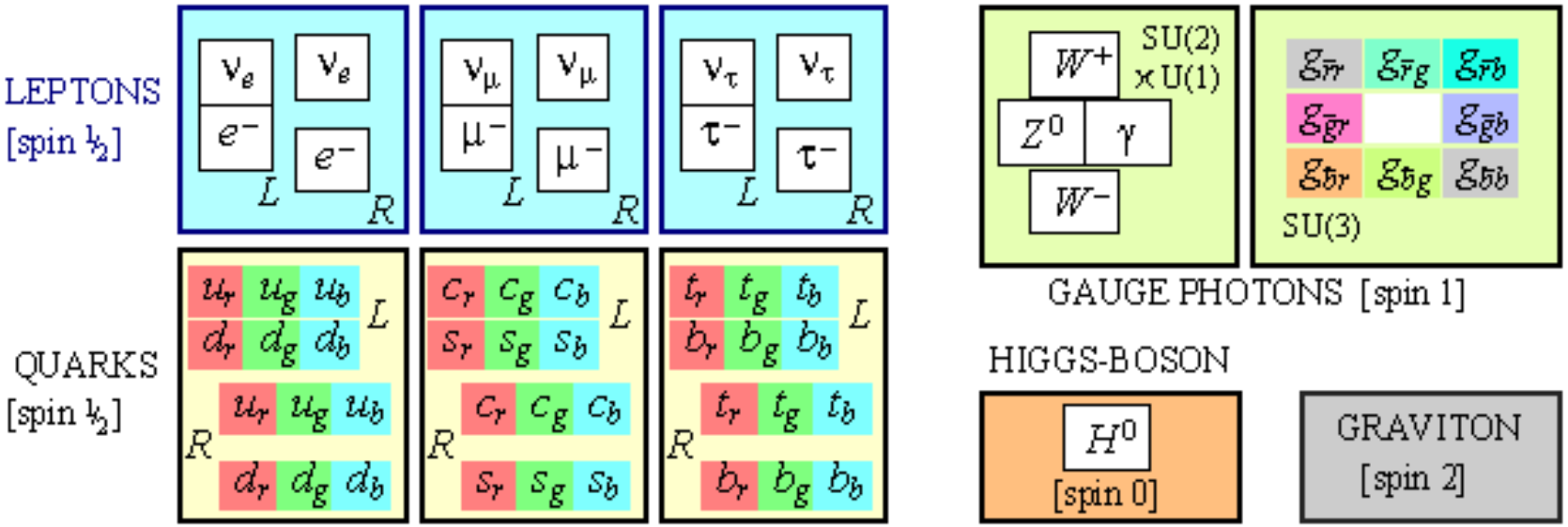


Figure 1: The Standard Model of the Elementary Particles

The structure of the field force lines is sketched in Fig. 1a), where the distance dependence is also shown (b). At small distances, all forces are inversely proportional to the distance squared. At large distances, the electro-magnetic forces continue to drop off like $1/r^2$, the weak force drops off exponentially, and the strong force tends to a constant instead of going to zero.

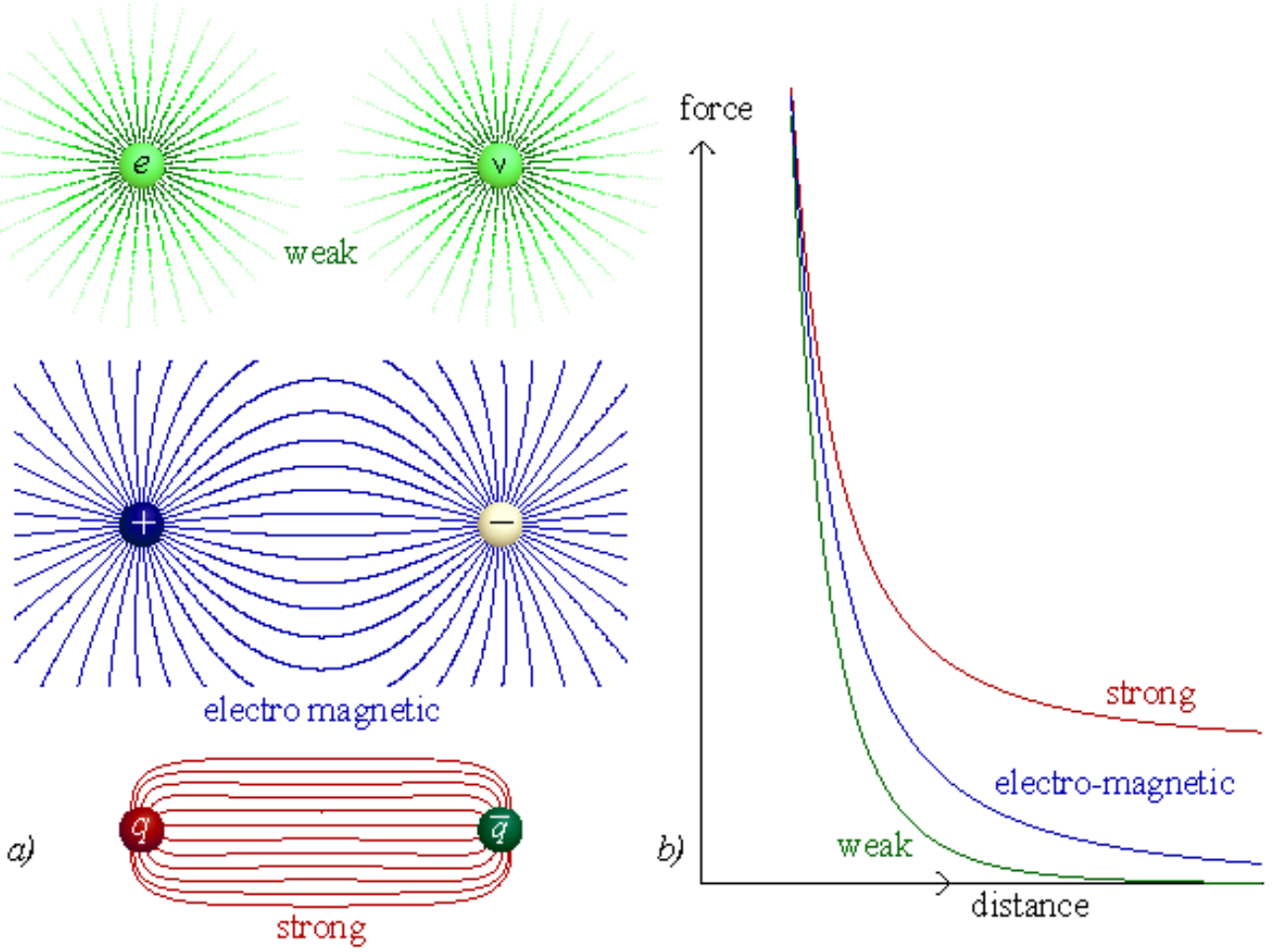


Figure 1: Forces can vary with distance in three fundamentally different ways. *a*) The force lines, *b*) Force depending on distance.

But further information from experimental observations was needed. Experiments told us that particles are subject to different kinds of forces. One has:

— The electromagnetic force. It is characterized by Maxwell's equations, discovered in the 19^{th} century by J.C. Maxwell. The range of this force is infinite; electric and magnetic fields can stretch across interstellar space while the force is also felt at distance scales as tiny as that of the subatomic particles.

The solutions of these field equations can form waves that always propagate at the speed of light. Indeed, they were quickly recognized to describe light itself. After subjecting these fields to the laws of quantum mechanics, it was found that the energy quanta of these waves are to be identified as particles, the so-called photons. Another force is

— The strong force. The strong force dominates inside the nuclei of atoms, where it is the cause of a strong attraction between the constituents, thus providing the nuclei of a quite sturdy structure. This force was first thought to act only over short distances, but this picture had to be corrected. The strong force remains equally strong at large distances, so much so that particles that are directly sensitive to this strong force, such as the *quarks*, can never separate very far; they keep sticking together and this way they actually screen this force from the outside world. This phenomenon is called "permanent confinement".

The strong force however acts only in a particular, symmetric way. If one looks in the asymmetric directions, one discerns a third type of force,

— The weak force. This force is only noticeable in situations where the other forces have no effect, for instance, they cause transitions of particles into other types of particles. This force is actually not much weaker than electro-magnetism, but it looks weaker, because its *range* is truly short.

— The electromagnetic force. It is characterized by Maxwell's equations, discovered in the 19^{th} century by J.C. Maxwell. The range of this force is infinite; electric and magnetic fields can stretch across interstellar space while the force is also felt at distance scales as tiny as that of the subatomic particles.

The solutions of these field equations can form waves that always propagate at the speed of light. Indeed, they were quickly recognized to describe light itself. After subjecting these fields to the laws of quantum mechanics, it was found that the energy quanta of these waves are to be identified as particles, the so-called photons. Another force is

— The strong force. The strong force dominates inside the nuclei of atoms, where it is the cause of a strong attraction between the constituents, thus providing the nuclei of a quite sturdy structure. This force was first thought to act only over short distances, but this picture had to be corrected. The strong force remains equally strong at large distances, so much so that particles that are directly sensitive to this strong force, such as the *quarks*, can never separate very far; they keep sticking together and this way they actually screen this force from the outside world. This phenomenon is called "permanent confinement".

— The weak force. This force is only noticeable in situations where the other forces have no effect, for instance, they cause transitions of particles into other types of particles. This force is actually not much weaker than electro-magnetism, but it looks weaker, because its *range* is truly short.









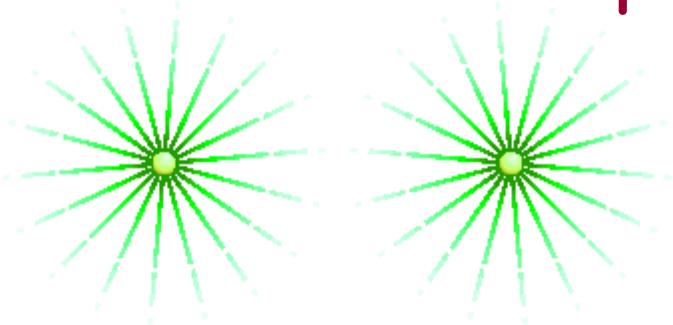
	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and W^+ W^-	Quarks and Gluons

重力	弱力	電磁力	強力
一切粒子	夸克與輕子	夸克與帶電輕子	夸克與膠子
		W 粒子	

How does force depend on distance ?

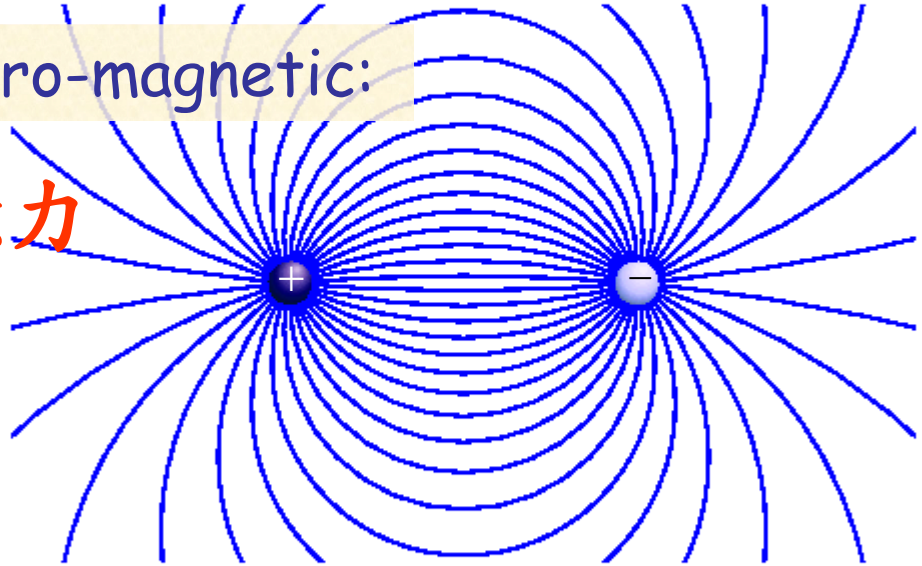
Weak:

弱力



Electro-magnetic:

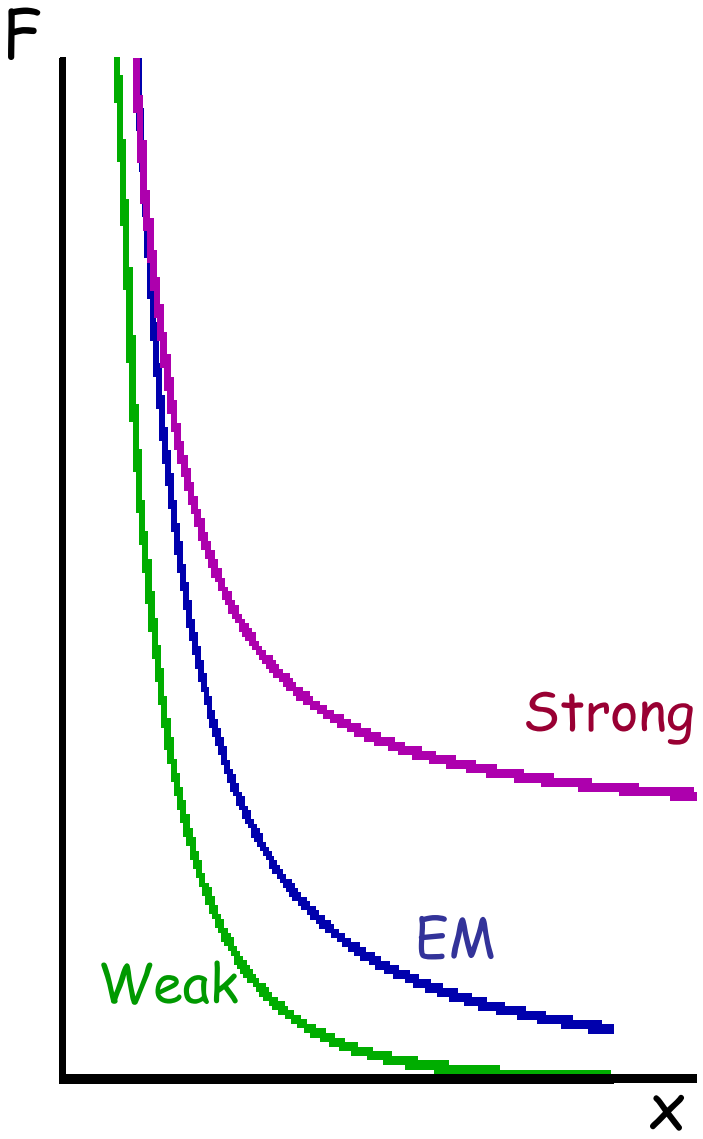
電磁力



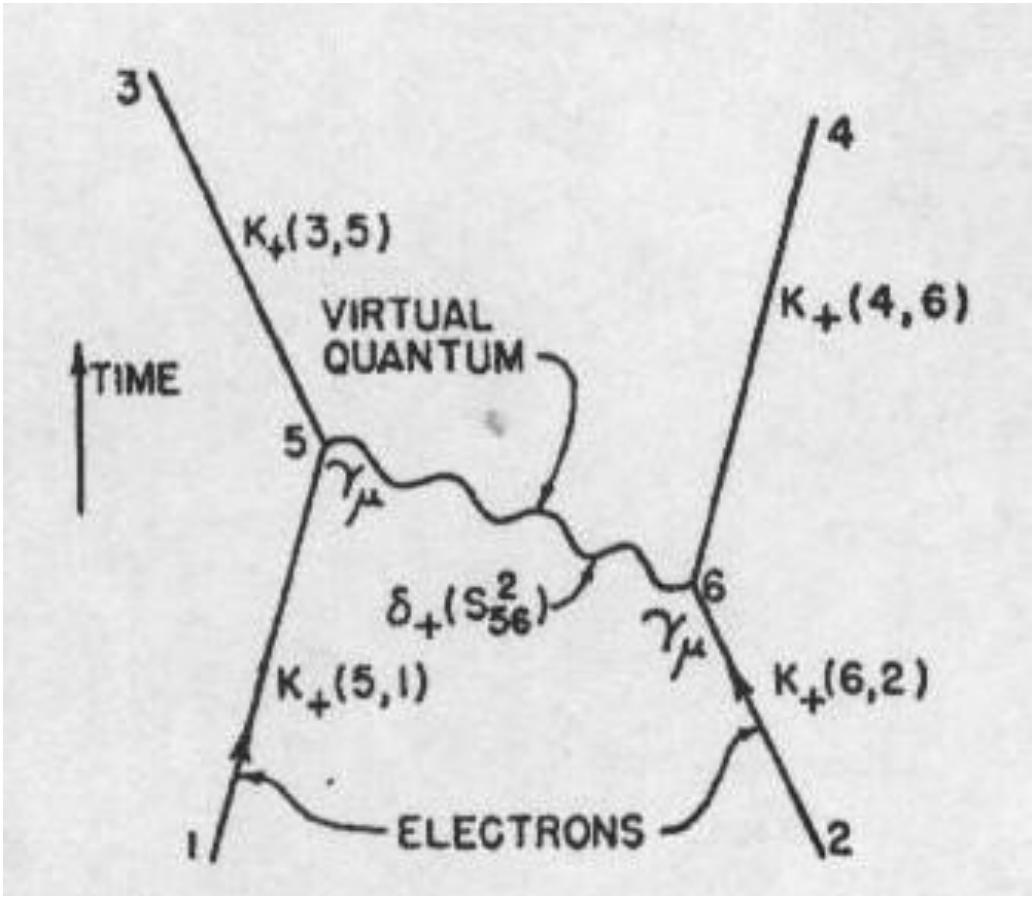
Strong:

強力





SM



兩個電子因交換虛光子而有電磁交互作用

兩個夸克因交換膠子而有強交互作用

兩個電子因交換重力子而有重力交互作用





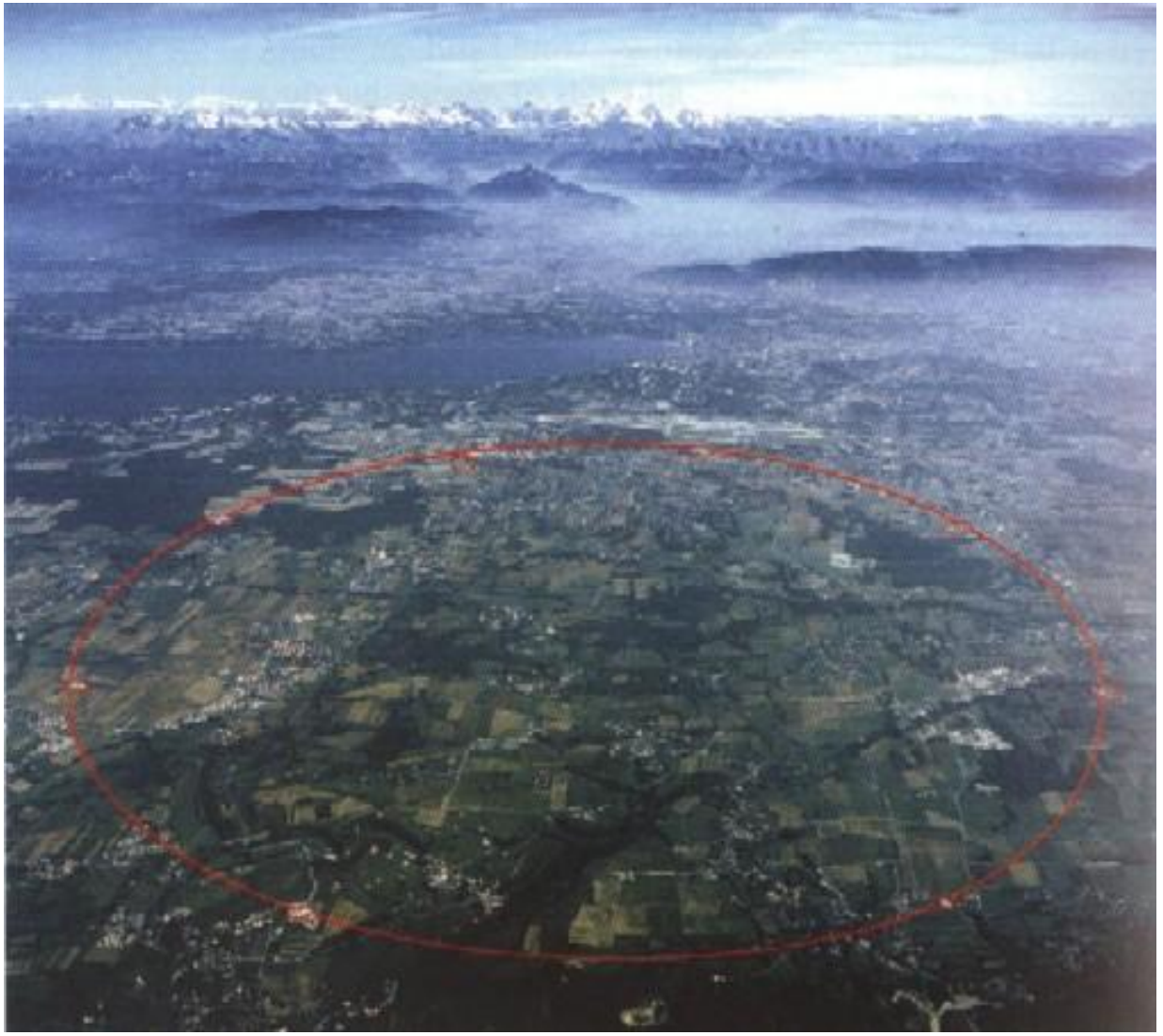
Fermilab is home to the Tevatron, the world's highest-energy particle accelerator.

