

A deep space photograph showing a vast field of stars. The stars are of various colors, including blue, white, yellow, and red. There are also some nebulae or interstellar clouds visible, particularly in shades of red and purple. The background is a dark, starry sky.

從粒子觀宇宙

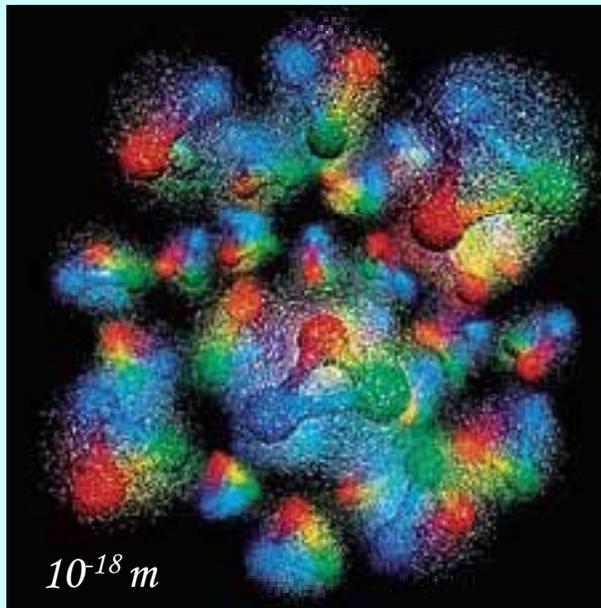
朱明中
香港中文大學物理系
24/2/2012

粒子天文物理

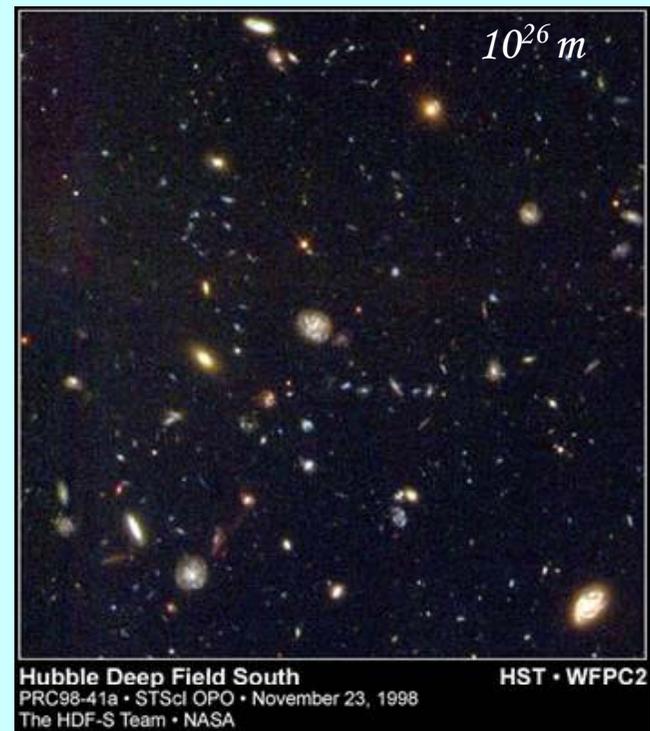
基本粒子物理: 最小尺度時空

天文物理及宇宙學: 最大尺度時空

粒子天文物理 (*astroparticle physics*): 從粒子觀宇宙



質子內的夸克模擬
courtesy BNL



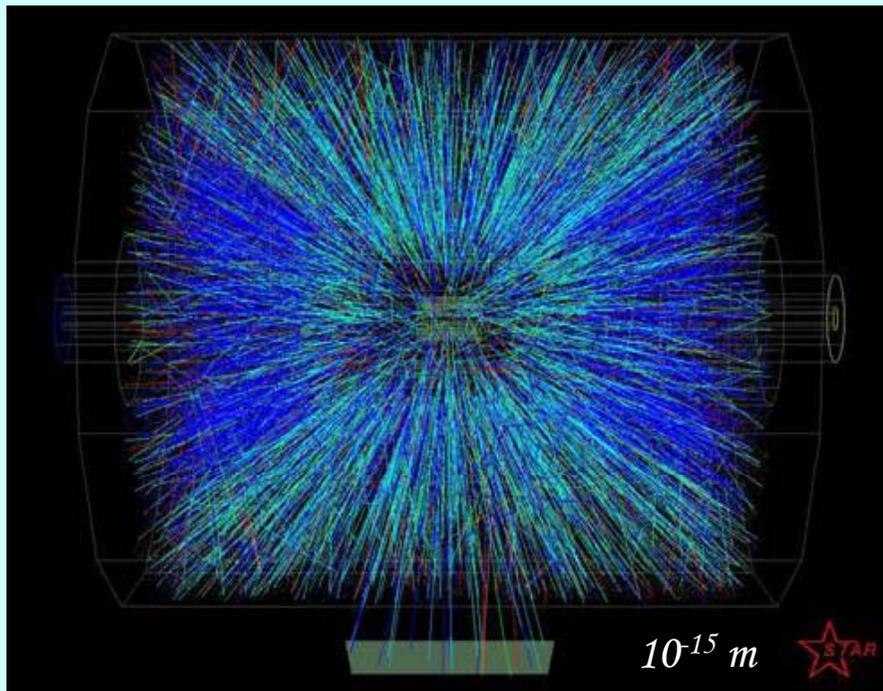
深空星系

Photo courtesy NASA/STScI

粒子天文物理

粒子的相互作用，主宰星體的生老病死，以致宇宙的演化！
星體放射各種粒子，帶有重要訊息。

例如：**中微子**天文/宇宙學，重溯宇宙大爆炸，反物質宇宙



粒子撞擊實驗
courtesy STAR/BNL

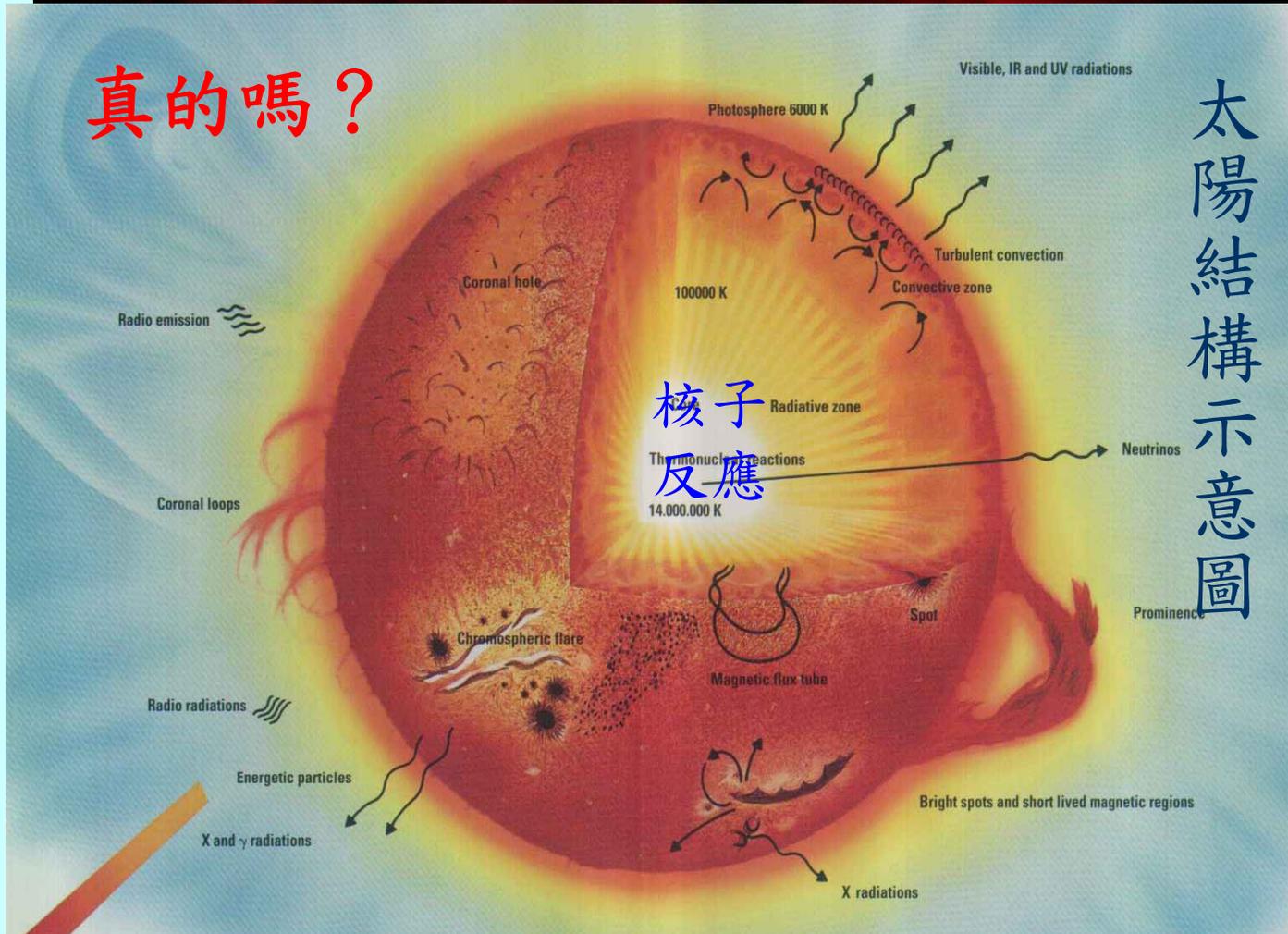


宇宙膨脹
courtesy NASA/STScI

太陽X光照

怎樣可以看穿星星？

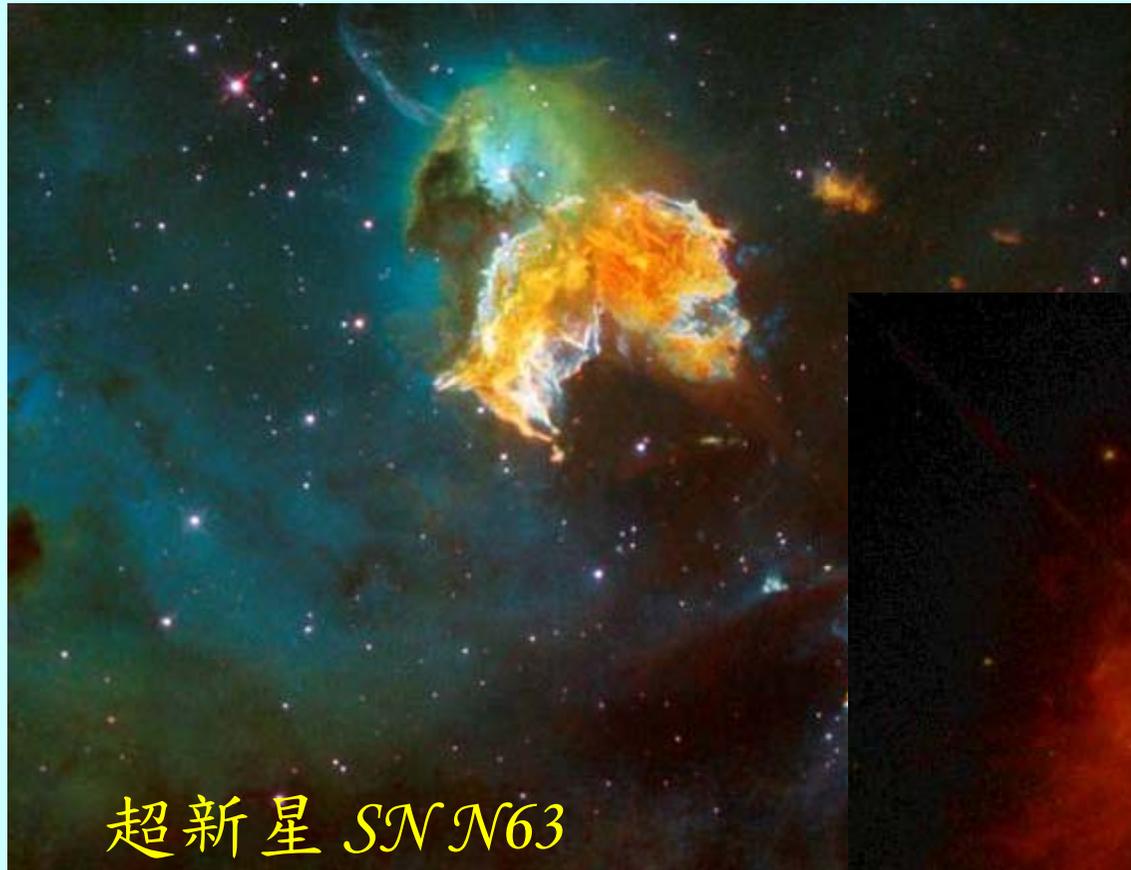
真的嗎？



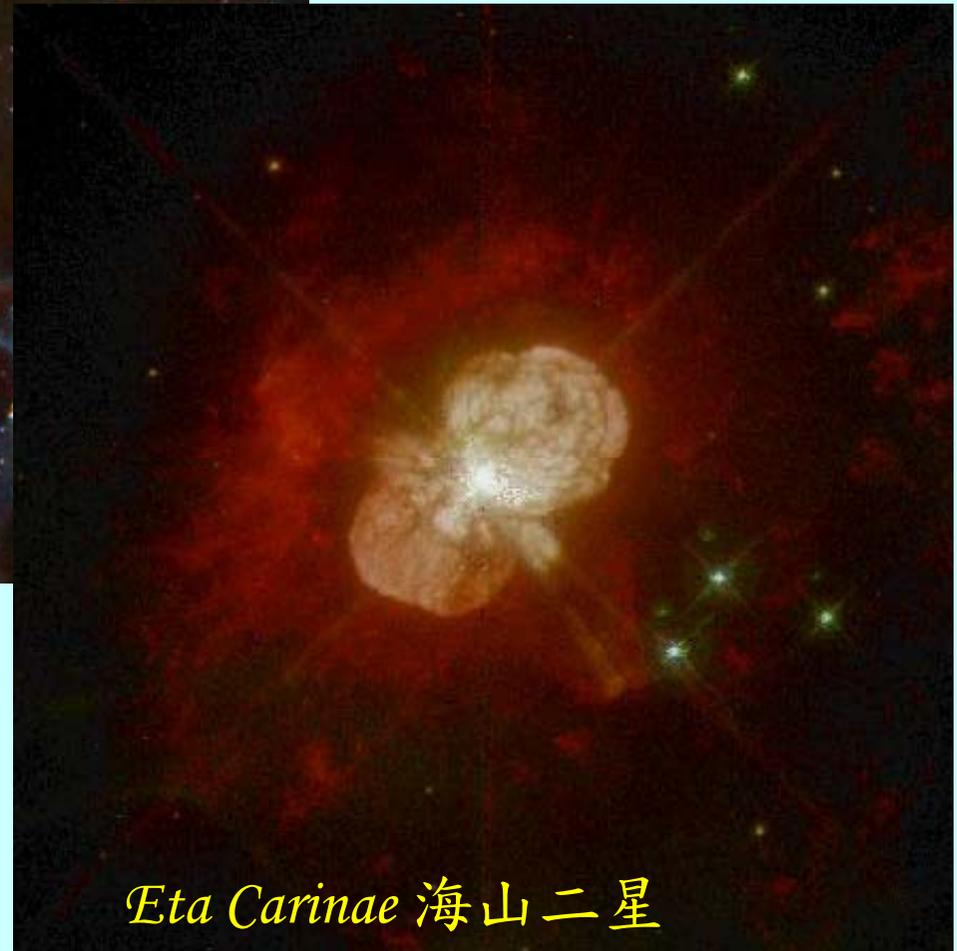
Courtesy GOES Solar X-ray imager, NOAO

恆星爆炸

內部發生甚
麼事？



超新星 SN 1963



Eta Carinae 海山二星

Photo courtesy NASA/STScI

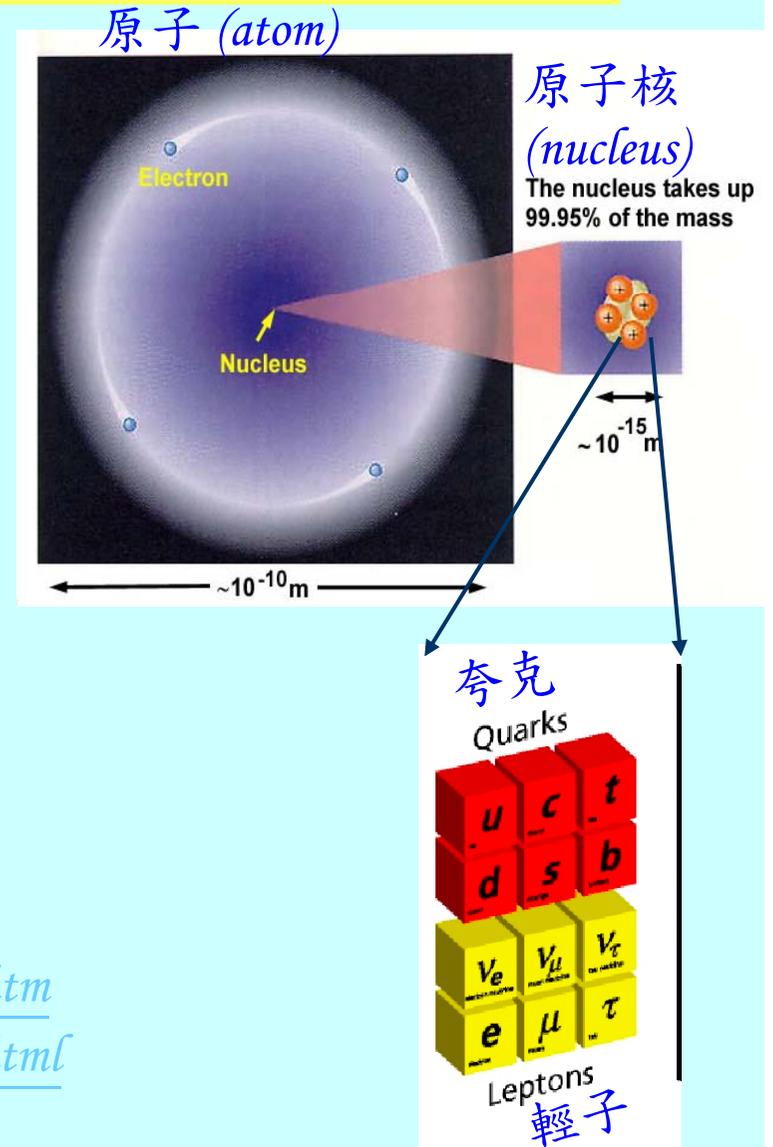
中微子 *Neutrino*

- 基本粒子之一(如電子)
 - 有三種: ν_e ν_μ ν_τ
 - 不帶電荷
 - 只有弱作用及重力，沒有強作用及電磁力
- 穿透力極高 (太陽中微子平均每
一百萬粒穿越地球只有一粒有
反應): **幽靈粒子**
- 帶有質量，但極小

<http://news.mingpao.com/20110924/taa2.htm>

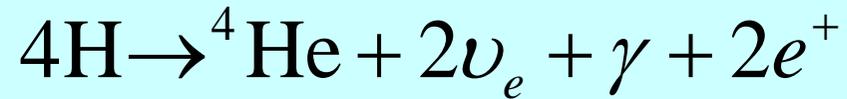