Four miles in circumference, the Tevatron is housed in a tunnel about 30 feet below the big ring you see in this aerial view of the laboratory. We use a series of accelerators to send particles racing around the Tevatron at 99.9999 percent of the speed of light in a vacuum. The particles complete the four-mile course nearly 50 thousand times a second.



To see these tiny particles, we use collider detectors about the size of small apartment buildings. Fermilab's two collider detectors--CDF and DZero--are about four stories high and weigh some 5,000 tons (10 million pounds) each. The particle collisions occur in the center of the detectors, which are crammed with electronic instrumentation.

DZero Collider Detector



Aerial view of the **Geneva**, Switzerland area, with the **27-kilometer** path of the **LHC tunnel** outlined in red. *Image © CERN*

Large Hadron Collider

LHC

(大強子對撞機)

Symmetry 對稱

Spontaneous Symmetry Breaking 對稱破缺

不同領域之間的會通

$1\text{TeV} = 10^{12}\ \text{eV}$

7 TeV proton + 7 Tev proton

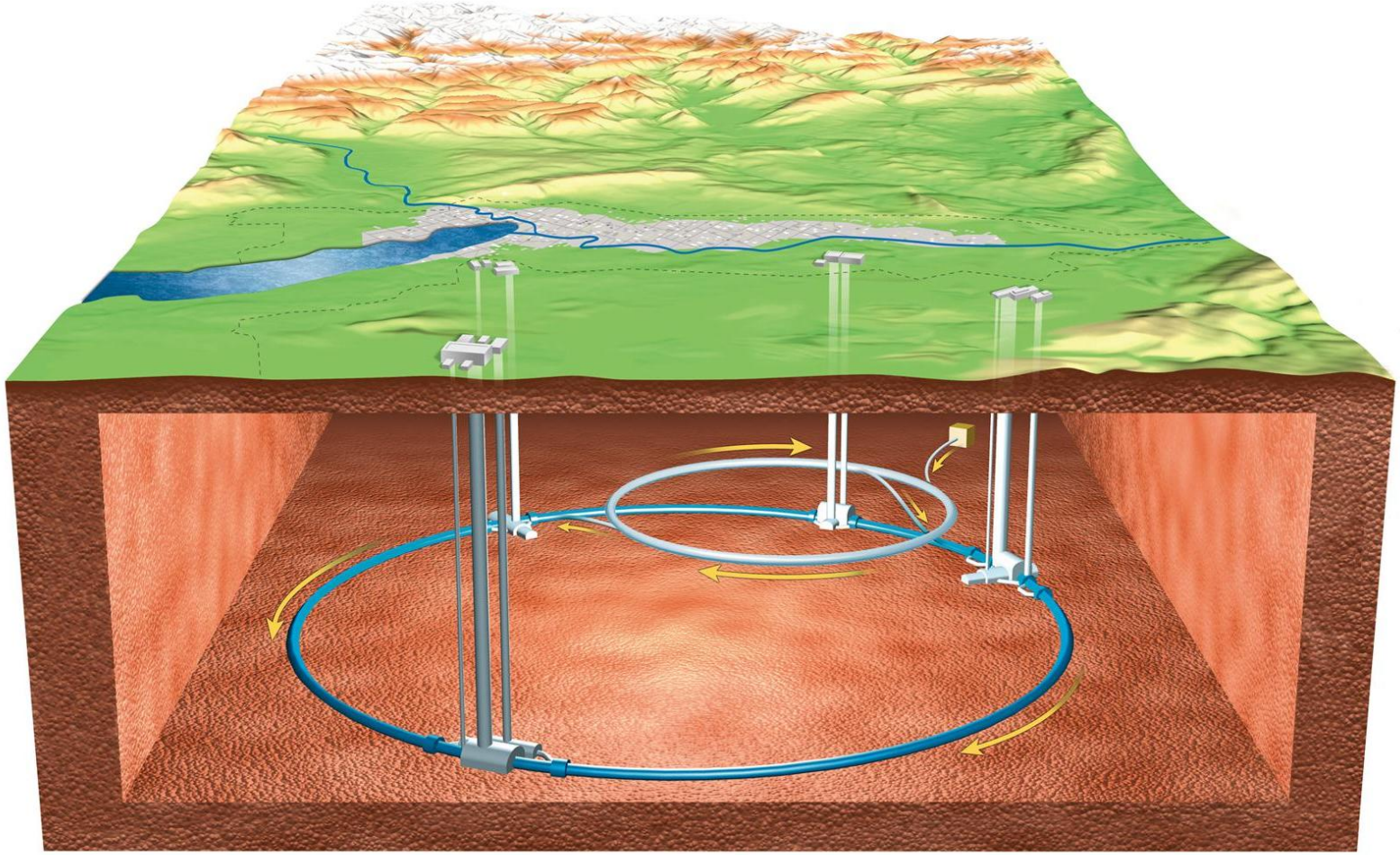
$M_{proton} = 0.938\ \text{GeV}$ $1\text{GeV} = 10^{9}\ \text{eV}$

7 TeV = 7000 GeV

Speed of proton = 0.999999991C !!!

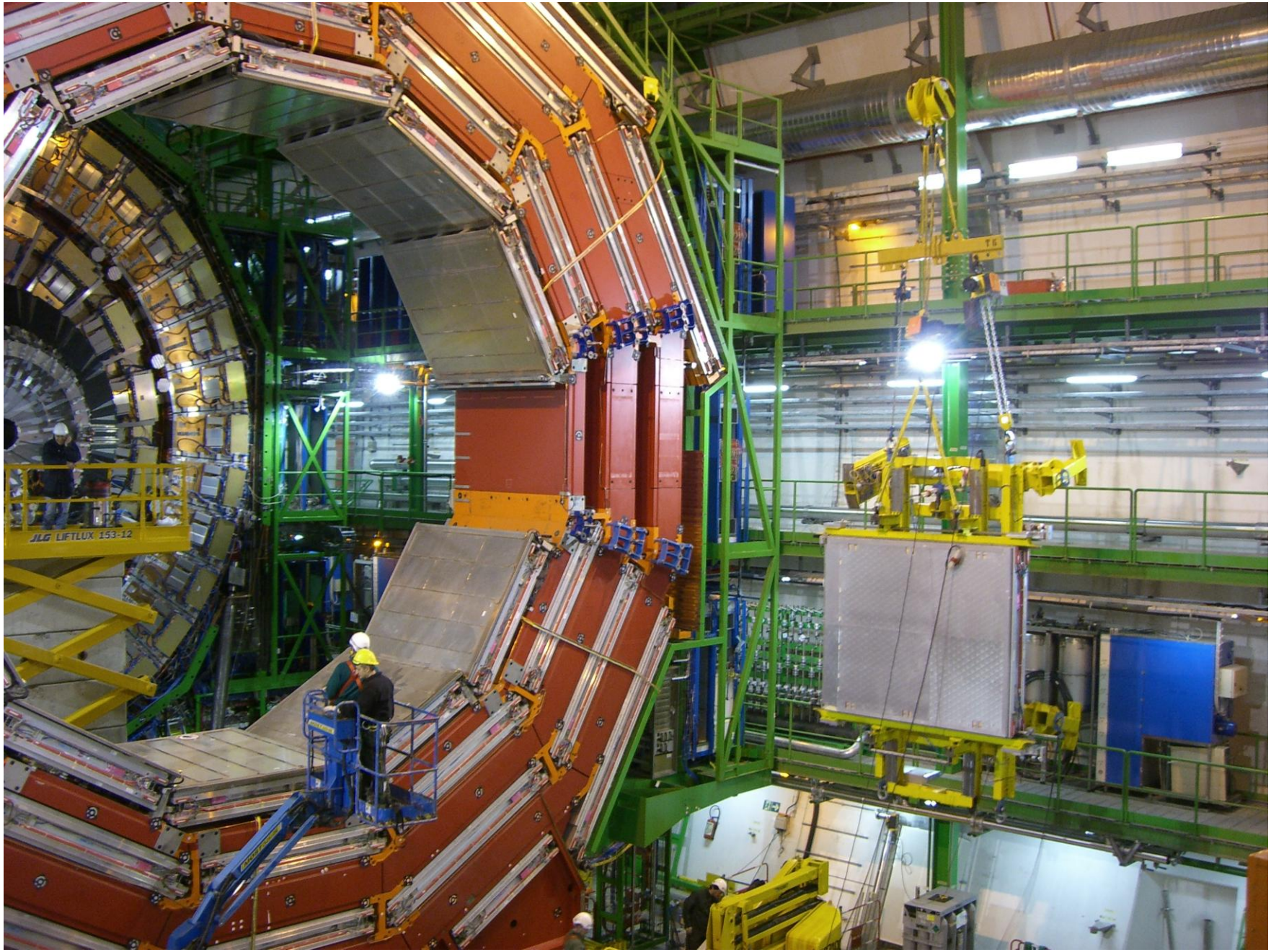
9×10^{-5} sec

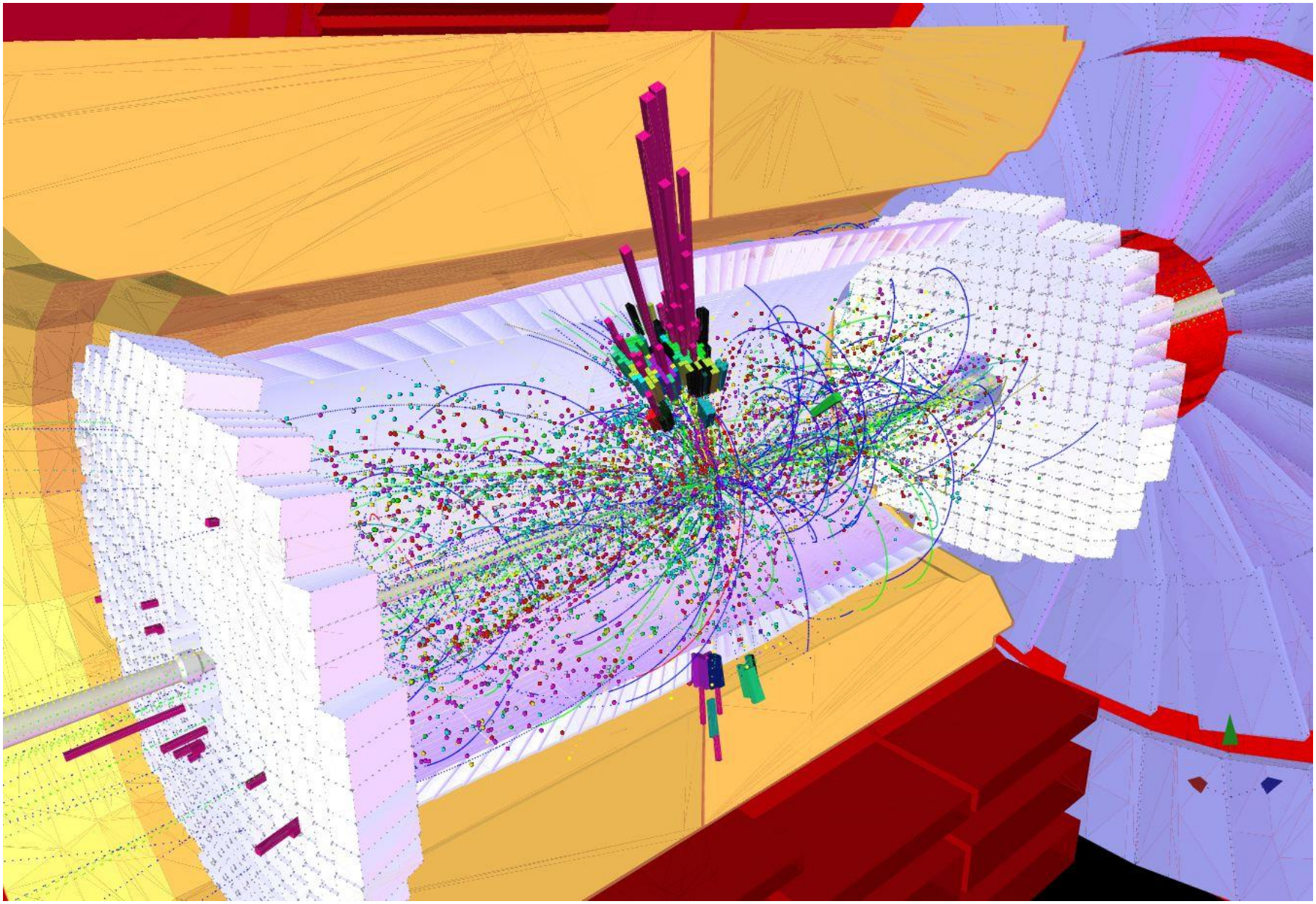




This computer-generated image shows the location of the 27-km LHC tunnel (in blue) on the Swiss-France border. The four main experiments (ALICE, ATLAS, CMS, and LHCb) are located in underground caverns connected to the surface by 50 m to 150 m pits. Part of the pre-acceleration chain is shown in grey.



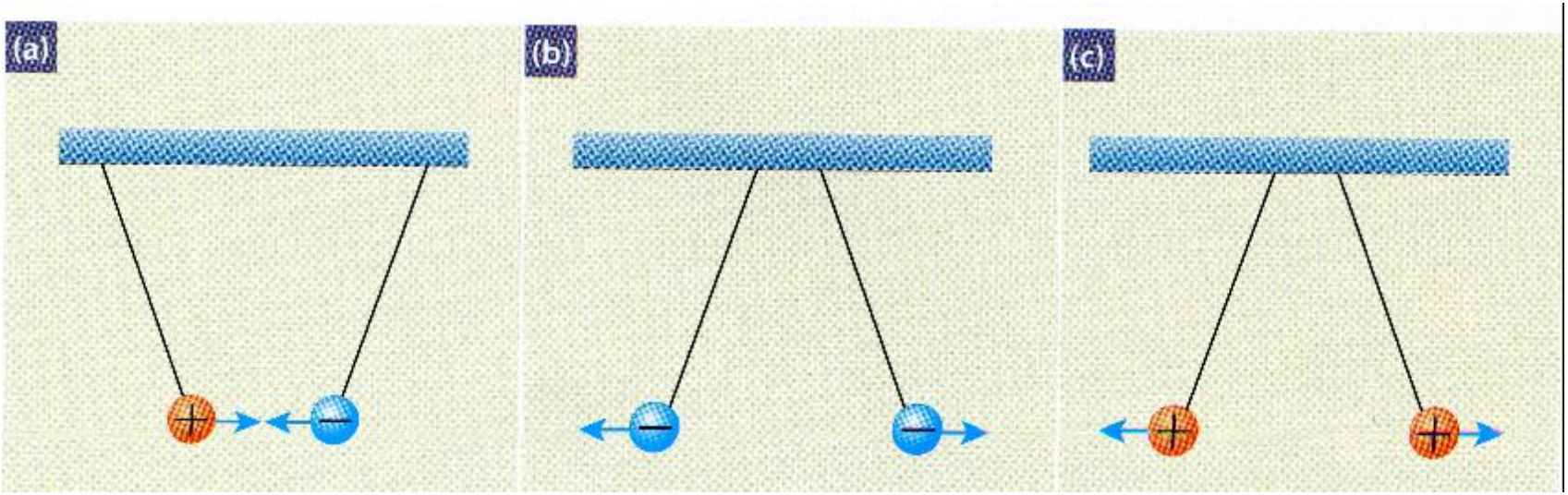

JLG LIFTLUX 153-12



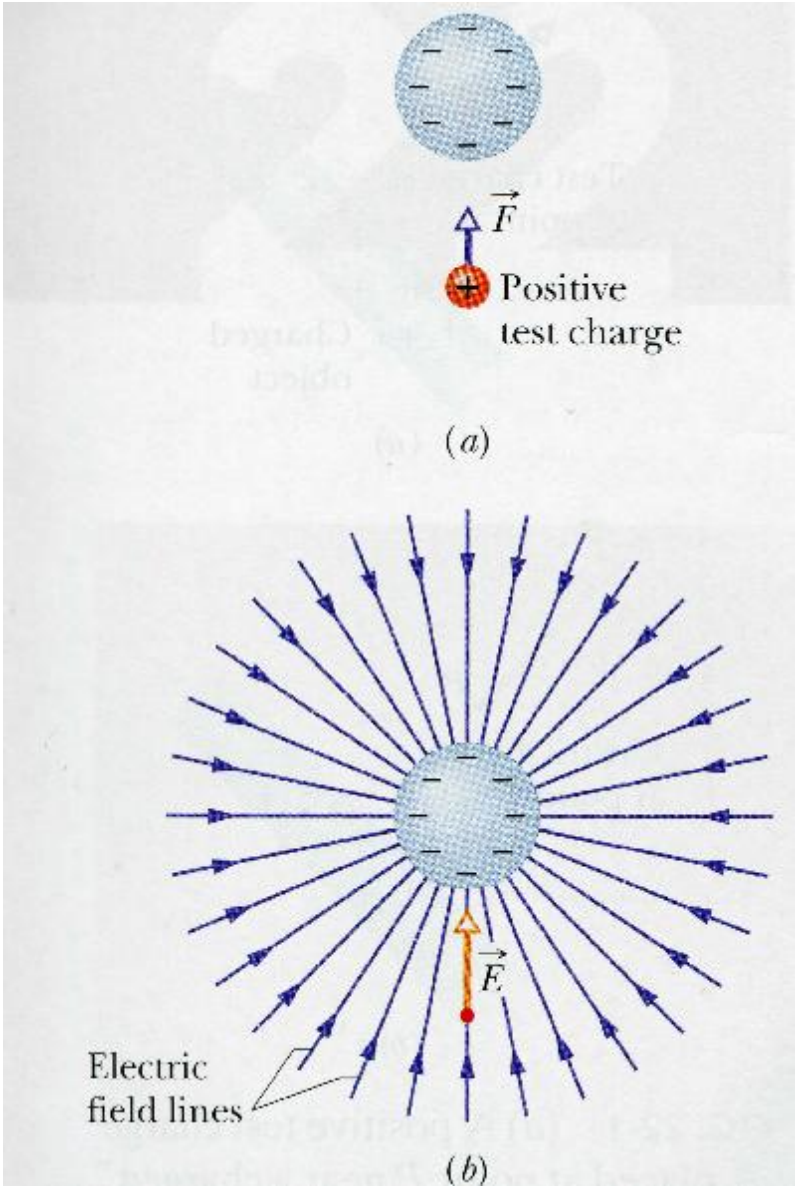
時空是舞台

基本粒子是舞台上的演員

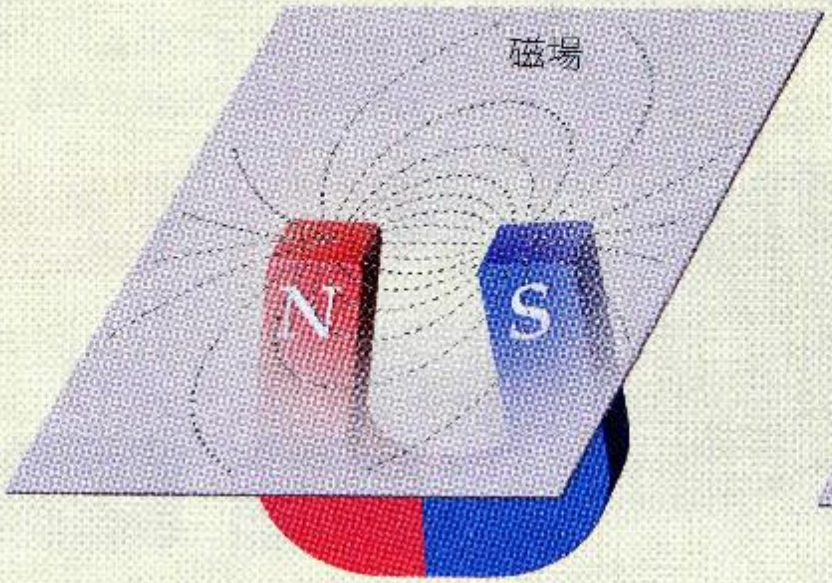
它們會彼此交談或變換身分



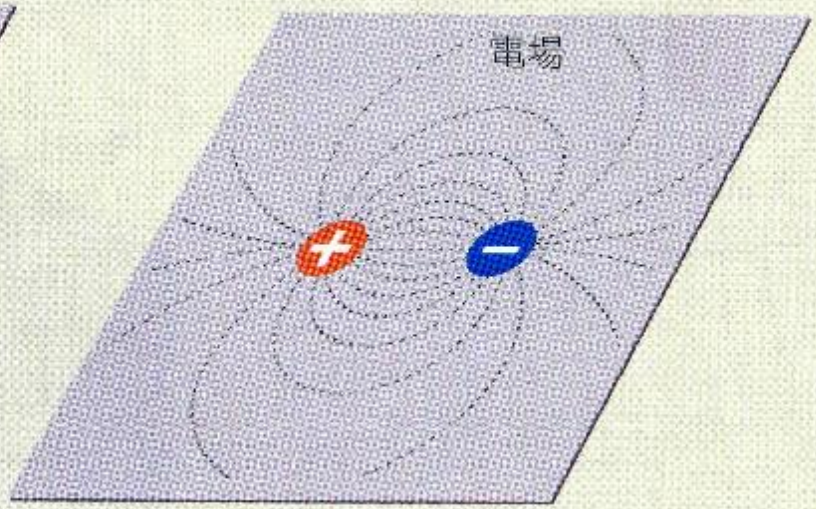
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