<http://www.ps.uci.edu/~superk/neutrino.html>

<http://wwwlapp.in2p3.fr/neutrinos>



中微子 *Neutrino*

- 核融合反應中製造, 如太陽核心:



每秒發出約 2×10^{38} 中微子!

地球每秒每平方公分接收約四百億粒

每秒每平方公分接收核電廠發出約一億粒

每人每天約發出三億粒 (體內放射性元素)

全宇宙每立方公分約有三百粒為宇宙初開
大爆炸所製

Proton-proton fusion chain process



1st step: In two separate reactions, 2 protons
in each reaction fuse

<http://www.lapp.in2p3.fr/neutrinos>

Animation from:

<http://www.astronomynotes.com/starsun/s3.htm>

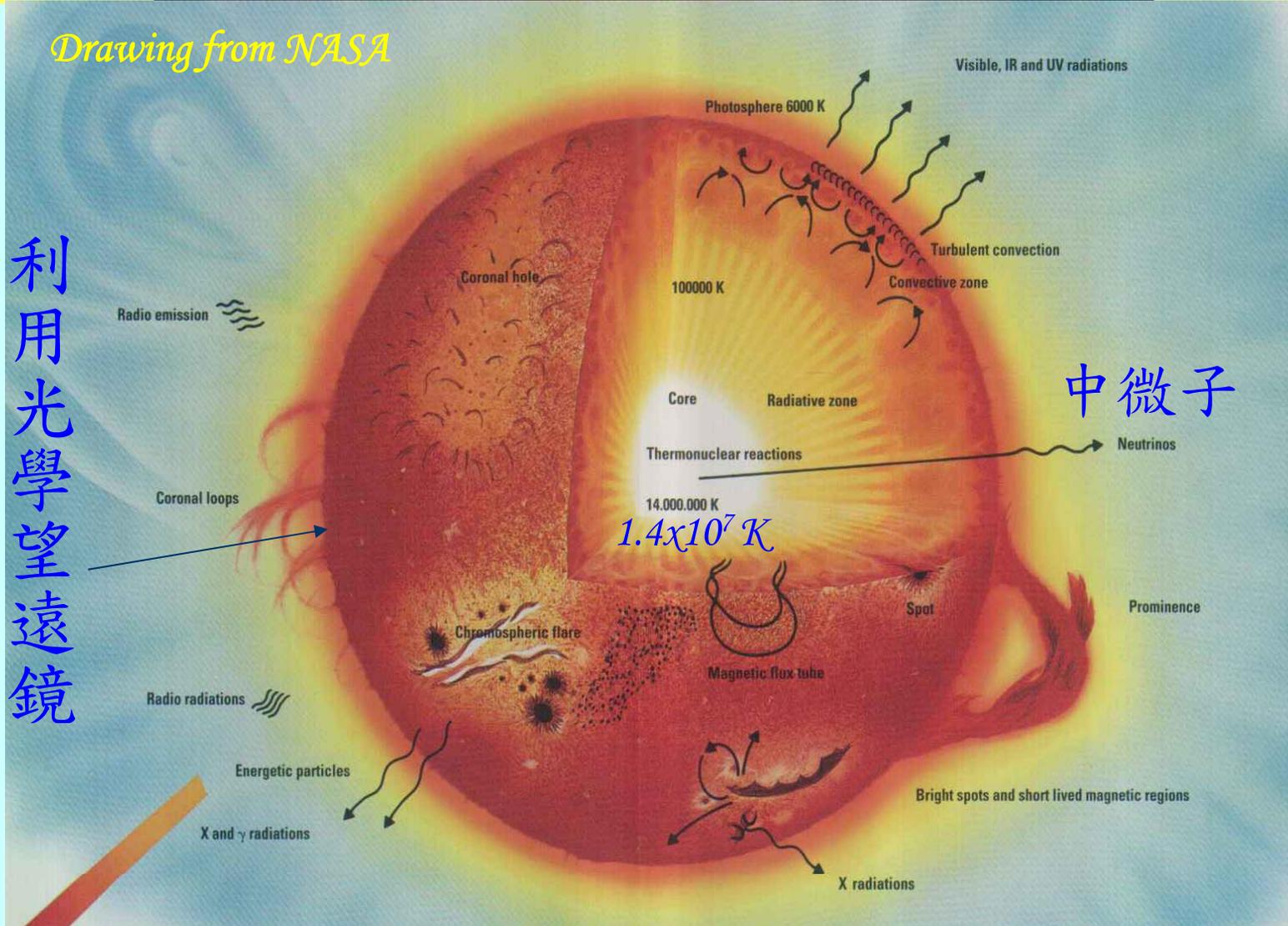
中微子天文學

- 高溫、高密度星體放射大量中微子
- 中微子穿透性強，帶有星體內部資訊
- 如：恆星核心
- 星球爆炸：超新星 (*supernova*)
- 超新星遺留致密星 (*compact star*)
- 大爆炸 (*Big Bang*) → 宇宙中微子背景
- ...

<http://cupp oulu.fi/neutrino/>

恆星核心

Drawing from NASA



利用光學望遠鏡
只看見表面

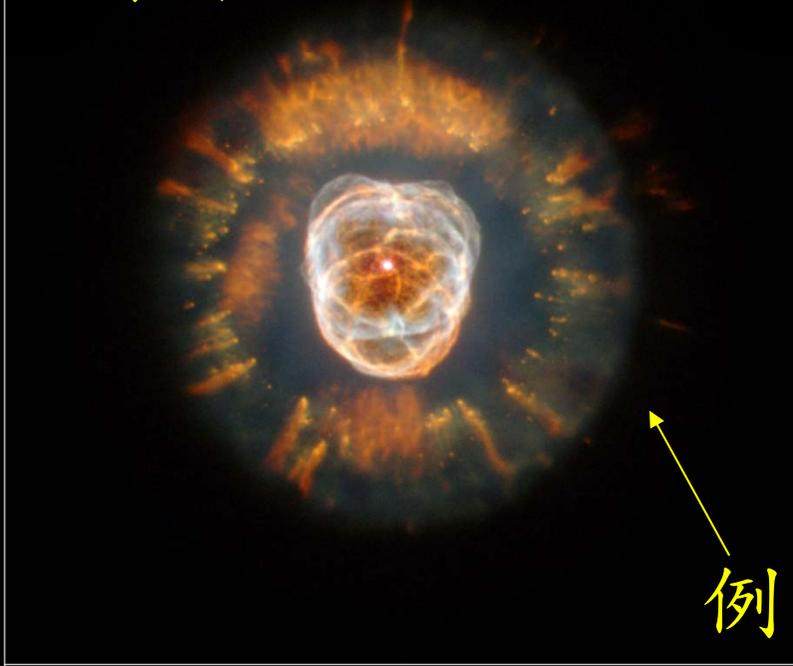
中微子

太陽.. 典型恆星

Photo from SOHO, <http://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/>

超新星 (Supernova)

質量大於二至三倍太陽的恆星死亡時必經
爆炸階段

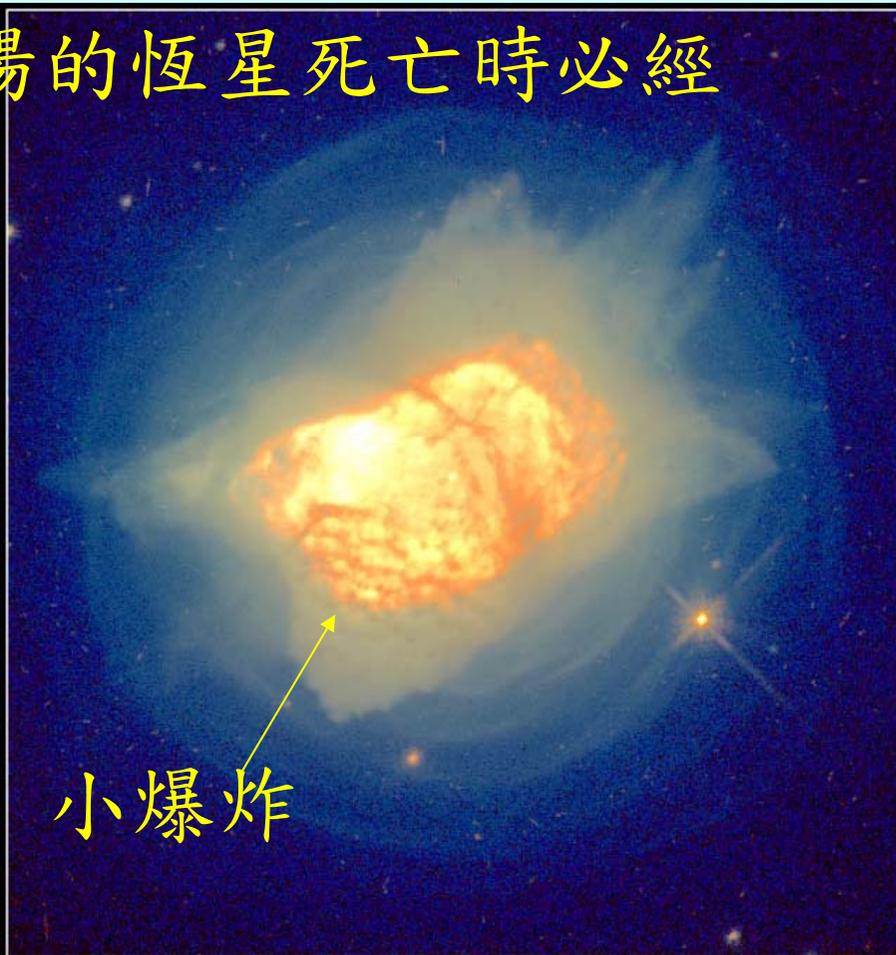


例：

NGC 2392 • "Eskimo" Nebula
Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-07

Photos courtesy HST/NASA



小爆炸

Planetary Nebula NGC 7027

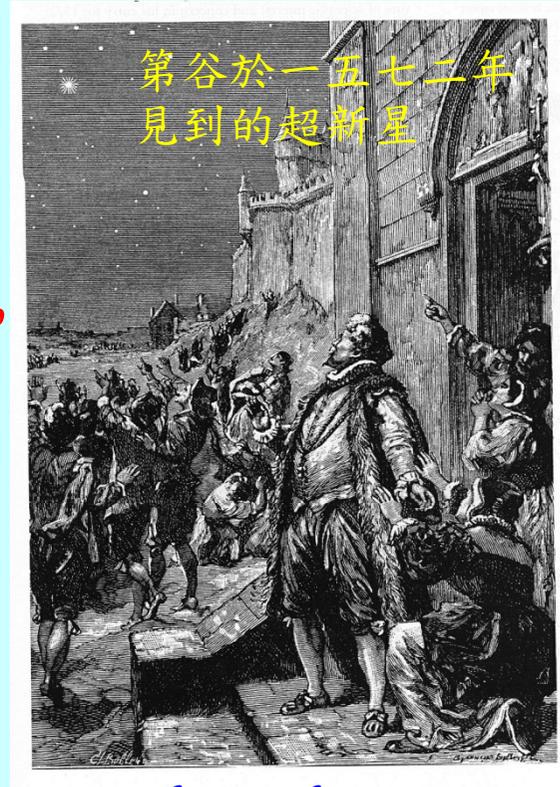
HST • WFPC2

PRC96-05 • ST ScI OPO • January 16, 1996 • H. Bond (ST ScI) and NASA



11/11/1572

奇妙的事情發生了，
世界從此不一樣…



from Tycho Brahe's "Stella Nova", taken from
the [online edition](#) at the Danish National
Library of Science and Medicine

"On the 11th day of November in the evening after sunset, I was contemplating the stars in a clear sky. I noticed that a new and unusual star, surpassing the other stars in brilliancy, was shining almost directly above my head;... A miracle indeed, one that has never been previously seen before our time, in any age since the beginning of the world."