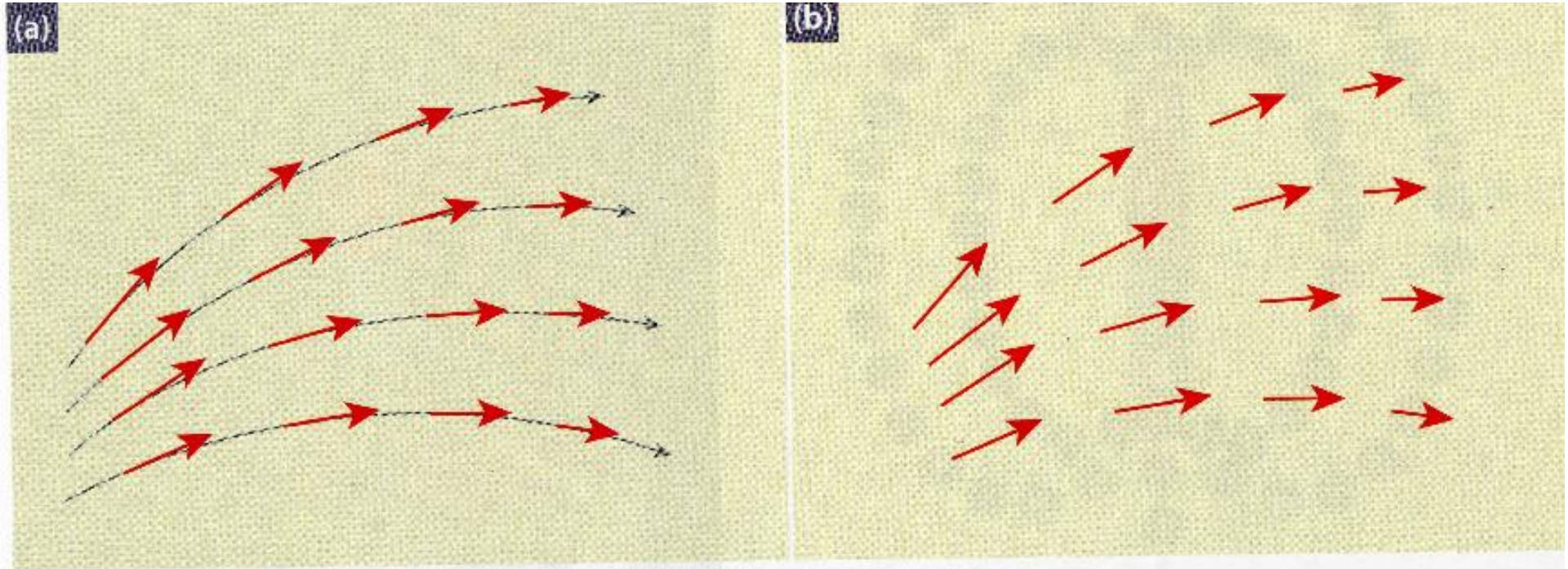

$\vec{F}$
Positive
test charge
(a)
$\vec{F}$
Electric
field lines
(b)

(a)兩異性磁極形成的磁場。



(b)兩異性電荷形成的電場。



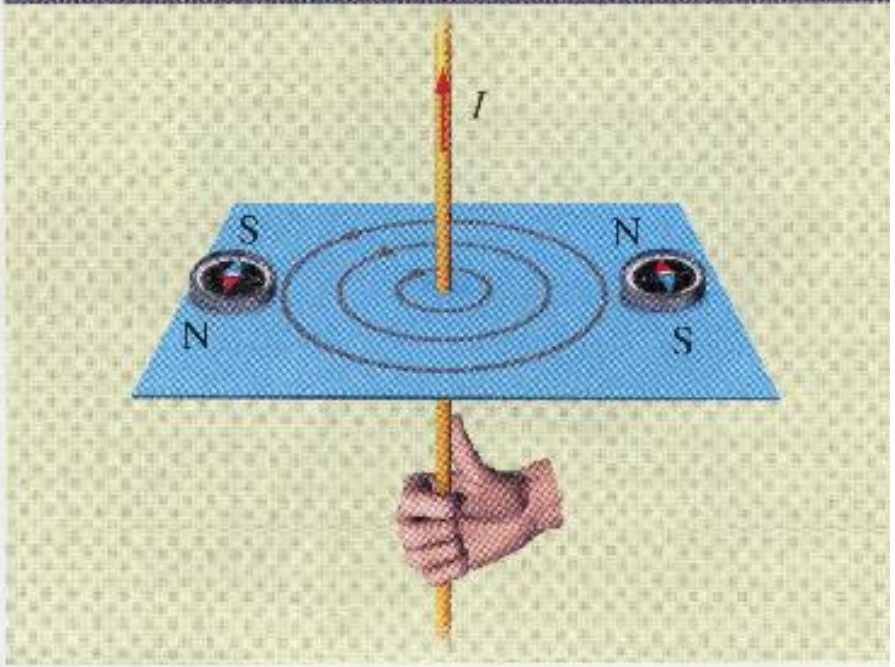


▲圖4-10 由磁力線分布可得到磁場：(a)灰線代表磁力線分布，紅色小箭頭的指向為磁力線切線方向，其大小與磁力線密度成正比；(b)紅色小箭頭標示出各處磁場方向。

(a)以鐵屑粉呈現出載流直導線的同心圓狀磁力線。



(b)右手定則：拇指指向電流方向，則四指彎曲方向為磁場方向。



▲ 圖5-3 載流直導線產生的磁場。

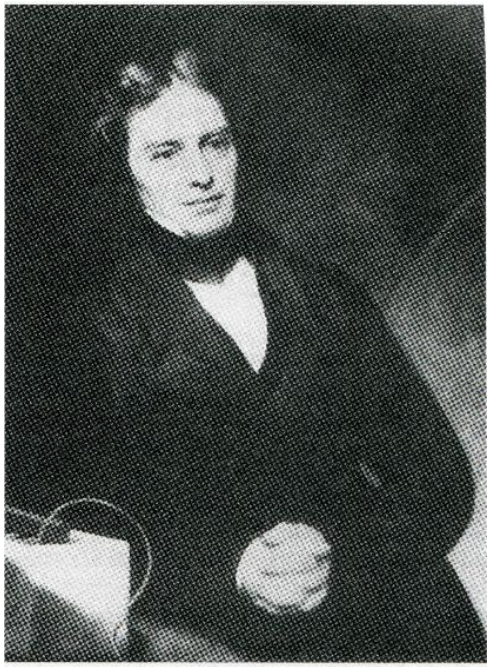
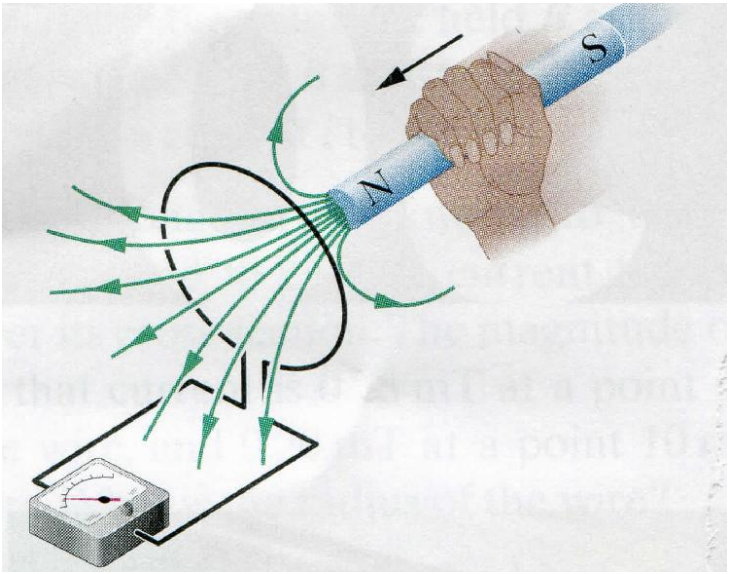
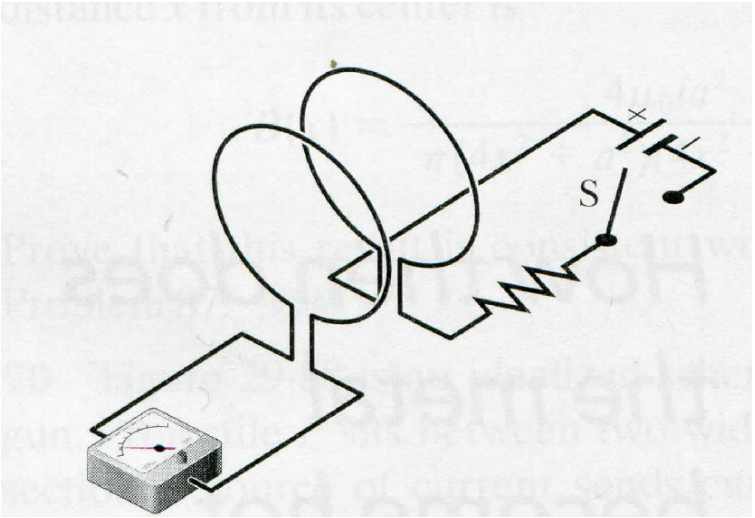
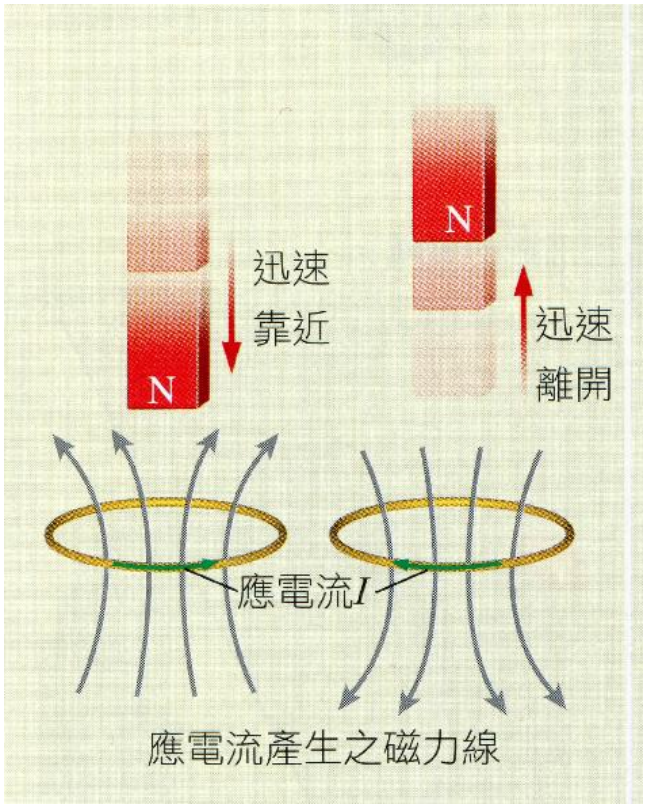
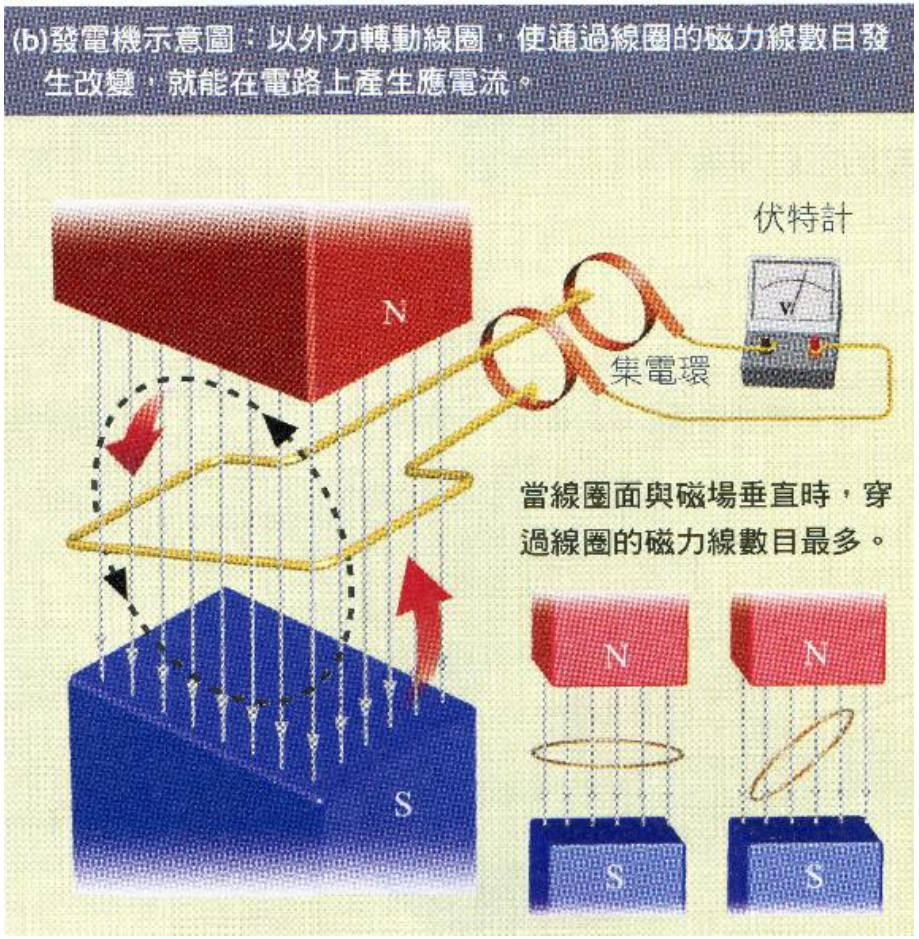


Fig. 25.2. Michael Faraday (1791–1867).






N
迅速
靠近
N
迅速
離開
應電流I
應電流產生之磁力線


(b)發電機示意圖：以外力轉動線圈，使通過線圈的磁力線數目發生改變，就能在電路上產生應電流。
伏特計
V
集電環
N
S
當線圈面與磁場垂直時，穿過線圈的磁力線數目最多。
N
S
N
S