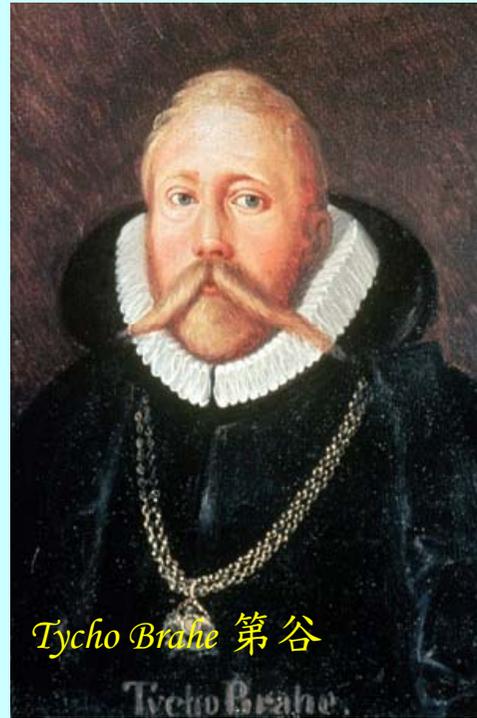
《明實錄》：“隆慶六年十月初三日丙辰，客星見東北方，如彈丸，…歷十九日壬申夜，其星赤黃色，大如盞，光芒四出，…十月以來來，客星當日而見。”

<http://seds.org/~spider/spider/vars/sn1572.html>

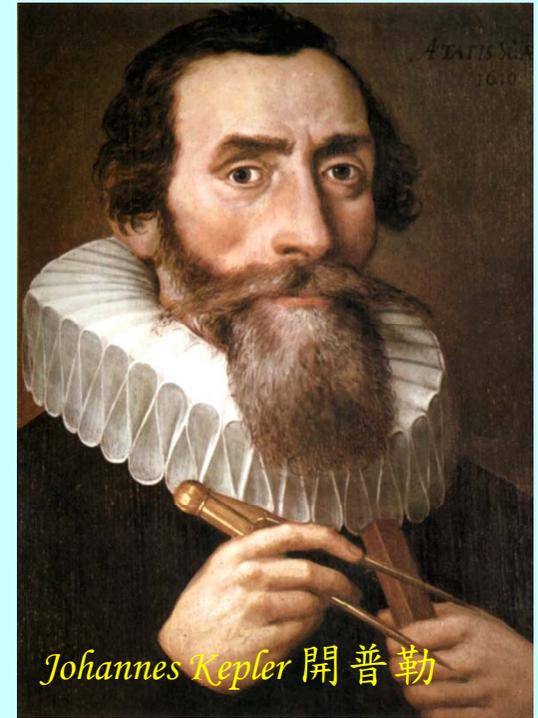
<http://zy.aqst.gov.cn/mytc/200804/73.html>

第谷聲名大噪，丹麥國王便賞賜了文島及資金給他建造世上最先進的天象台。

第谷的觀測數據支持哥白尼的日心說，導出開普勒的行星定律，伽利畧、牛頓等的力學，有助開啟了科學革命的門



Tycho Brahe 第谷



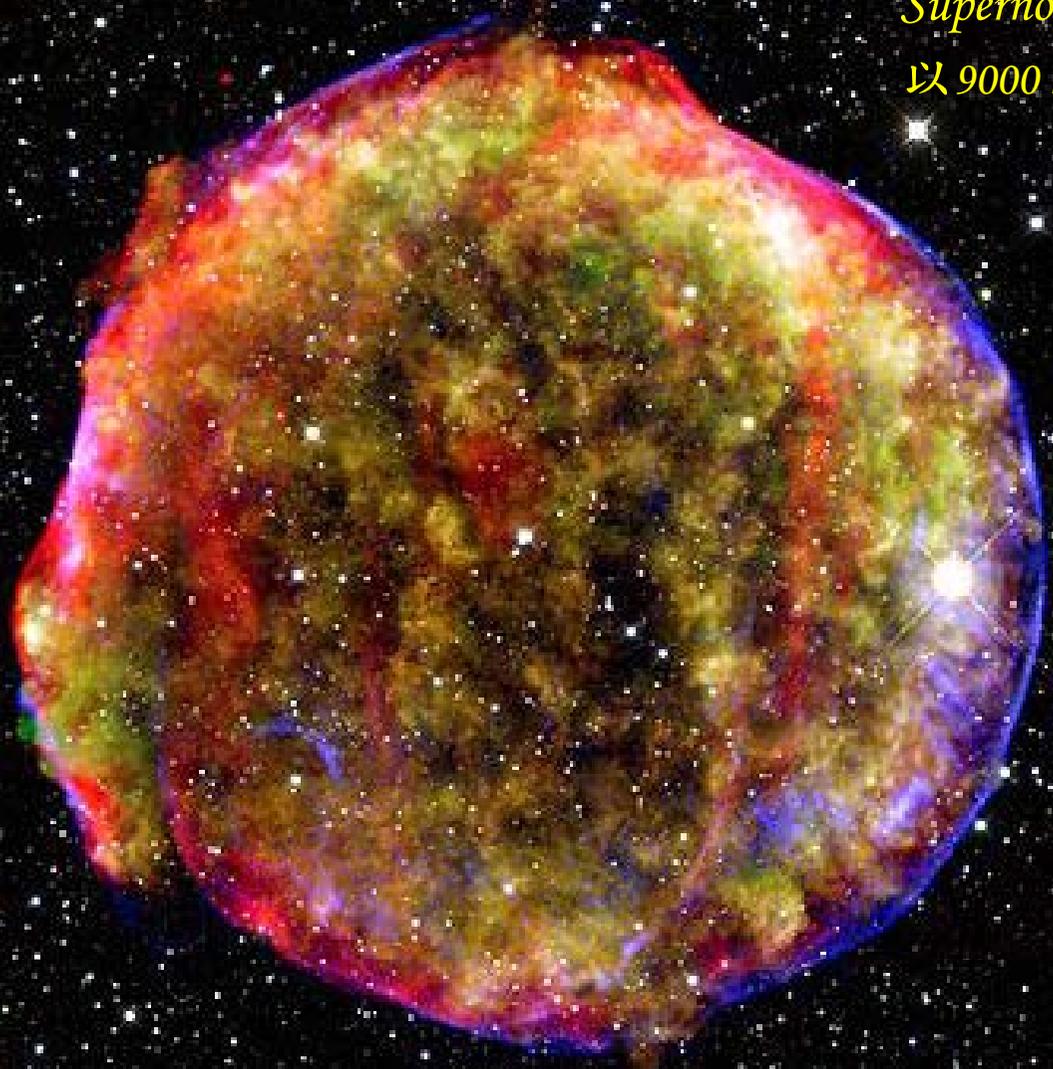
Johannes Kepler 開普勒



第谷於文島上建造的天象台



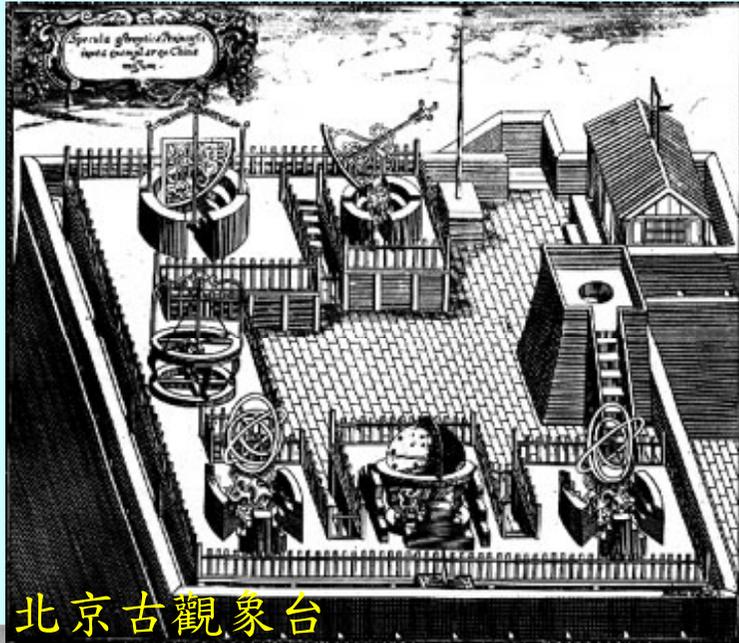
第谷超新星殘餘 *Tycho's*
Supernova Remnant
以 9000 km/s 膨脹



NASA/MPIA/Calar Alto Observatory, Oliver Krause et al.