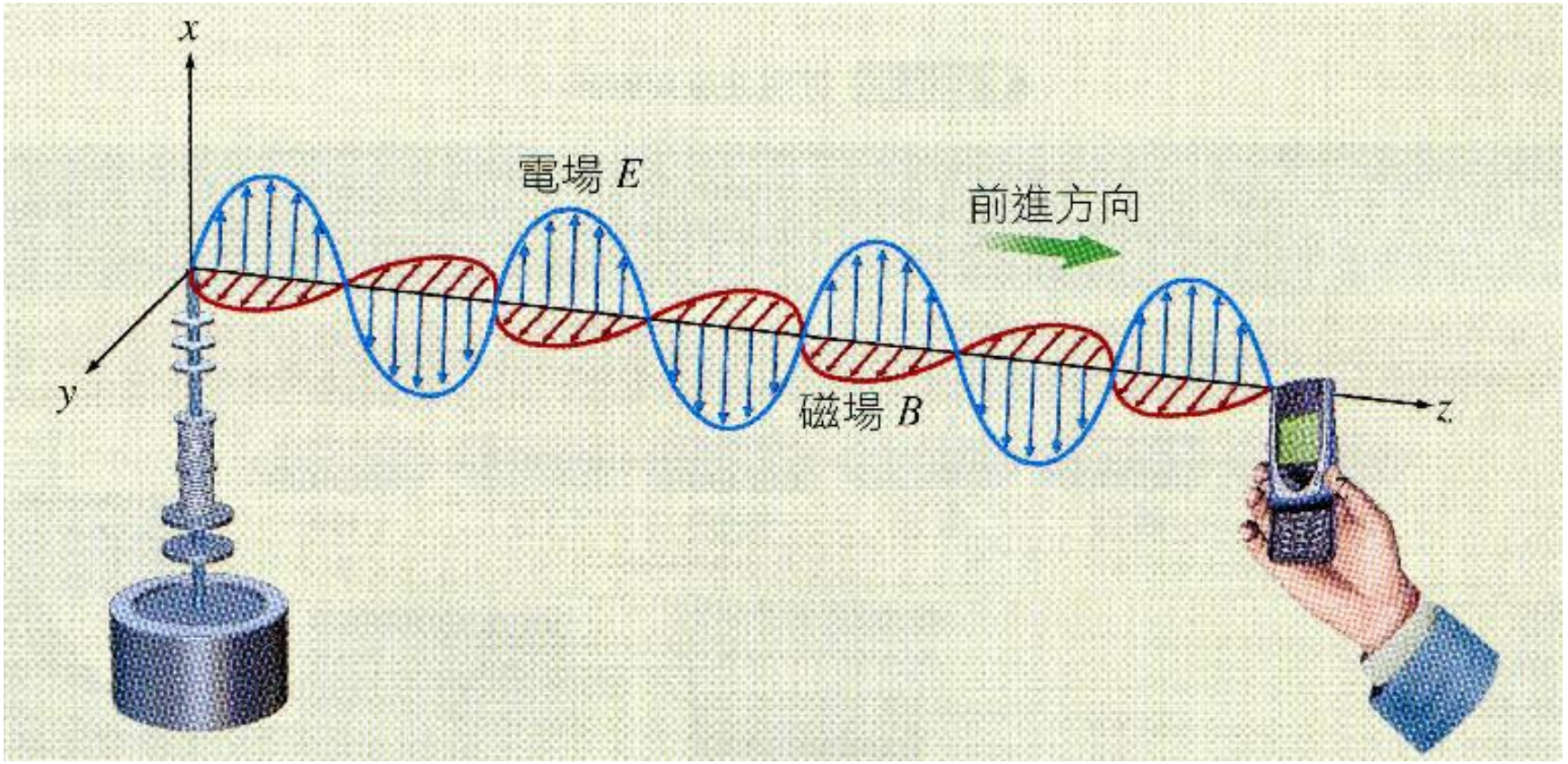
▲圖1-2 馬克士威。

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$


x
電場 E
前進方向
y
磁場 B
z

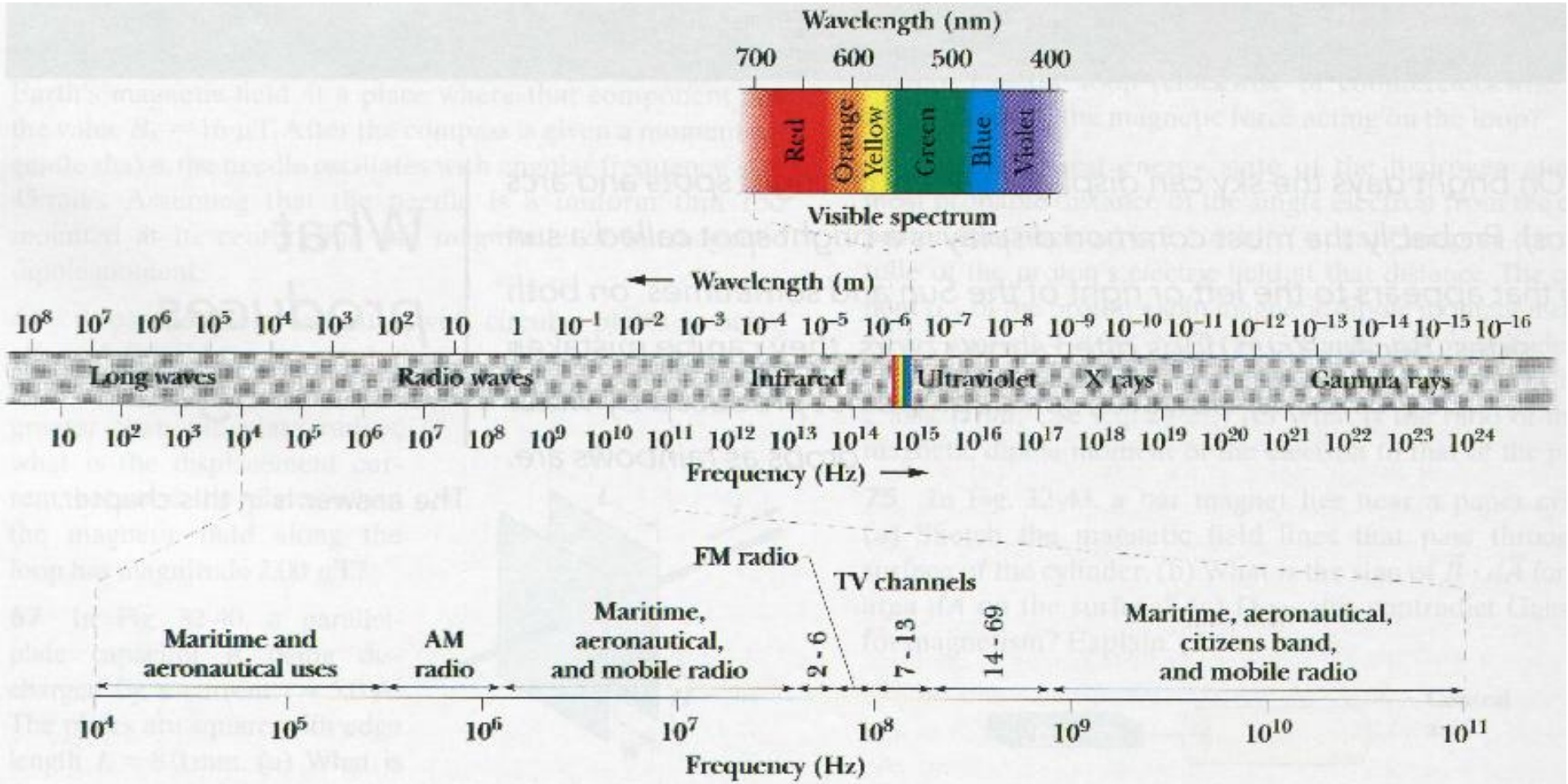


FIG. 33-1 The electromagnetic spectrum.

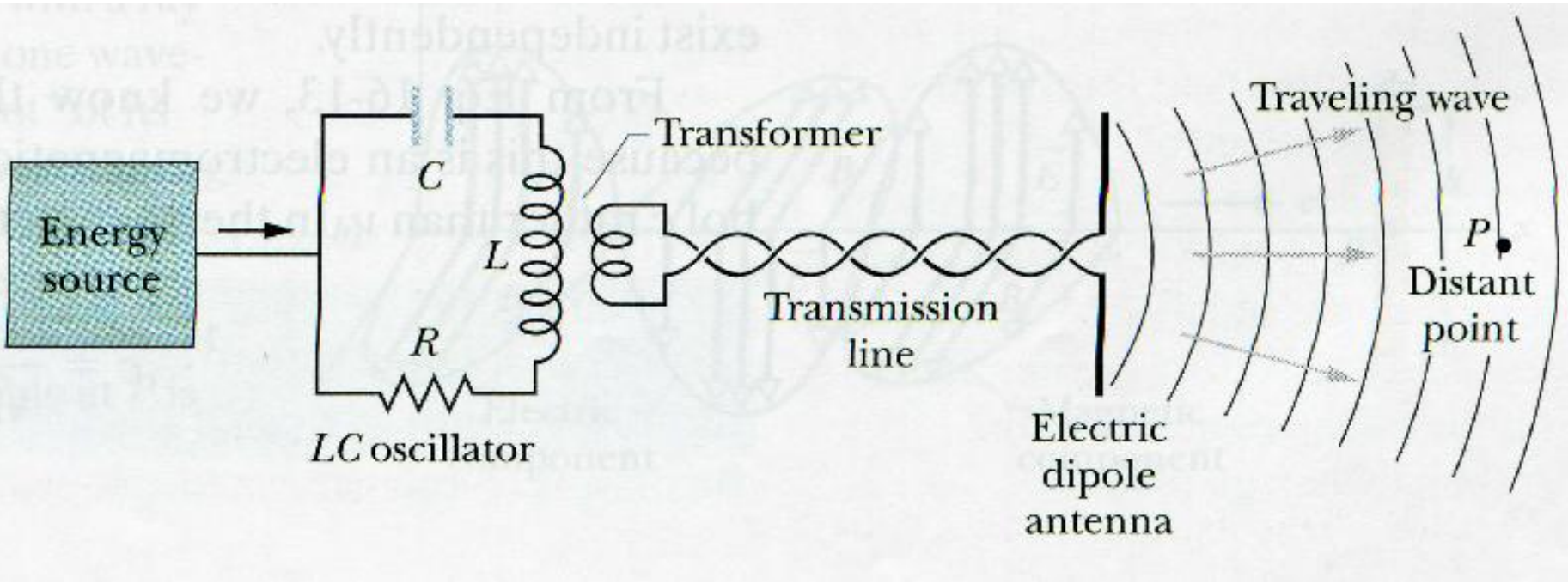

Energy source
C
L
R
LC oscillator
Transformer
Transmission line
Electric dipole antenna
Traveling wave
P
Distant point

Table 18-1 Classical Physics

Maxwell's equations

I. $\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (Flux of E through a closed surface) = (Charge inside)/ϵ_0

II. $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ (Line integral of E around a loop) = $-\frac{d}{dt}$ (Flux of B through the loop)

III. $\nabla \cdot B = 0$ (Flux of B through a closed surface) = 0

IV. $c^2 \nabla \times B = \frac{j}{\epsilon_0} + \frac{\partial E}{\partial t}$ c^2(Integral of B around a loop) = (Current through the loop)/ϵ_0 $+\frac{\partial}{\partial t}$ (Flux of E through the loop)

Conservation of charge

$\nabla \cdot j = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$ (Flux of current through a closed surface) = $-\frac{\partial}{\partial t}$ (Charge inside)

Force law

$$F = q(E + v \times B)$$

Law of motion

$$\frac{d}{dt}(p) = F, \quad \text{where} \quad p = \frac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$ (Newton's law, with Einstein's modification)

Gravitation

$$F = -G\frac{m_1 m_2}{r^2} e_r$$

時空的範圍？





10^{11} 星星(太陽)

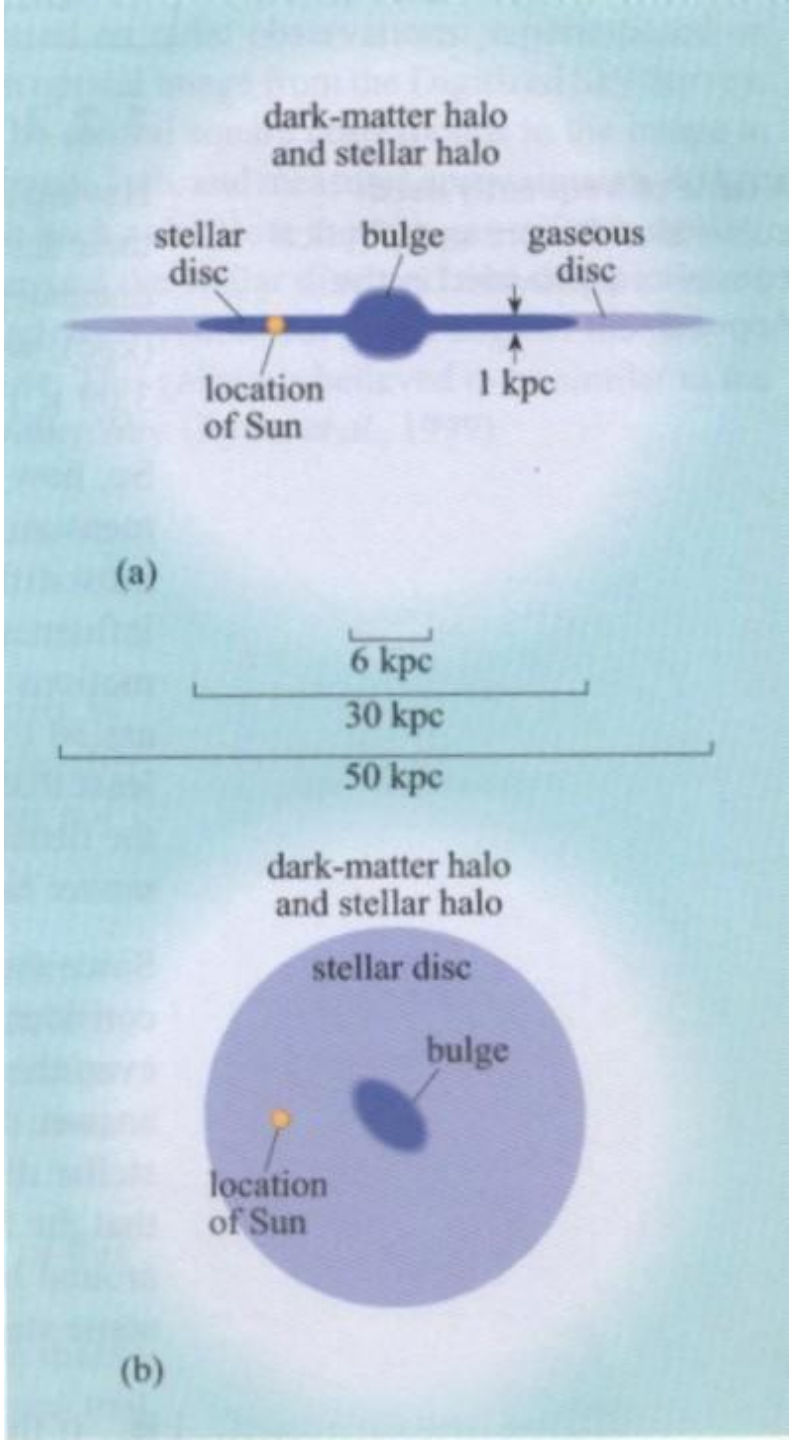


1pc(parsec)