第谷與中國

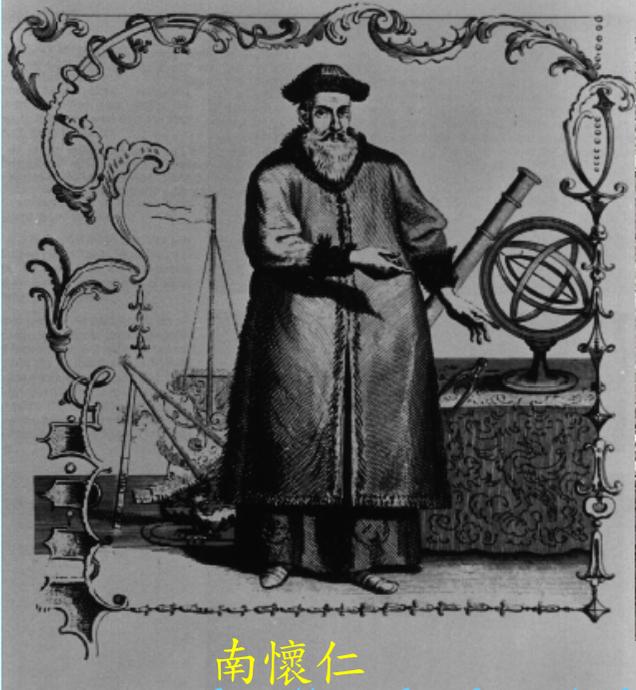
湯若望與南懷仁等教士均以第谷的理論（地心說）、觀測數據及方法作天文推算，改良了中國曆法，取得皇帝信任，從而可以在中國傳教。



北京古觀象台

Le Pere Ferdinand Verbiest.

農曆~時憲曆 (1670)



南懷仁

http://en.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_Verbiest



湯若望



康熙與耶穌會教士

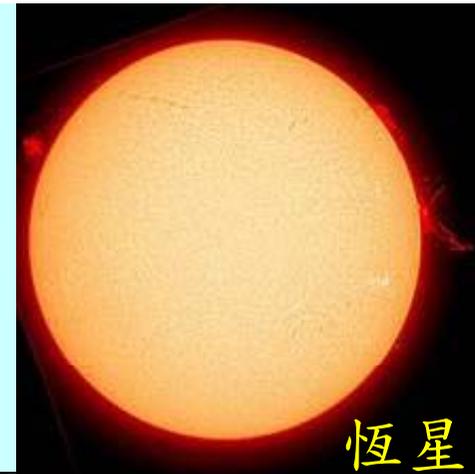
你來自超新星

除了氫和氦，大部份原素源自星球內部的核反應

人體的化學成份

元素	佔質量 百分比
Oxygen 氧	65
Carbon 碳	18
Hydrogen 氫	10
Nitrogen 氮	3
Calcium 鈣	1.5
Phosphorus 磷	1.2
Potassium 鉀	0.2
Sulfur 硫	0.2
Chlorine 氯	0.2
Sodium 鈉	0.1
Magnesium 鎂	0.05
Iron 鐵	~ 3g
Cobalt, Copper, Zinc, Iodine	< 0.05 each
Selenium, Fluorine	< 0.01 each

From R. Chang, Chemistry, 9th Ed., McGraw-Hill.



恆星



星雲



傻仔
傻女

超新星 1987A



Photo credit: Anglo-Australian
Observatory

星球大爆炸 16萬光年外

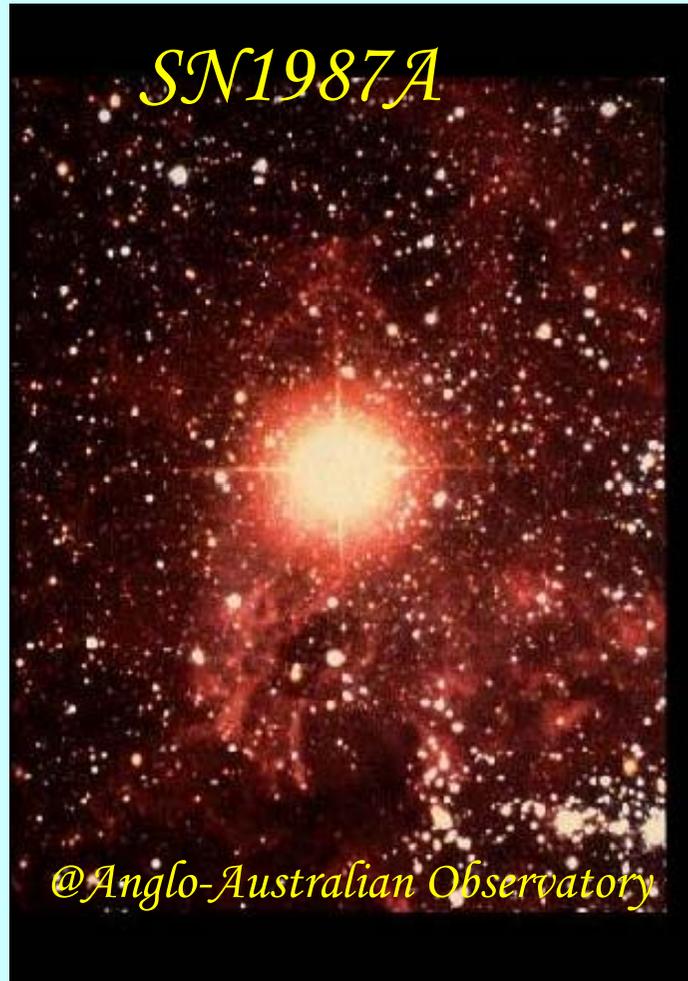
<http://www.aao.gov.au/images/captions/aat050.html>

超新星中微子

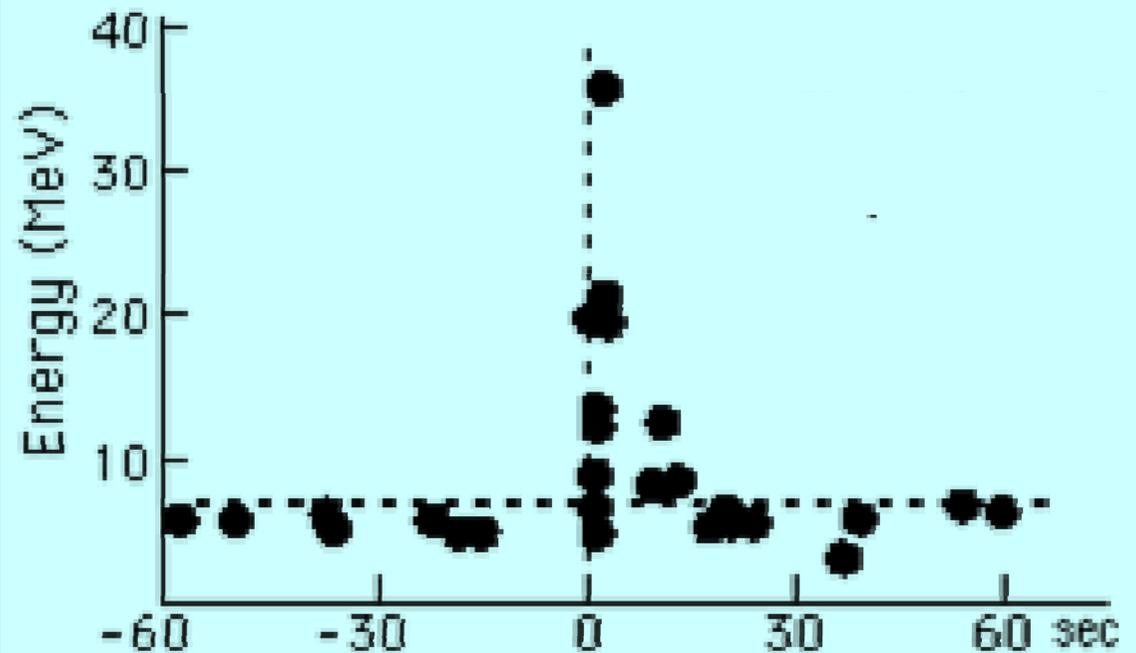


- 超新星: 高溫高壓物質
- 超新星必經極密極熱階段:
產生大量(幾秒內 $\sim 10^{58}$)中微子
- 中微子被困短時間，之後帶走大部份能量
- 帶有超新星內部資料