= 3.26光年

=3.09x10^{16} m

1kpc= 1000pc



哈伯望遠鏡
所見天空中
一極小區域

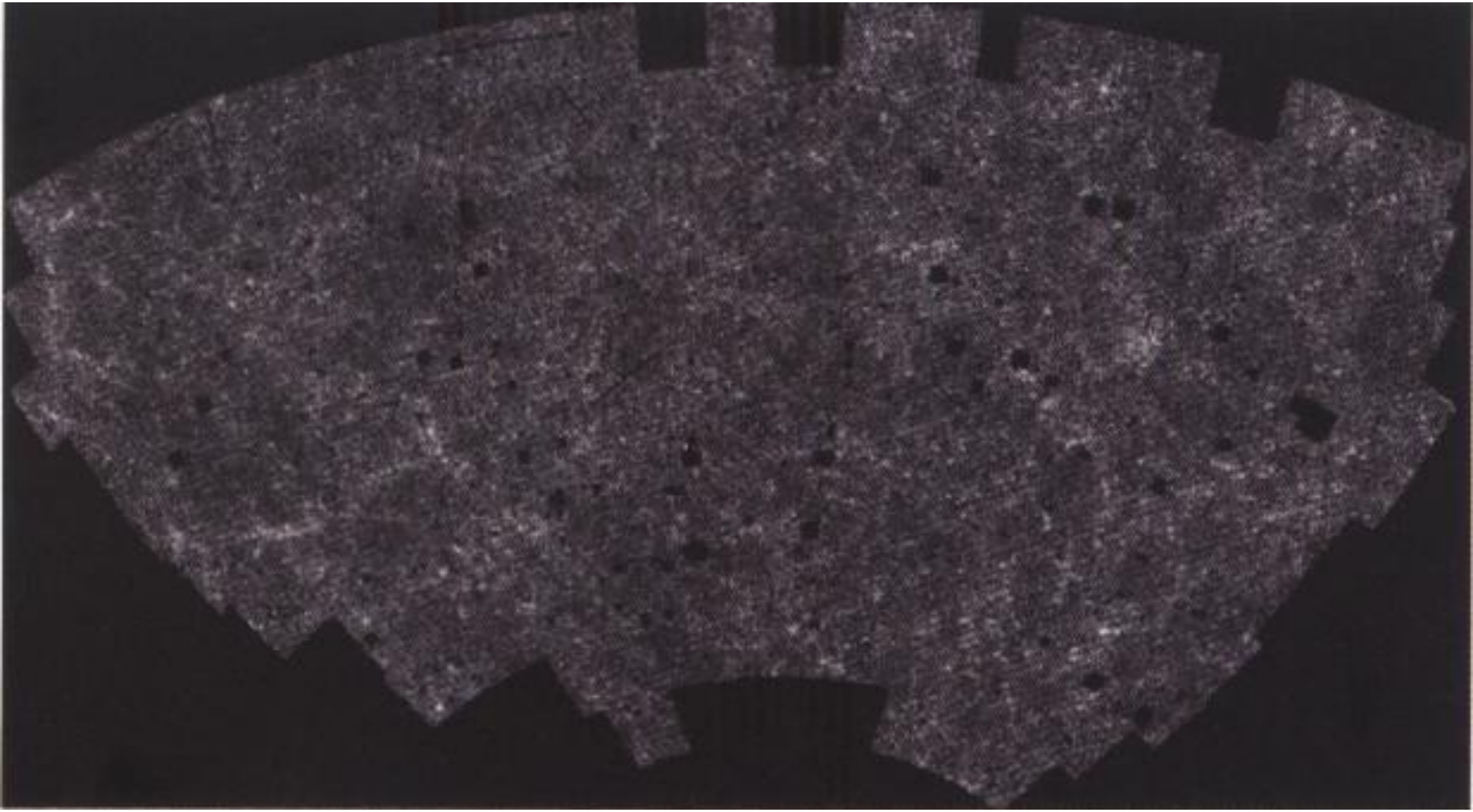
月亮夾角
的三十分
之一





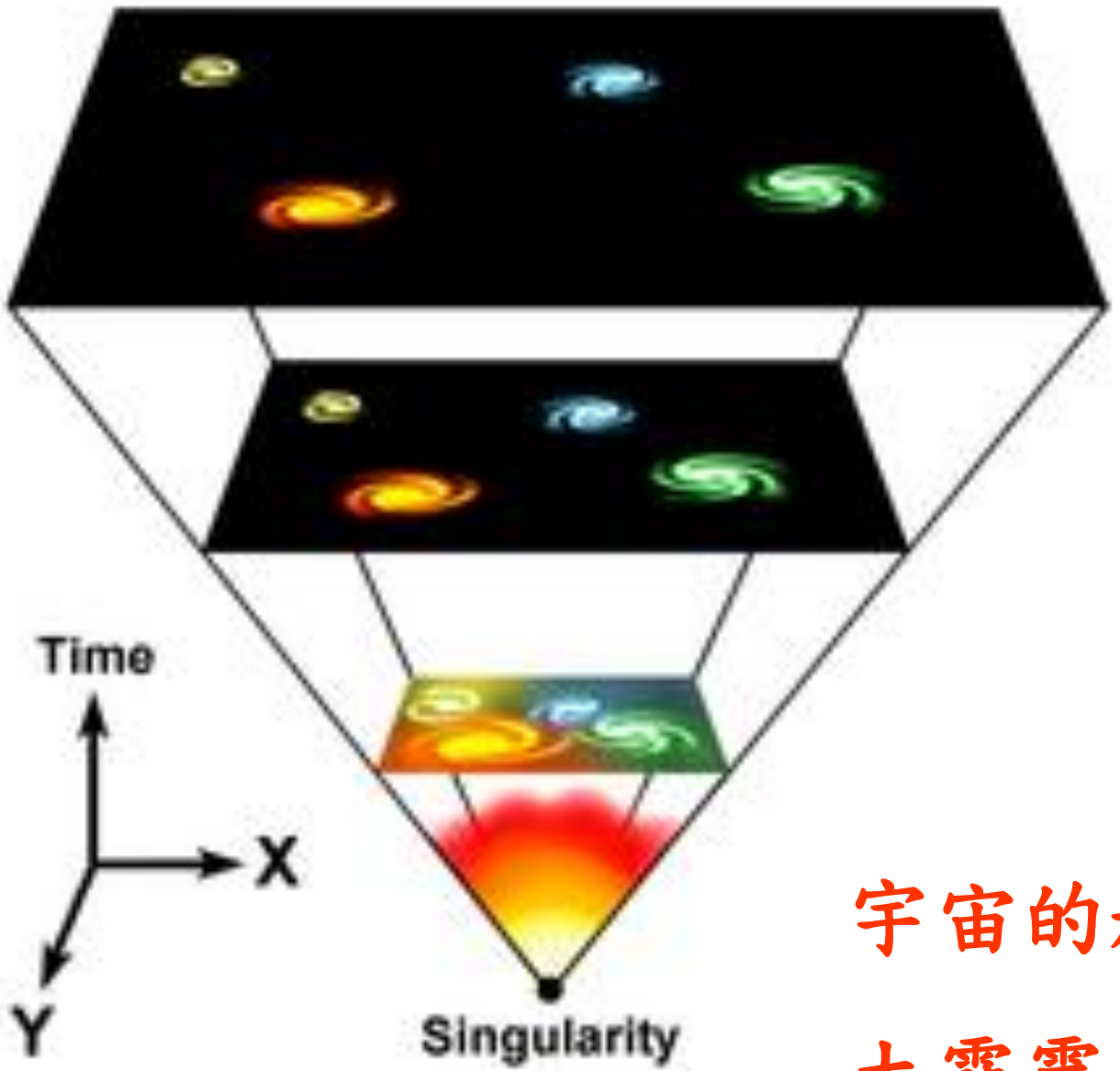






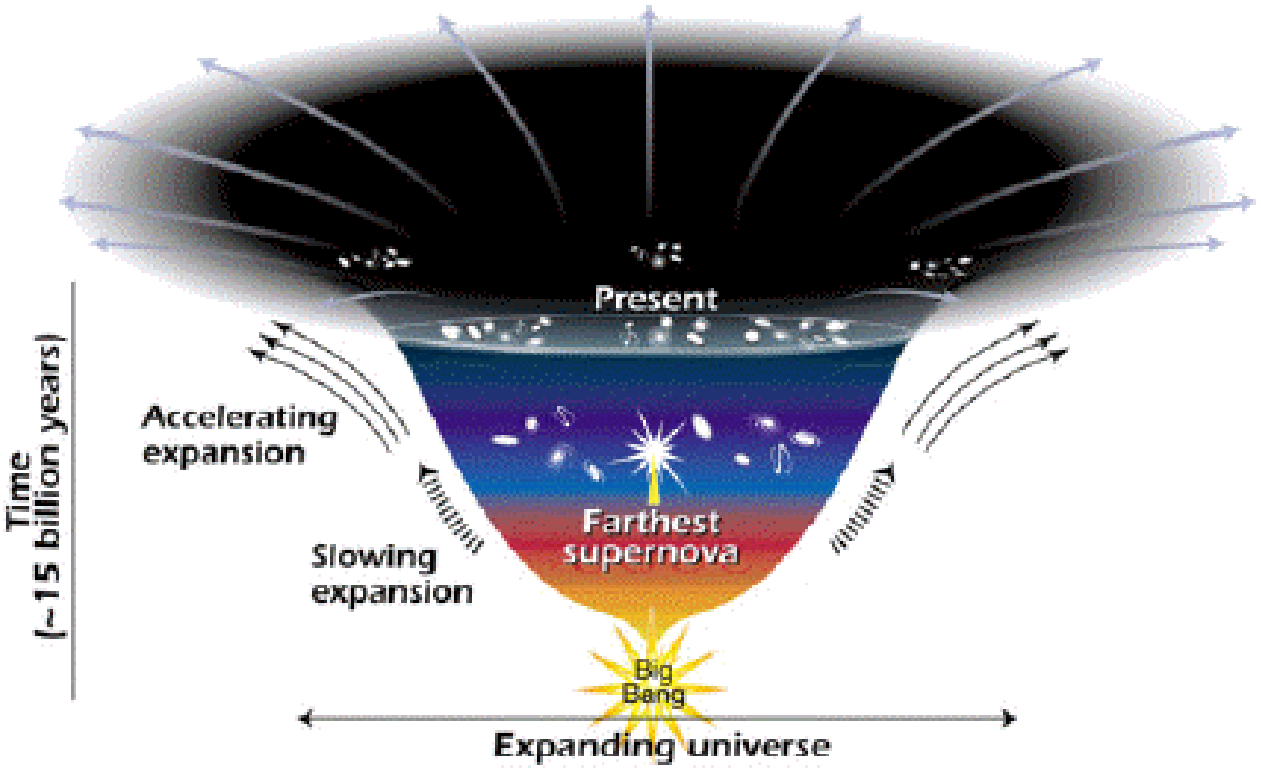
所見宇宙約有10^{11}星系

距離太陽	5μpc
距離最近star	1 pc
距離銀河中心	10kp
距離我們星系群中的星系	50-1000kpc
距離最近的大星系群	20Mpc
距離可見宇宙之邊緣	14Gpc



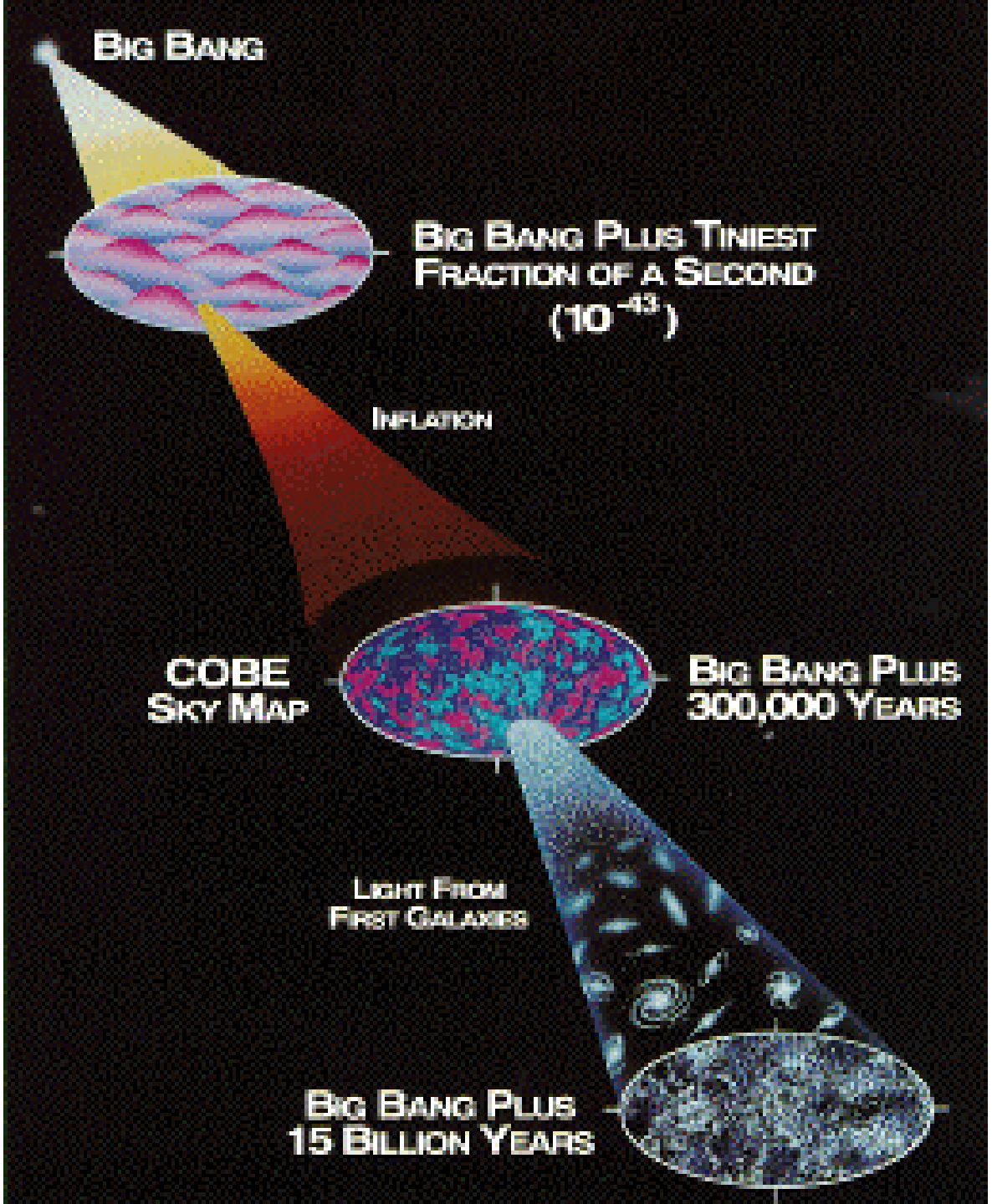
宇宙的起源

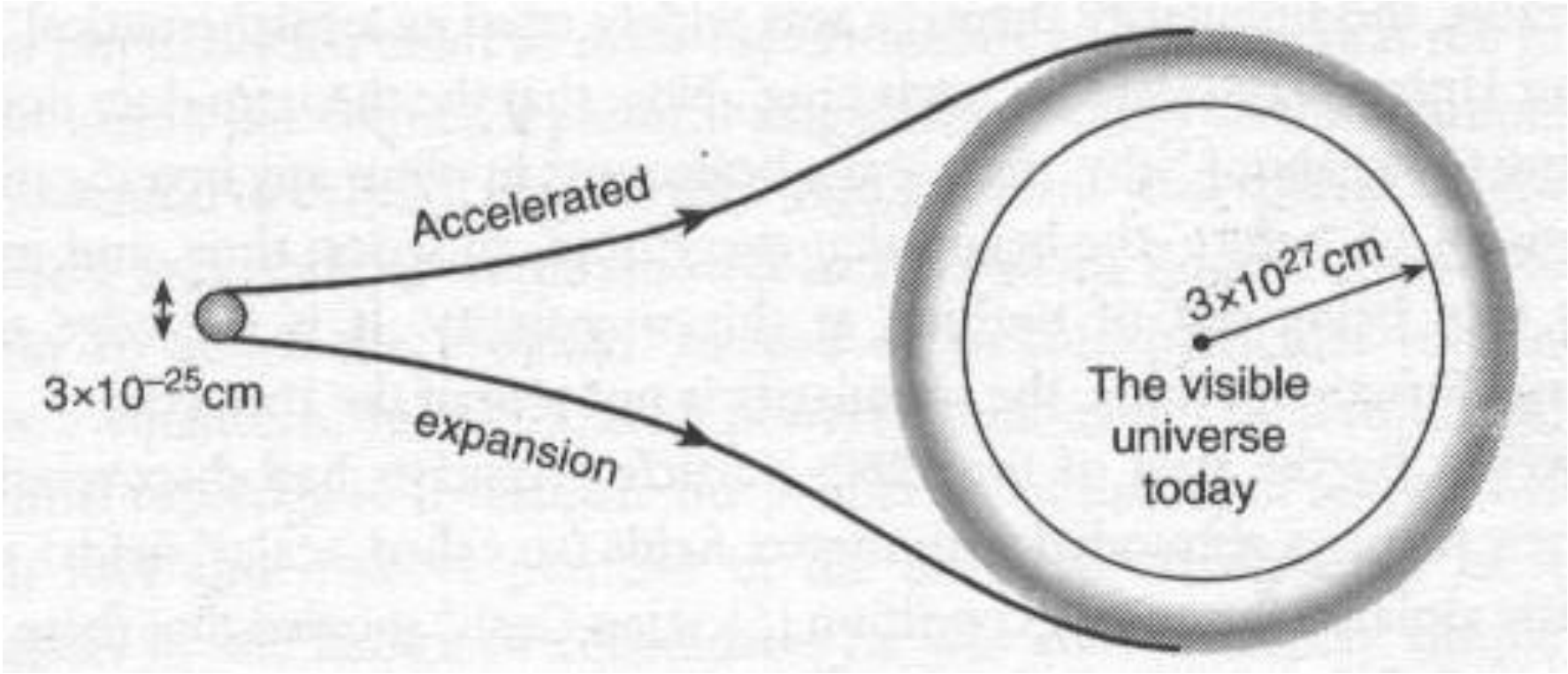
大霹靂


Present
Accelerating expansion
Slowing expansion
Farthest supernova
Big Bang
Time (~15 billion years)
Expanding universe

大霹靂

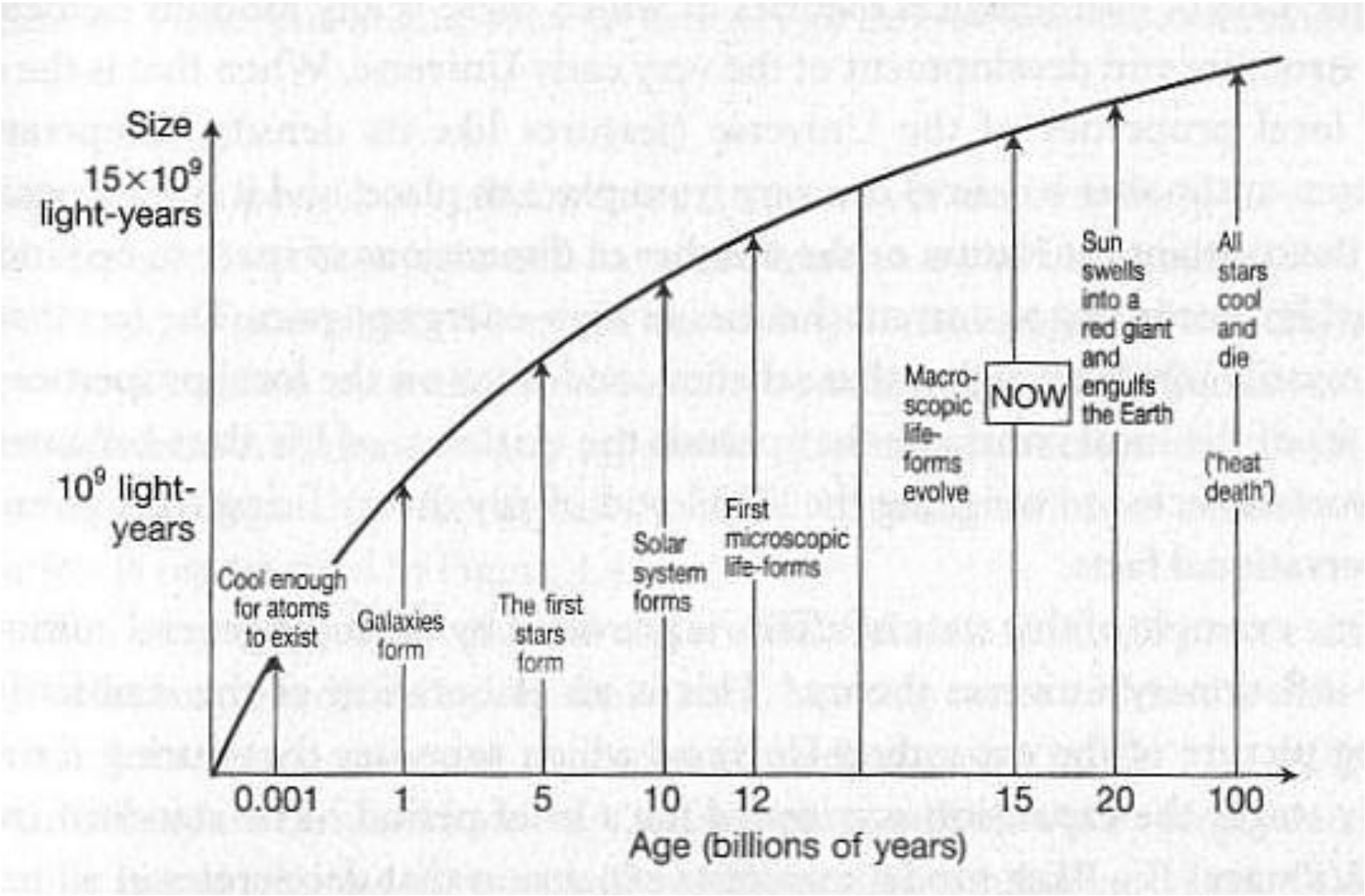
約150億年前


BIG BANG
BIG BANG PLUS TINIEST FRACTION OF A SECOND (10^{-43})
INFLATION
COBE SKY MAP
BIG BANG PLUS 300,000 YEARS
LIGHT FROM FIRST GALAXIES
BIG BANG PLUS 15 BILLION YEARS

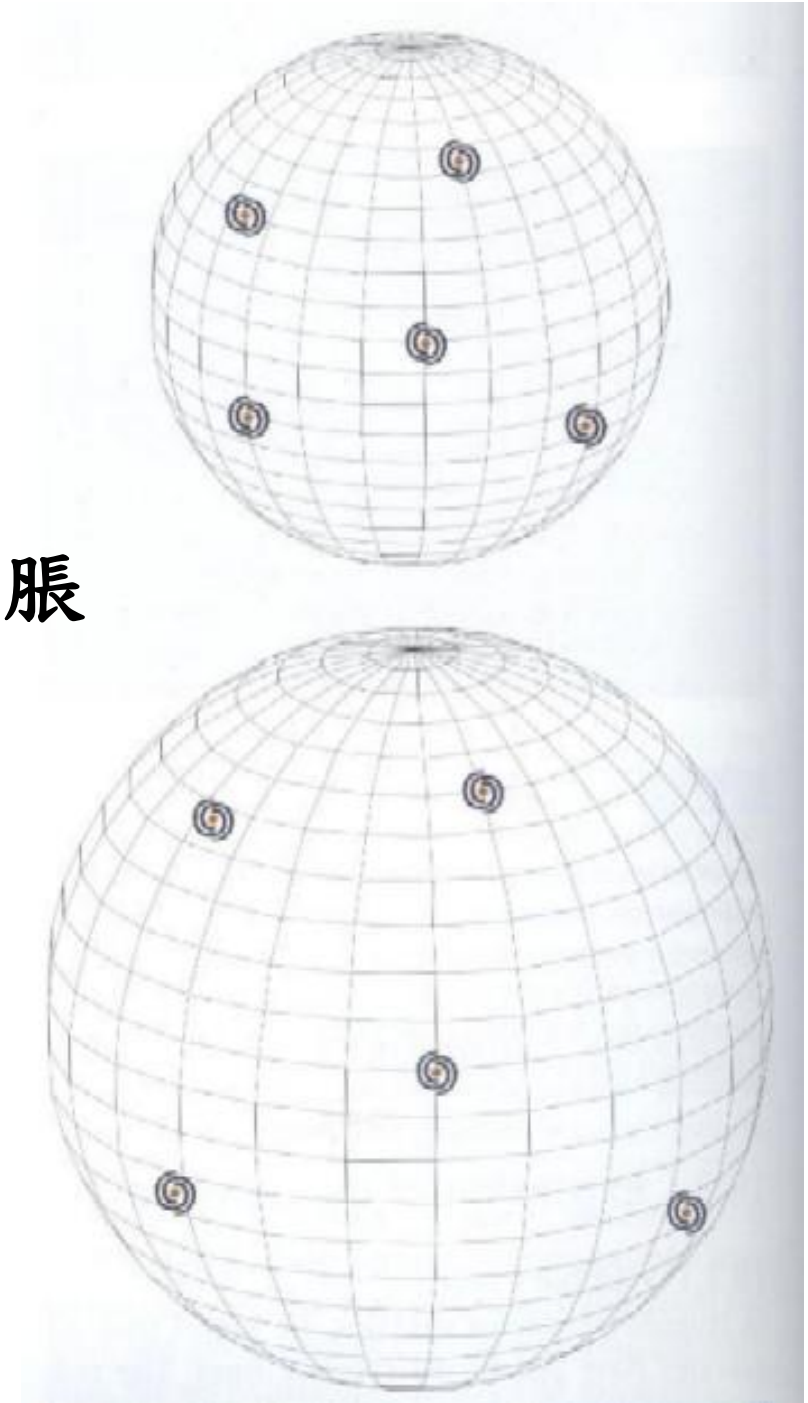


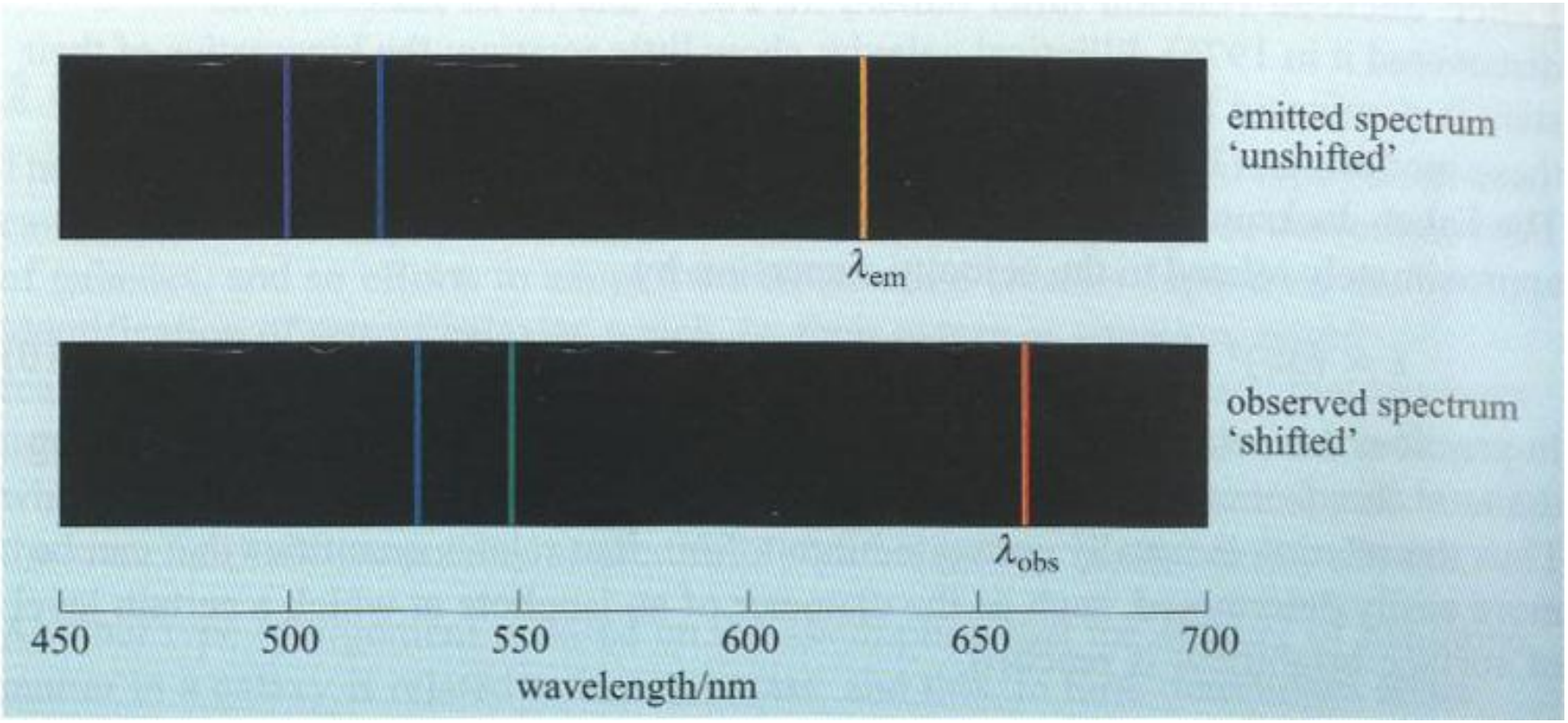
無法想像的小

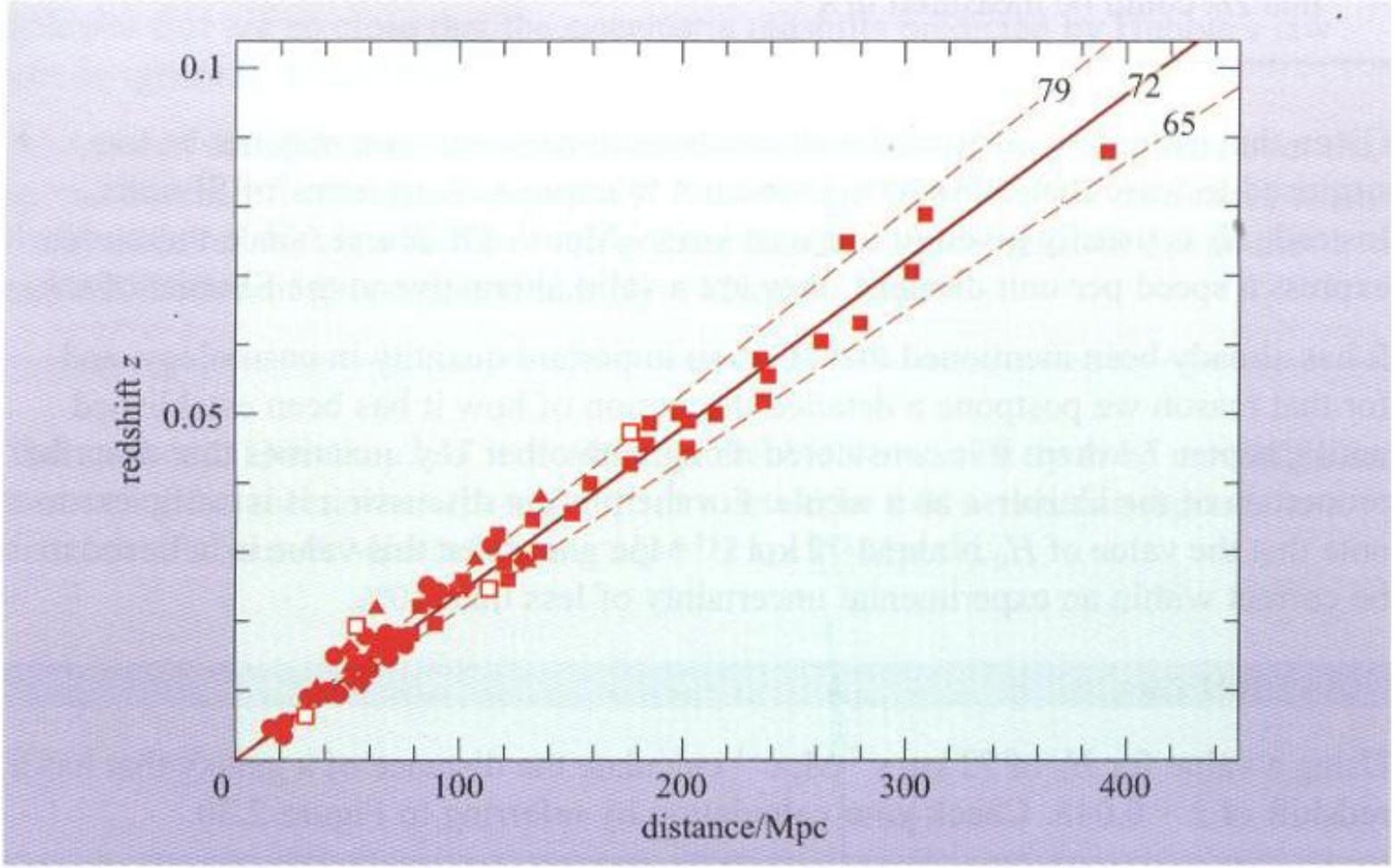
無法想像的大


Size
15×10⁹ light-years
10⁹ light-years
Cool enough for atoms to exist
Galaxies form
The first stars form
Solar system forms
First microscopic life-forms
Macro-scopic life-forms evolve
NOW
Sun swells into a red giant and engulfs the Earth
All stars cool and die
('heat death')
0.001
1
5
10
12
15
20
100
Age (billions of years)

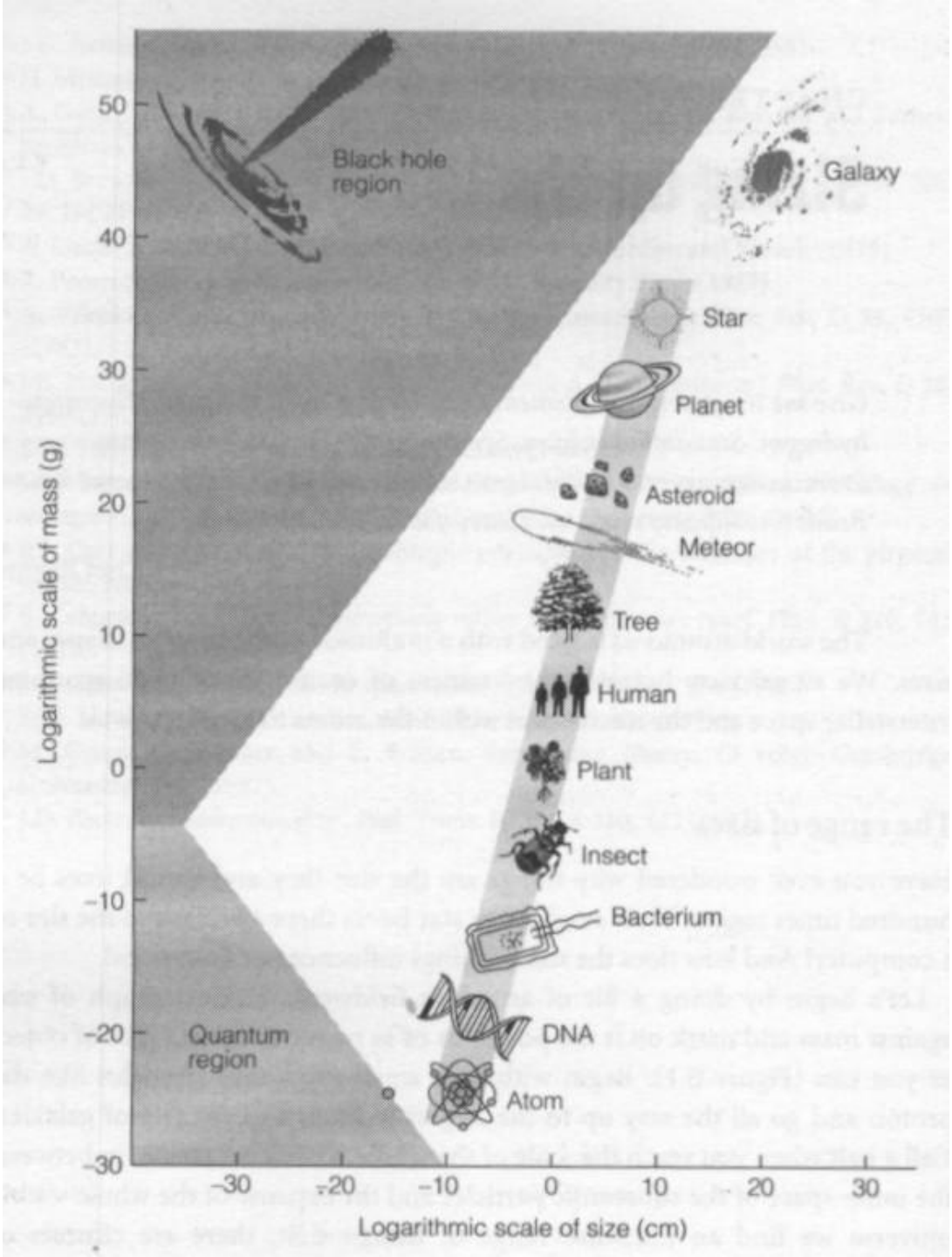
宇宙持續在膨脹




emitted spectrum
'unshifted'
λ_{em}
observed spectrum
'shifted'
λ_{obs}
450
500
550
600
650
700
wavelength/nm


0.1
0.05
redshift z
0
100
200
300
400
distance/Mpc
79
72
65

宇宙的終極命運？


Black hole region
Galaxy
Star
Planet
Asteroid
Meteor
Tree
Human
Plant
Insect
Bacterium
DNA
Atom
Quantum region
Logarithmic scale of mass (g)
Logarithmic scale of size (cm)
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-30
-20
-10
0
10
20
30

認知　心靈　自由意志



生命



DNA, Evolution（演化）



非生命物質

在伽利略之前的兩千年間，人們所信仰的是亞里斯多德的講法：宇宙間物體的運動可分成兩大類，一類是「**自然運動**」，另一類是「**激烈運動**」。「自然」的運動包括天體以圓形軌道繞地球運行、地表附近有重量的物體會朝地心掉下(而且越重的物體掉下的速度越快)、煙會往上升等等。「激烈」的運動指的是自然運動之外，需要借助於推力或拉力才能前進的運動，例如馬車在路上前進、重物被舉起。在自然運動之外，物體如果沒有受到推力，就不會持續運動，而會靜止下來。儘管亞里斯多德的學說沒有太違背日常觀測，但終究還是被更精準的運動新規律淘汰了。

物理 (Physics)

理解自然 (物質世界)

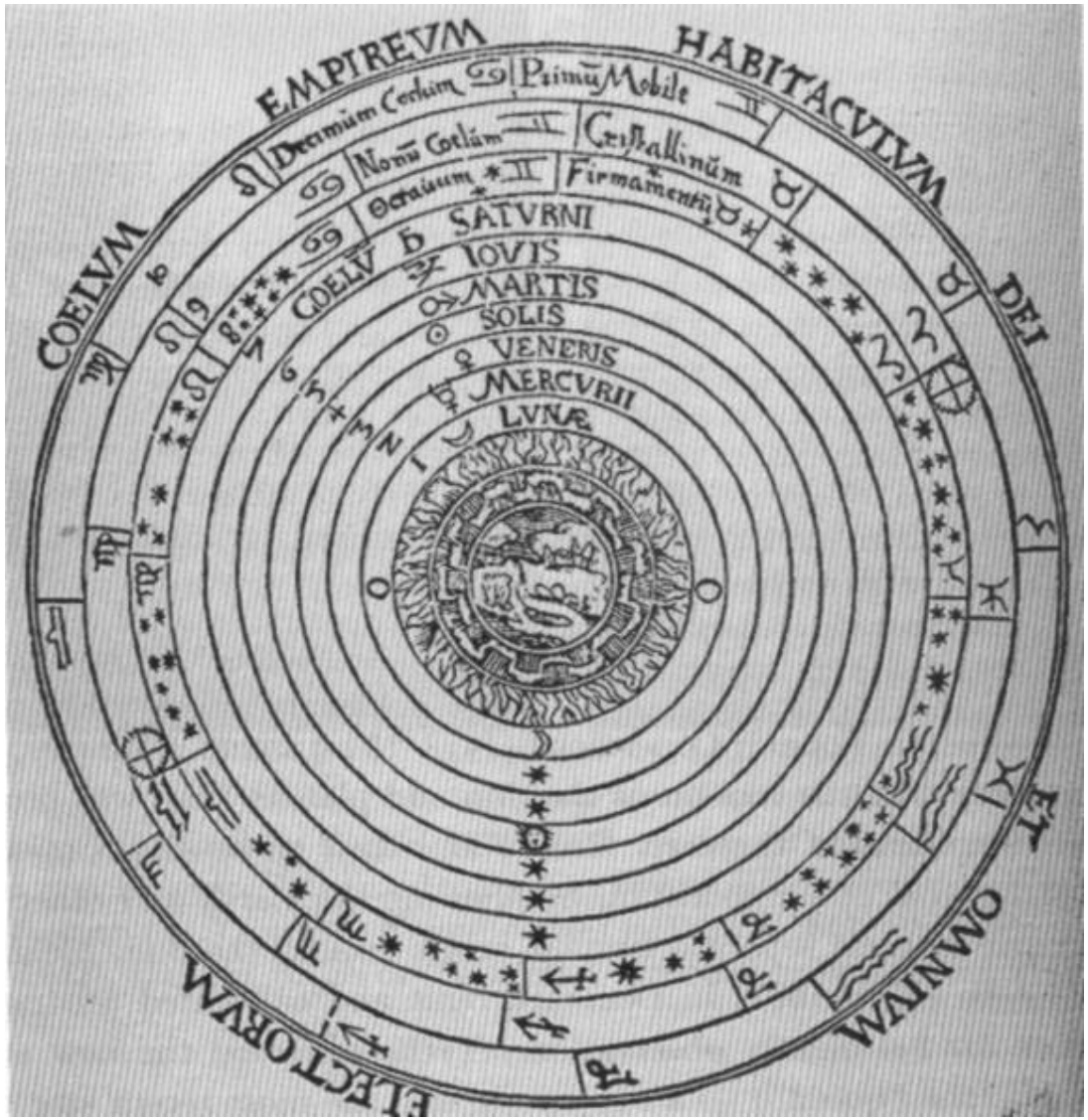
描述自然

發現自然有其規律

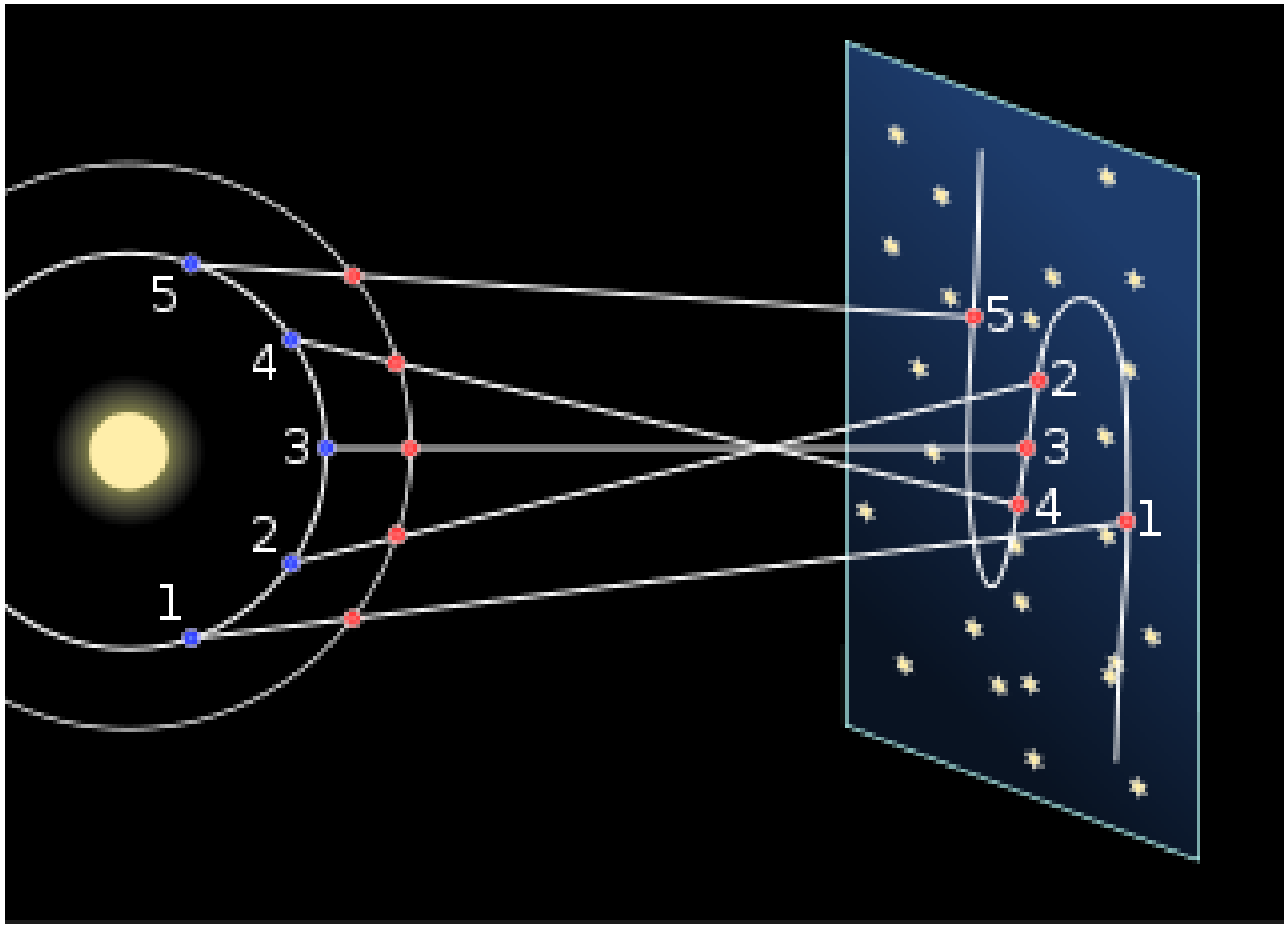
這些規律非常奧妙、**隱密**

人類如何發現這些隱密的規律？

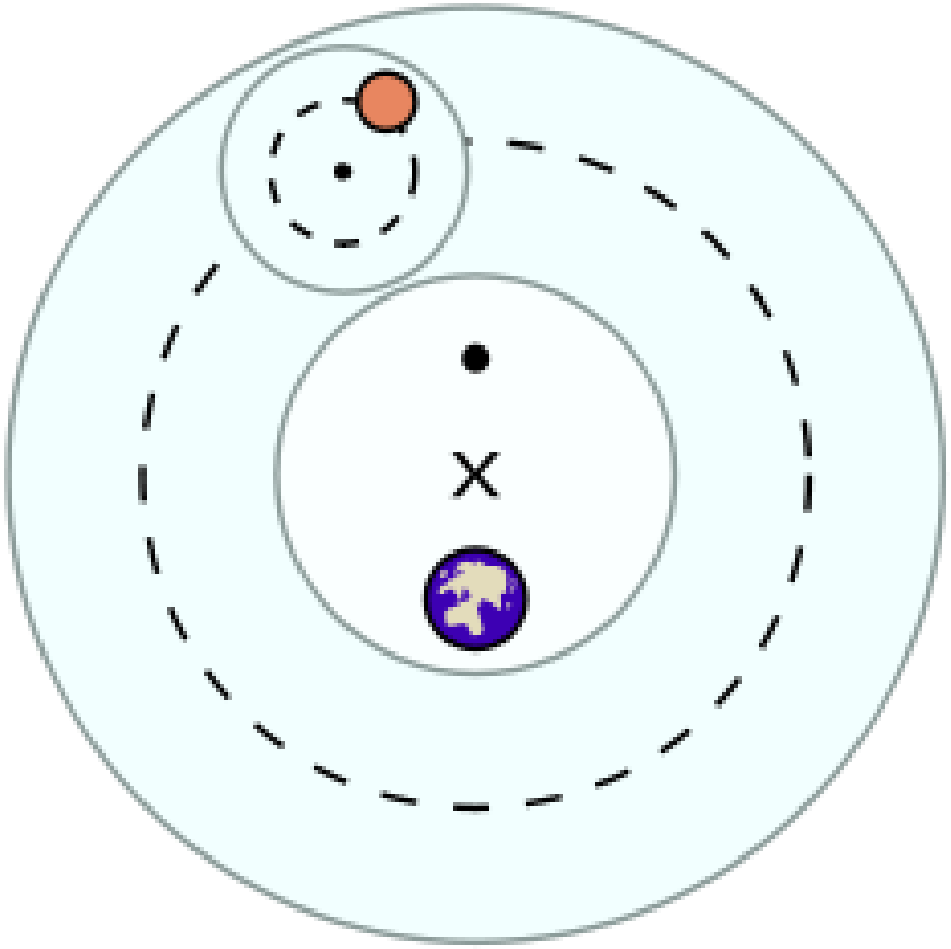
一連串**不可思議、跨越時空**的人物與事件
(非尋常)