超新星中微子



Superkamiokande 及 IMB 測得
SN1987A 之中微子



中微子與光子經過十六萬
年在幾小時之間到達地球

$$\rightarrow |v-c|/c < 2 \times 10^{-9}$$

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk/index.html>

<http://cupp oulu.fi/neutrino/nd-sn.html>

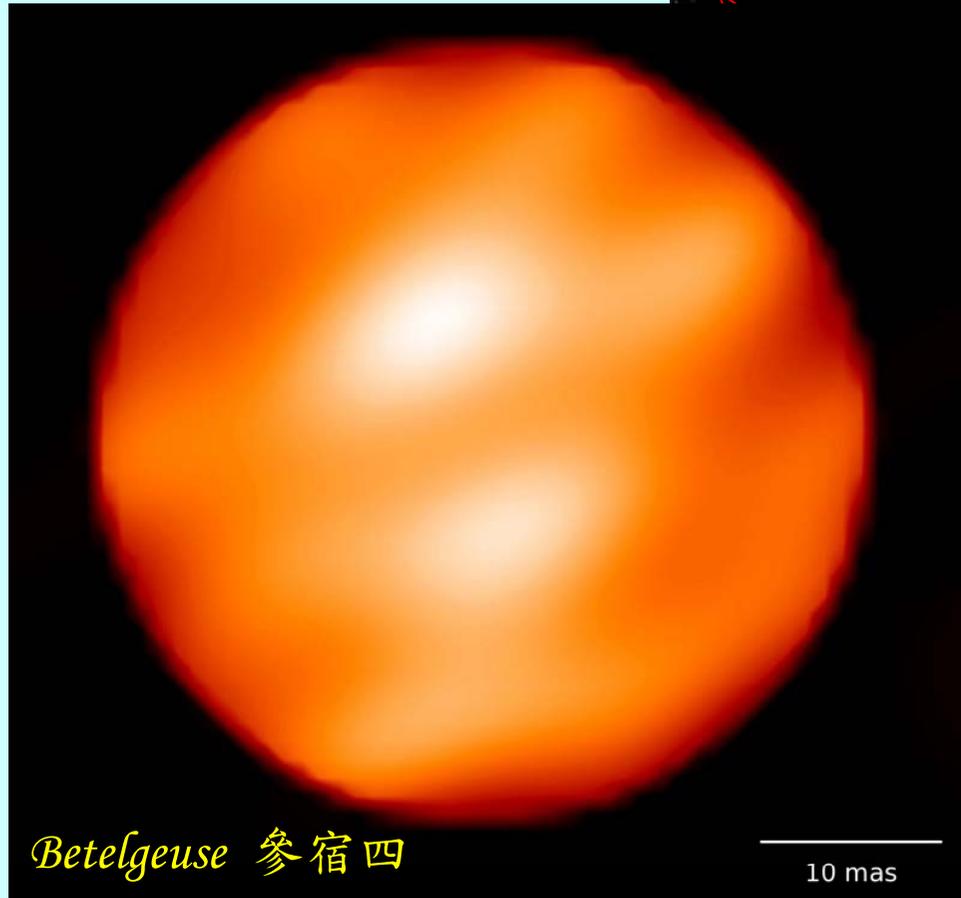
2012年出現兩個太陽？

http://hk.apple.nextmedia.com/template/apple/art_main.php?iss_id=20110124&sec_id=15335&art_id=14900470



銀河系內下 一超新星?

http://hk.apple.nextmedia.com/template/apple/art_main.php?iss_id=20110124&sec_id=15335&art_id=14900470



Betelgeuse 參宿四

10 mas

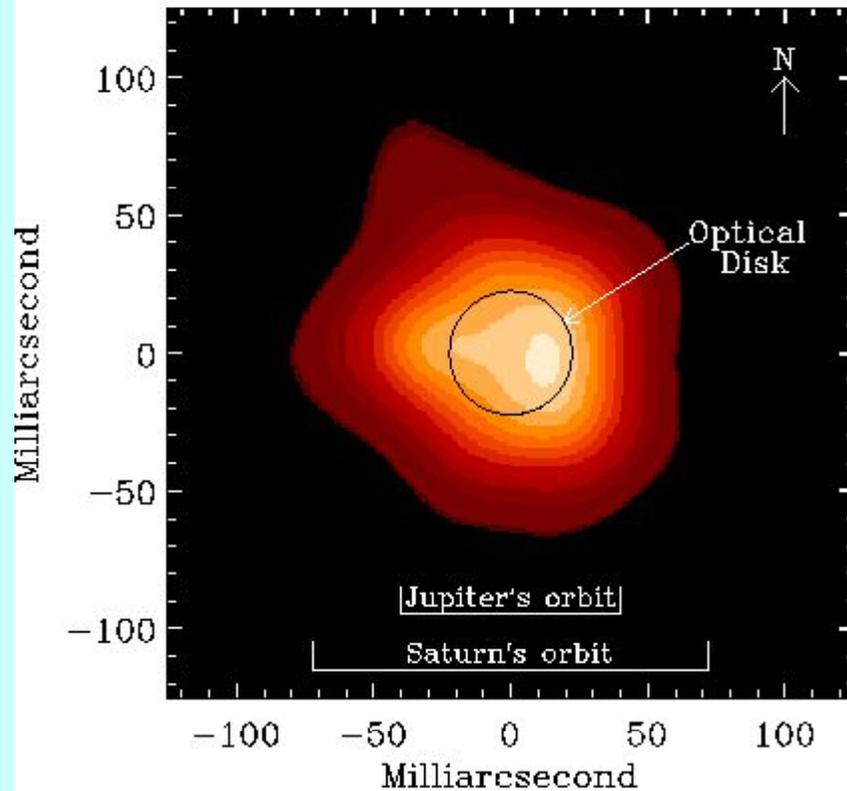
UT
200 15s x 3 frames fl=60mm (35mm equiv.)

紅巨星, 距離 430 ± 100 (643 ± 147) 光年
變星: 光度變化 0.2 – 1.2 等, 5.7 年周期
12-17 倍太陽質量, 半徑 ~550-920 倍
表面溫度 ~ 3600 ± 66 K

Credit: Xavier Haubois ([Observatoire de Paris](http://www.observatoiredeparis.fr)) et al.