EMPIREVM
HABITACVLVM
DEI
ET
OMNIVM
ELECTORVM
COELVM
Decimum Coelum
Primum Mobile
Nonum Coelum
Octauum
Firmamentum
Crystallinum
SATVRNI
IOVIS
MARTIS
SOLIS
VENERIS
MERCVRII
LVNÆ
COELV

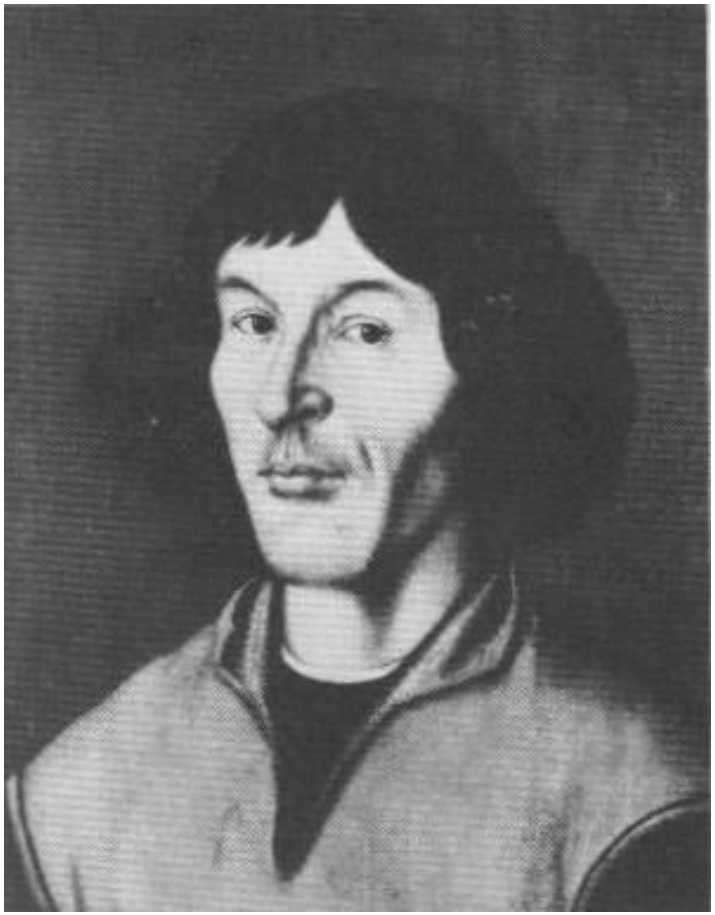
地球中心說

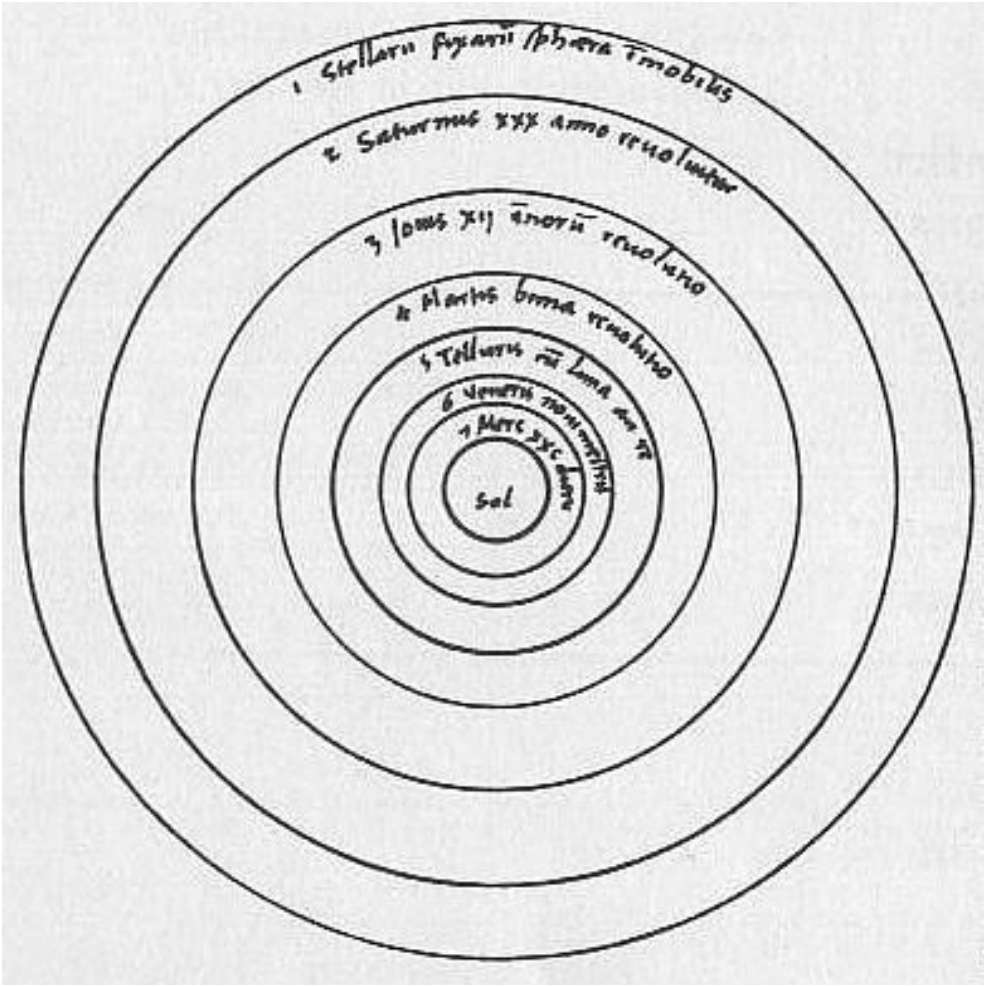


逆行



epicycle

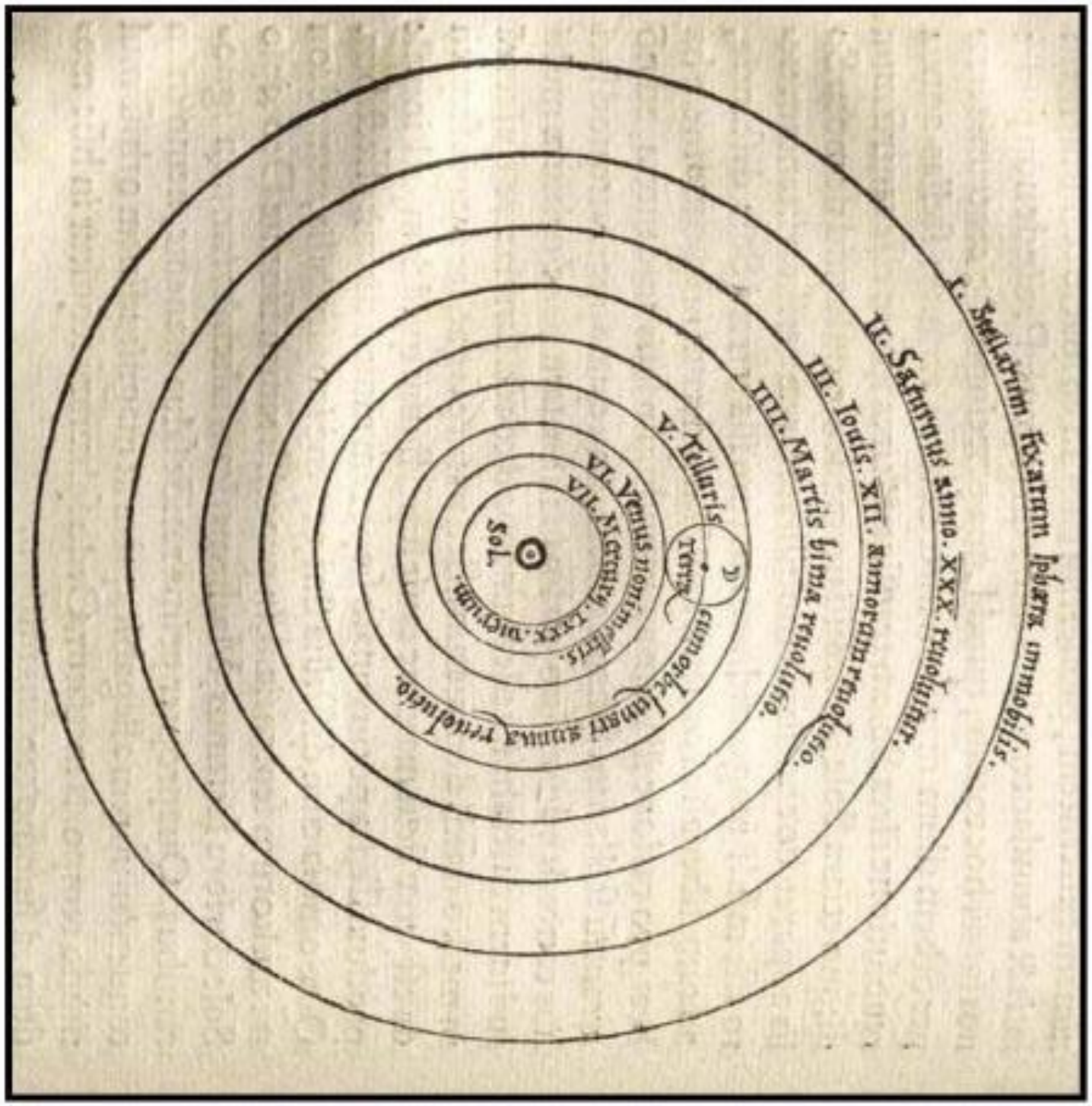


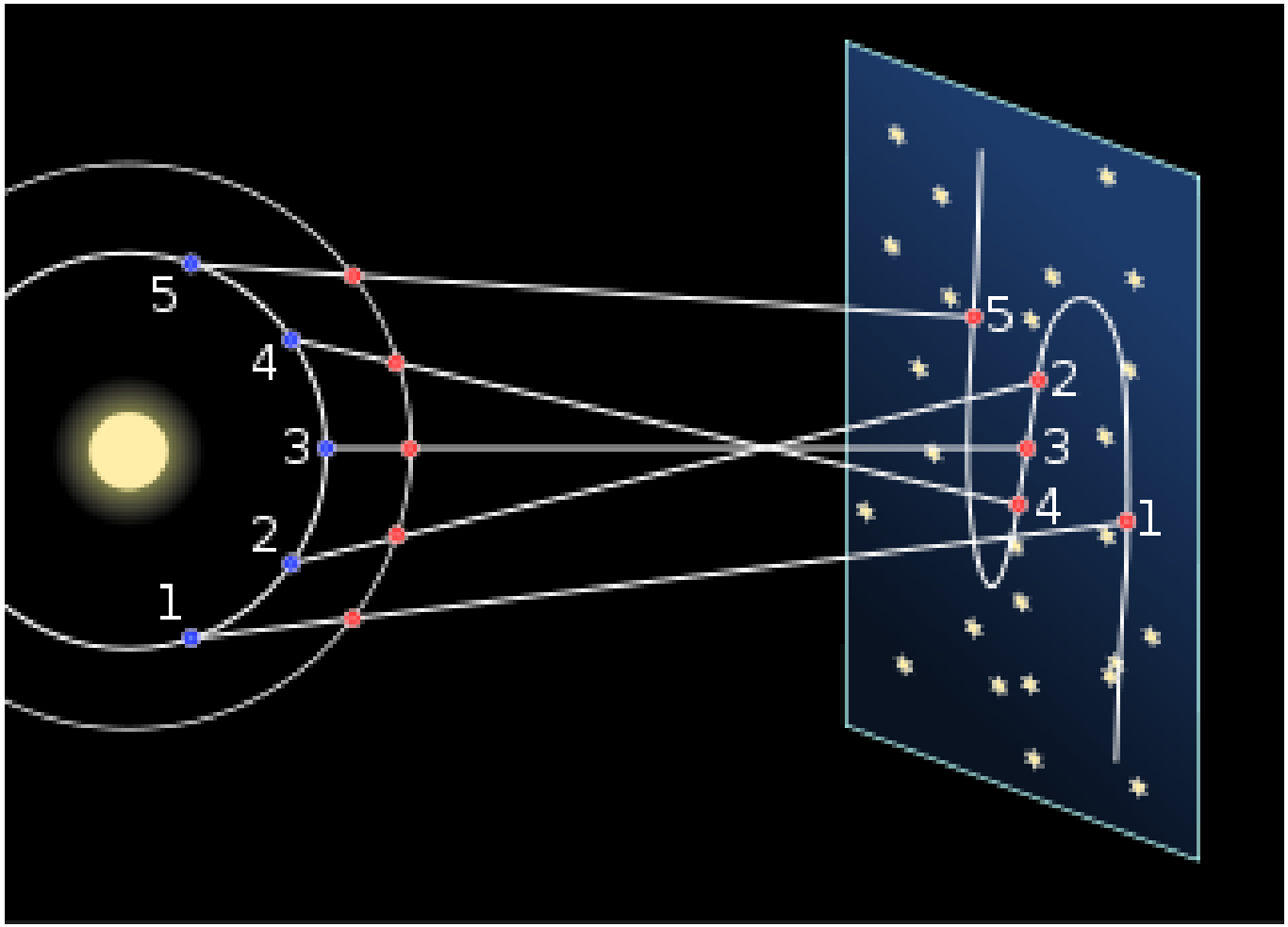


哥白尼　N Copernicus

1473-1543

From Book I of *De Revolutionibus*



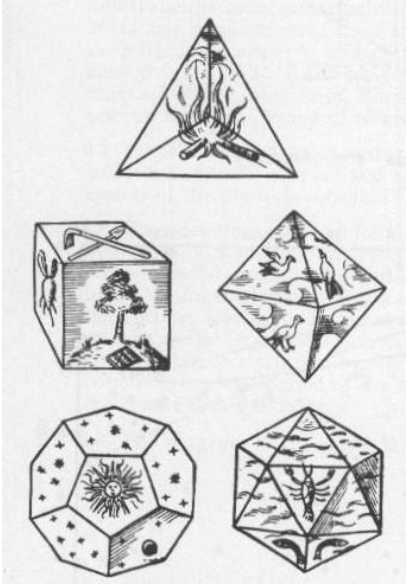


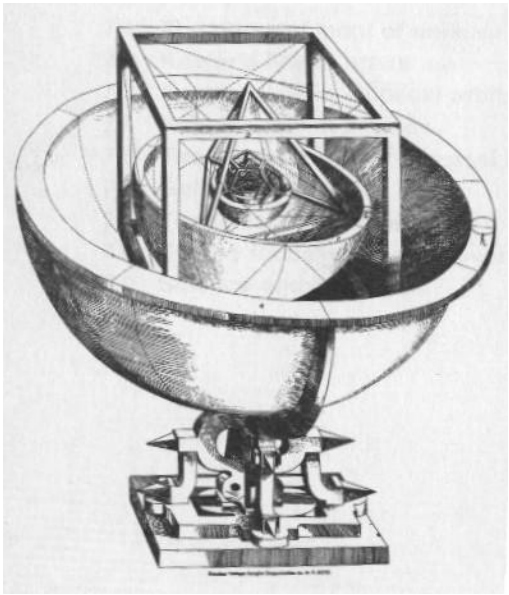
逆行



克卜勒 J. Kepler

1571-1630



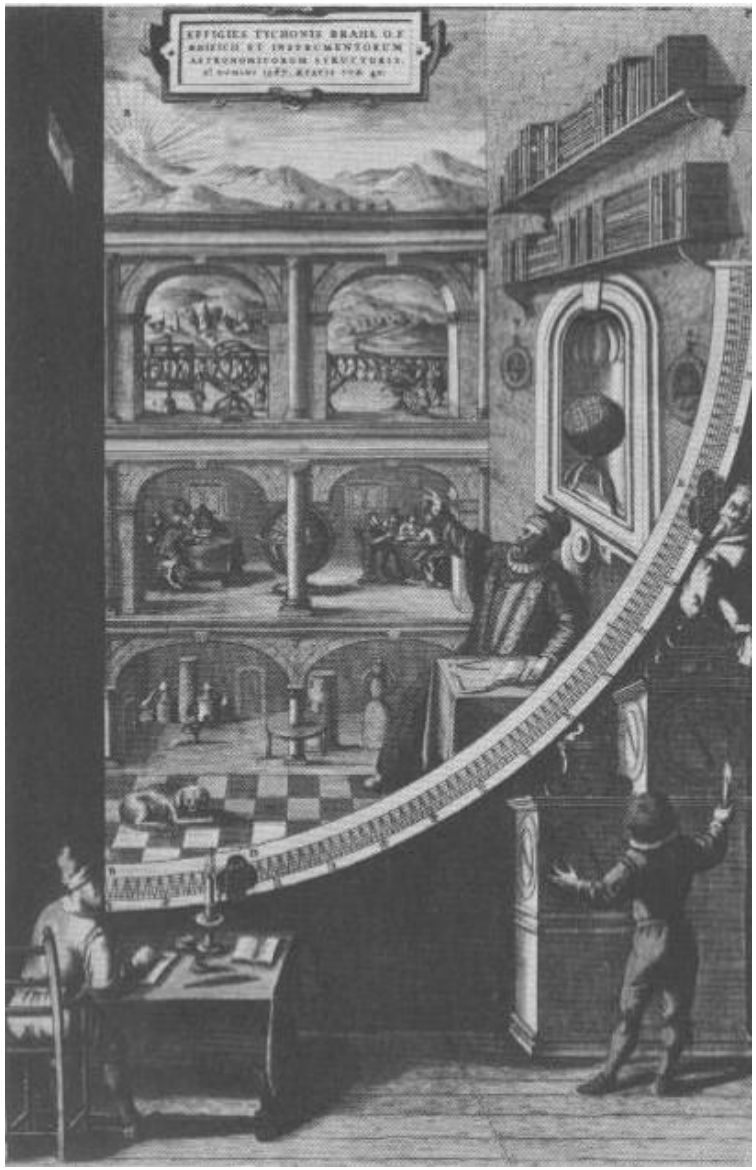


六個行星的軌道



第谷　Tycho Brahe

1546-1601



一絲不苟的觀測

克卜勒行星運動定律

第一定律：六個行星繞日運行的軌道是皆以太陽位置為其一焦點的橢 圓。

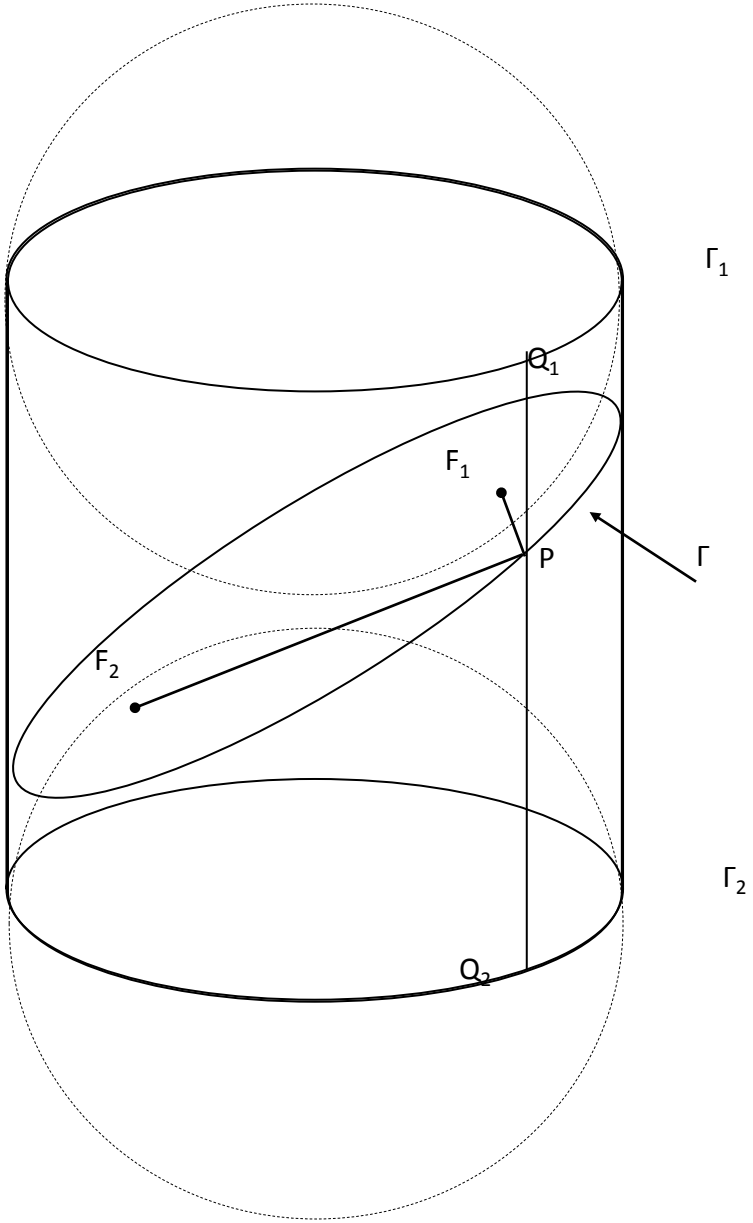
第二定律：各個行星與太陽的連線在單位時間所掃過的面積分別為一常數。

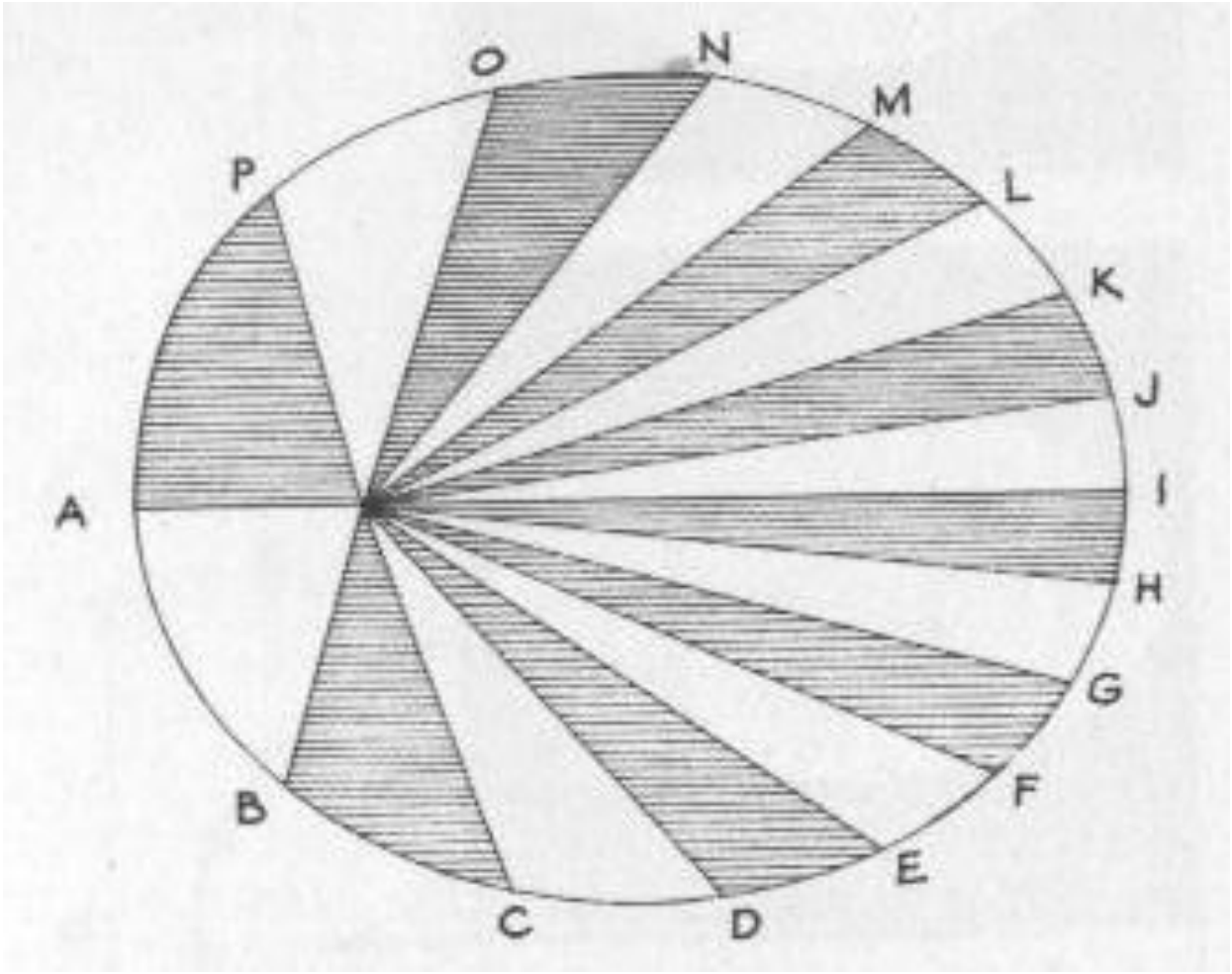
第三定律：六行星之橢圓軌道之平均距離R的立方與其週期的平方的比值皆相同，即

$$\frac{R^3}{T^2}$$

對六個行星都相等。

$$\overline{PF_1} + \overline{PF_2} = \overline{PQ_1} + \overline{PQ_2} = \overline{Q_1Q_2} =$$





橢圓軌道

旋轉對稱不見了？



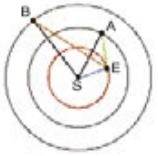
撰文／高涌泉

千萬別選錯座標

日心說最重要的意義就是「一切都恰到好處地兜在一起」。

1543年春天，哥白尼在嚥下最後一口氣之前，出版了《天體運行論》，提出他的日心說，將宇宙的中心從地球搬到了太陽。哥白尼顯然對於公開他的理論是非常猶豫的，否則不會拖到生命的最後一刻才這麼做。當時教會勢力極大，沒有人敢得罪，而日心說恰恰牴觸了教會認可的托勒密地心說，難怪哥白尼會小心翼翼。

《天體運行論》有篇著名的導言〈致讀者關於本書之假設〉，裡頭說：「天文學家的任務就是透過勤勉巧妙的觀察來記錄天體的運動，然後提出……有關這些現象的假設。既然天文學家不可能求得真正的原由，他所能做的就是採用任何有助於計算出運動的假設，……這些假設無需為真，甚至無需可能為真，只要依據假設所算得的結果與觀察吻合就夠了。……對於同一運動現象，往往可以有不同的假設，……我們應允許這些新假設也和古老的假設一樣，都同為大眾所知。」既然導言宣稱日心說只是有助於計算的假設，而不必然是真理，因此《天體運行論》得以暫時逃過被禁的下場。

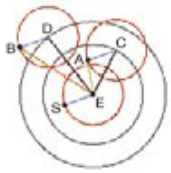


圖一

事實上導言的作者不是哥白尼本人，而是校對《天體運行論》一書的神學家歐希安德（Andreas Osiander）。一般相信哥白尼本人應該不知道歐希安德的作為，也不認同導言的說法，例如克卜勒就相信哥白尼會認定日心說是對於行星系統真實的描述。不過歐希安德的說法也不是沒有道理：哥白尼與托勒密都僅是提出假設而已，誰也不能代表真理！畢竟，日心說與地心說的差異只是選用的座標不同罷了，不是嗎？

一般教科書都會介紹日心說的長處在於可以去掉本輪（epicycle）這個包袱，因為它只要藉由地球與行星環繞太陽的相對位置，就能夠解釋行星的「逆行」現象，所以是比較簡單的模型。但是這樣的說法還不足以呈現「日心說」以下的妙處：

圖一示範了日心說看待太陽（S）、地球（E）、行星A、B的方式，圖二則是地心說看待同一組天體的方式。在日心說中，地球與各行星皆環繞太陽而行；但是在地心說中，行星繞著空間中的一個點（即圖二中的C或D）做圓周運動（這個圓就是本輪），而這個點再繞著地球做圓周運動。圖中 $\overrightarrow{ES}$ 等於 $\overrightarrow{CA}$，也等於 $\overrightarrow{DB}$；$\overrightarrow{SA}$ 等於 $\overrightarrow{EC}$；$\overrightarrow{SB}$ 等於 $\overrightarrow{ED}$；所以 $\overrightarrow{EA} = \overrightarrow{ES} + \overrightarrow{SA} = \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CA}$，$\overrightarrow{EB} = \overrightarrow{ES} + \overrightarrow{SB} = \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{ED}$，如此一來日心說與地心說的結果才會一樣。請注意各行星本輪的半徑全都相等，而且各行星（A與B）在本輪上的方（相）位也都一樣，也就是 $\overrightarrow{CA}$、$\overrightarrow{DB}$ 的方向皆等於地球指向太陽的方向（即 $\overrightarrow{ES}$ 的方向）。在托勒密模型中，不同行星有不同的本輪，這些本輪的半徑與相位全部是自由參數，得由觀測來決定。而觀測結果是這些周轉圓的半徑與相位竟然都一樣！這件事在托勒密模型中是個巧合，無法解釋。在托勒密時代，人們對於本輪半徑的大小還不十分清楚，所以不知道本輪有相同半徑這回事，僅知道各個本輪有一樣的相位，但卻看不出來為何會這樣。



圖二

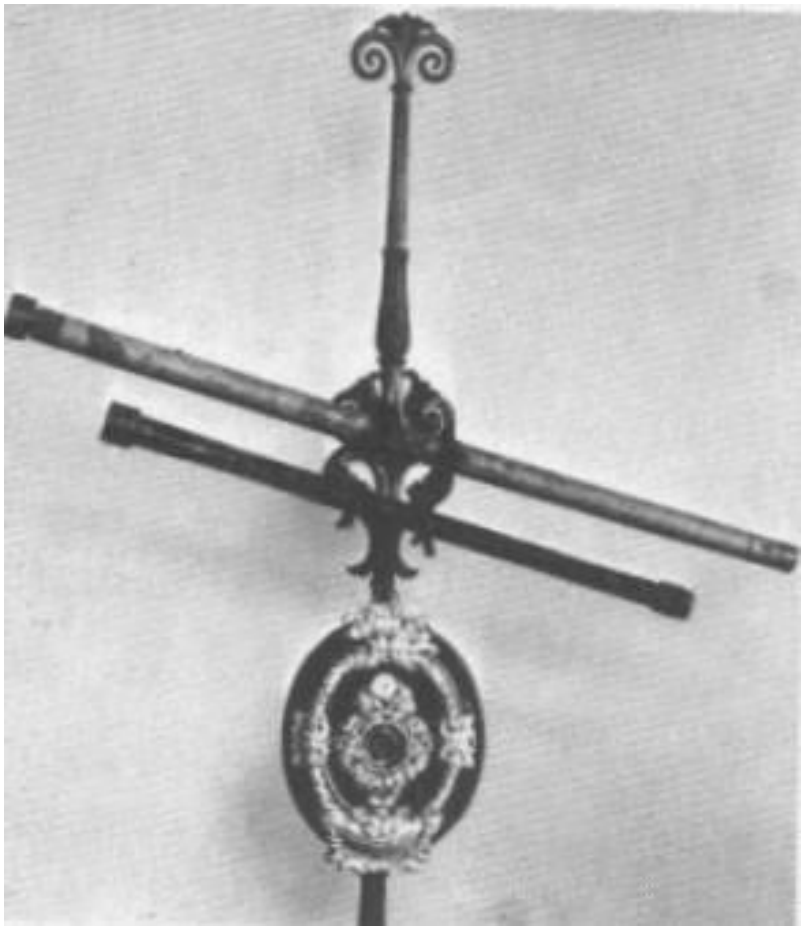
所以對於哥白尼來說，日心說最重要的意義就是「一切都恰到好處地兜在一起」，沒有不必要的巧合。他在《天體運行論》中有段話清楚地表示了這樣的意思：「我們有了這些東西（本輪等）就好像是把手、腳、頭和其他部份擺在一起，各別來看雖然很完美，但是卻和一整個身體沒有關係，因為它們不能搭配在一起，最後的結果只是怪物而已而不是人。」哥白尼認為只有日心說才能推導出最要緊的東西：「宇宙的結構與各個組成的真實對稱。」

高涌泉　台灣大學物理系教授

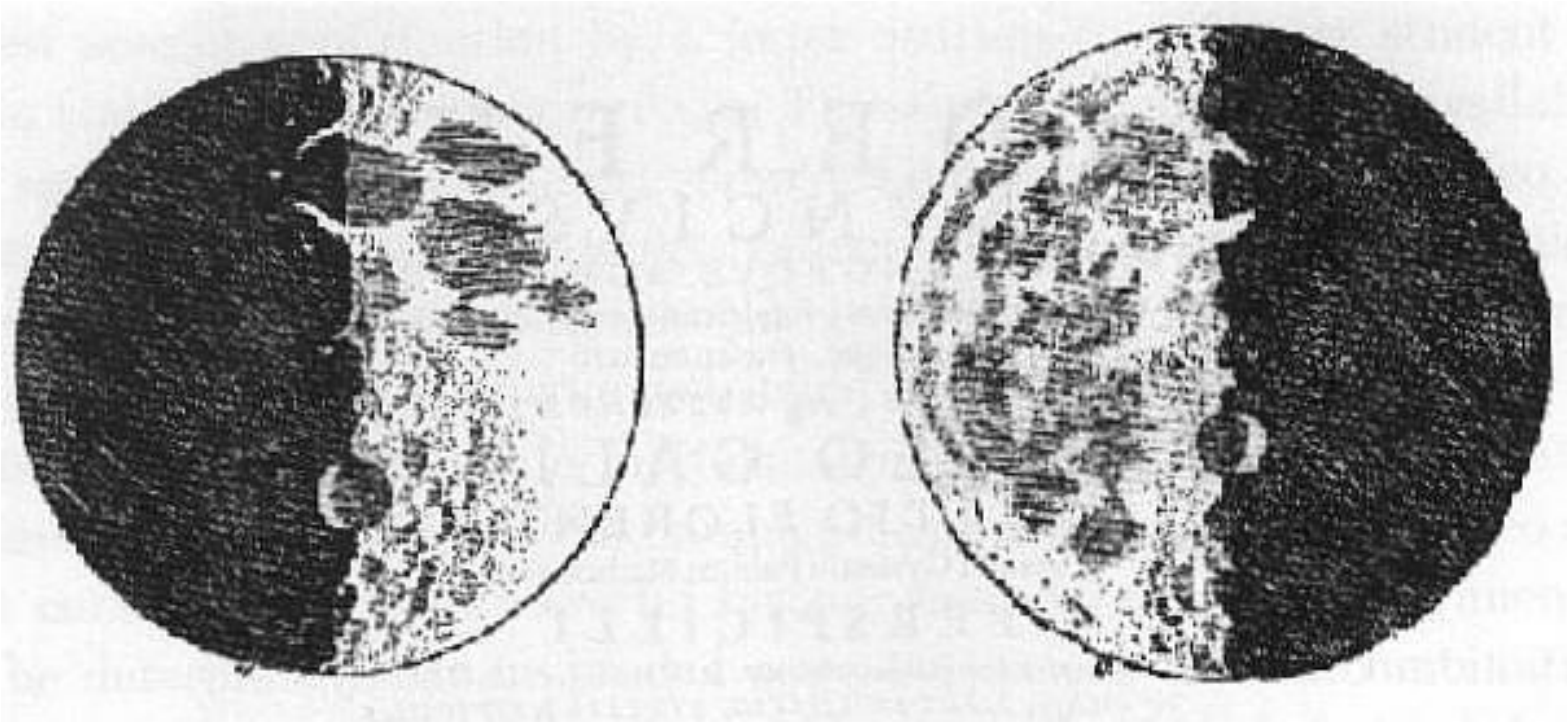


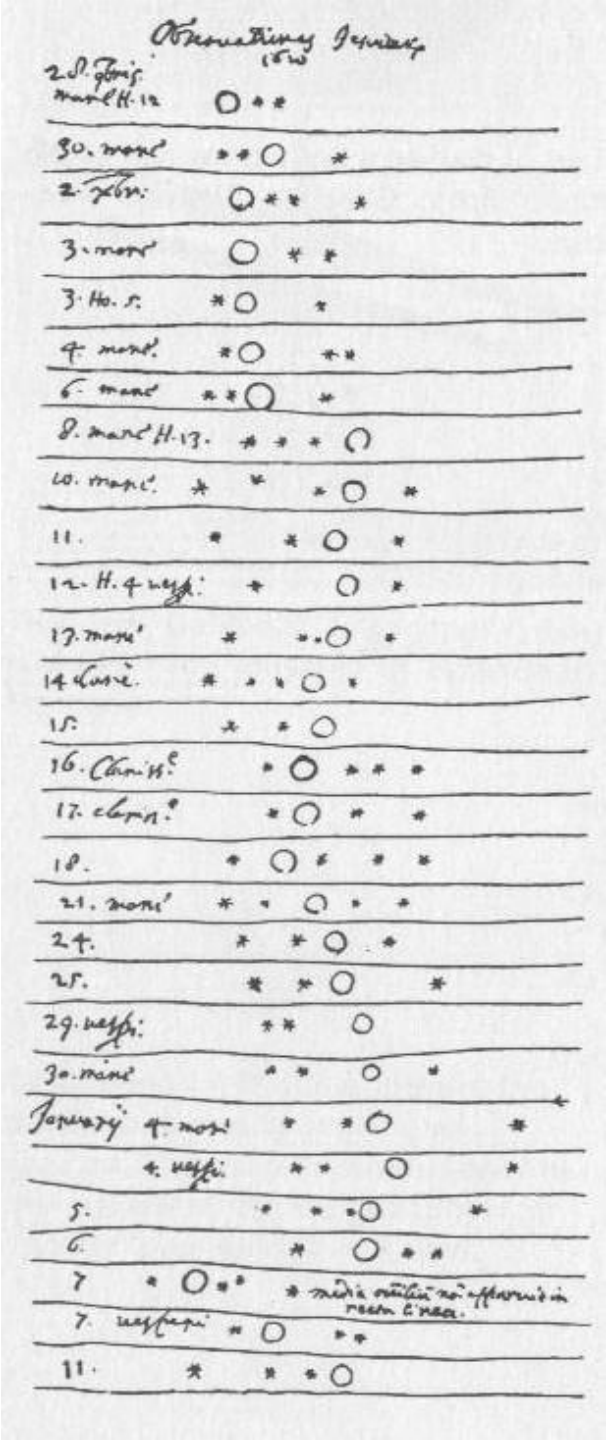
加利略 Galileo

1564-1642



加利略的望遠鏡




Observations January
1610
20. Gouv.
mane H. 12
30. mane
2. Febr.
3. mane
3. Ho. 5.
4. mane
6. mane
8. mane H. 13.
10. mane.
11.
12. H. 4 vesp.
13. mane
14 Cane.
15.
16. Chris.
17. eiusd.
18.
21. mane
24.
25.
29. vesp.
30. mane
January 4. mane
4. vesp.
5.
6.
7
7. vesperi
11.



木星及其衛星

與亞里斯多德的說法不同