<http://www.solstation.com/x-objects/betelgeuse.htm>

7mm Radio Image of Betelgeuse's Atmosphere



Courtesy of J. Lim, C. Carilli, S. M. White,
A. J. Beasley, & R. G. Marston

猛烈對流令大氣膨
脹至土星軌道大小



2009: 磨菇雲被噴射
至六倍星球半徑
死亡: 超新星爆炸

<http://www.chinareviewnews.com/doc/1015/7/9/8/101579890.html?coluid=7&kindid=0&docid=101579890&mdate=0125091917>

<http://www.solstation.com/x-objects/betelgeuse.htm>

致密星 (*Compact stars*)

超新星爆炸遺留致密星 = 恆星屍骸

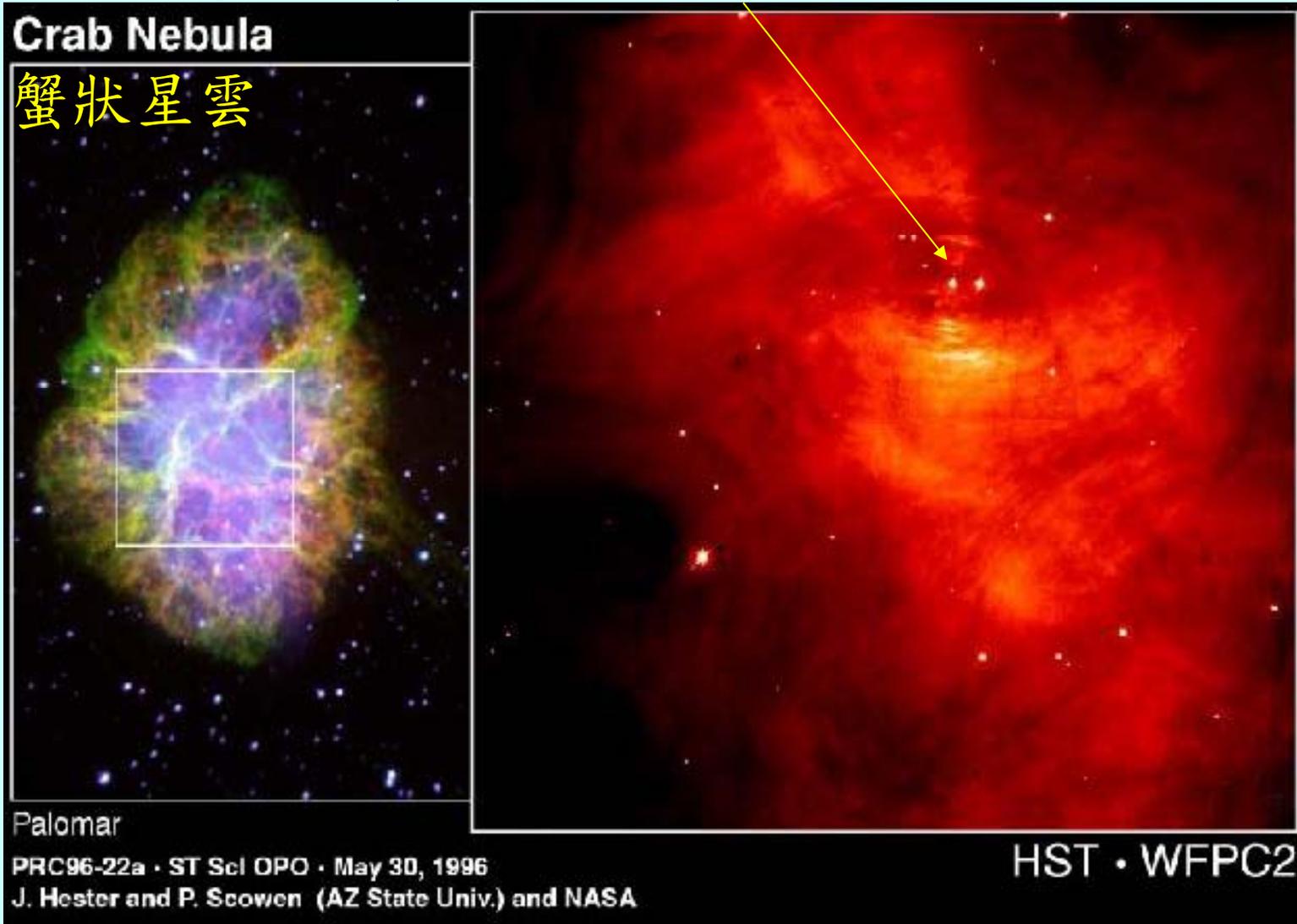


Photo courtesy NASA/STScI

致密星

約太陽質量壓縮至香港大小
 $\sim 10^{15} \text{ g/cc}$

已發現超過一千顆

構造? 物質狀態? 中子? 夸克 (奇異星)? 需瞭解粒子在高密度及強相互作用的狀態。



黃嘉華



<http://www.astronomynow.com/news/n1108/01chandra/>

$\sim 50 \text{ km}$

Photo credit: NASA

<http://www.fourmilab.ch/earthview/vplanet.html>

宇宙簡史

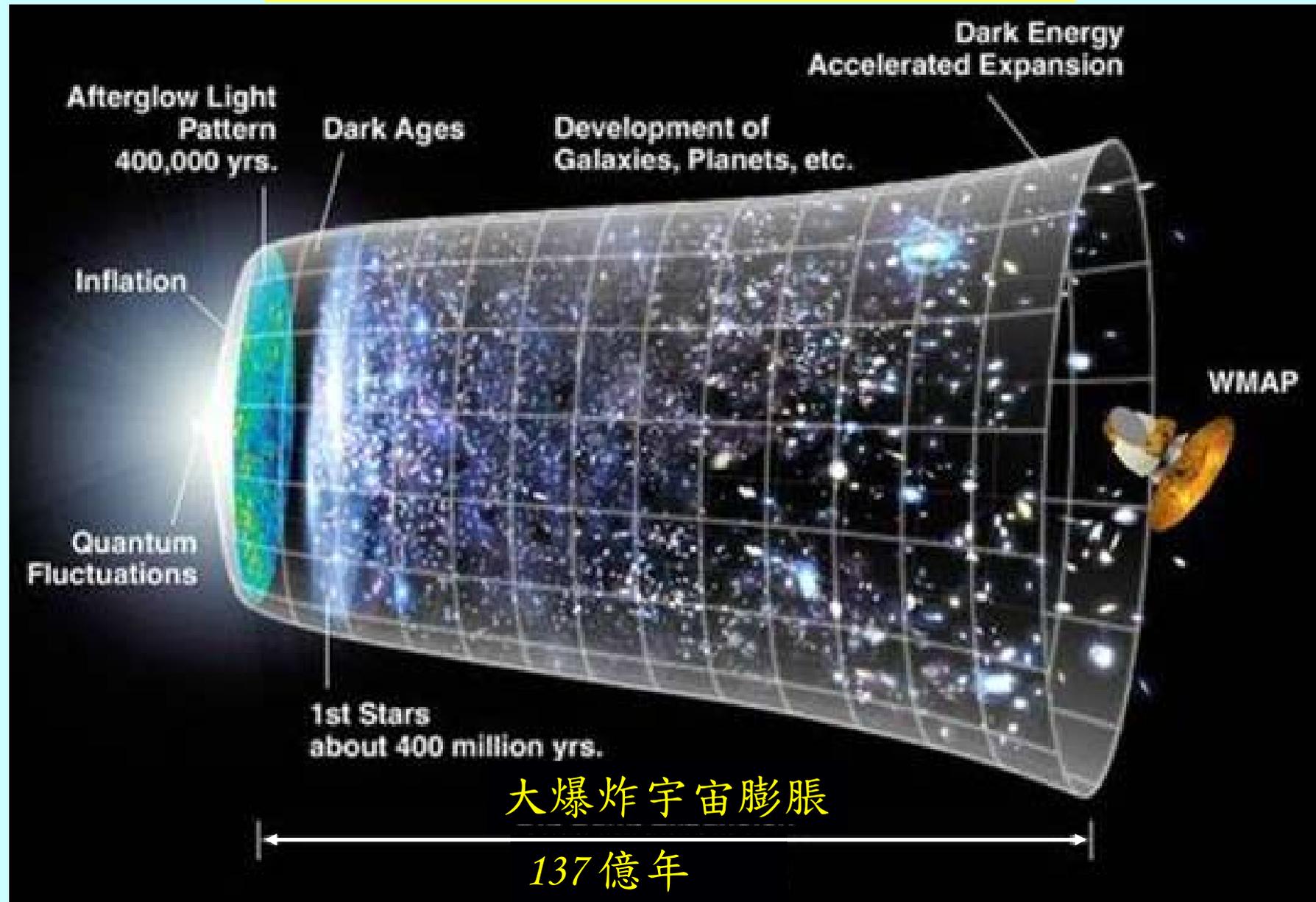
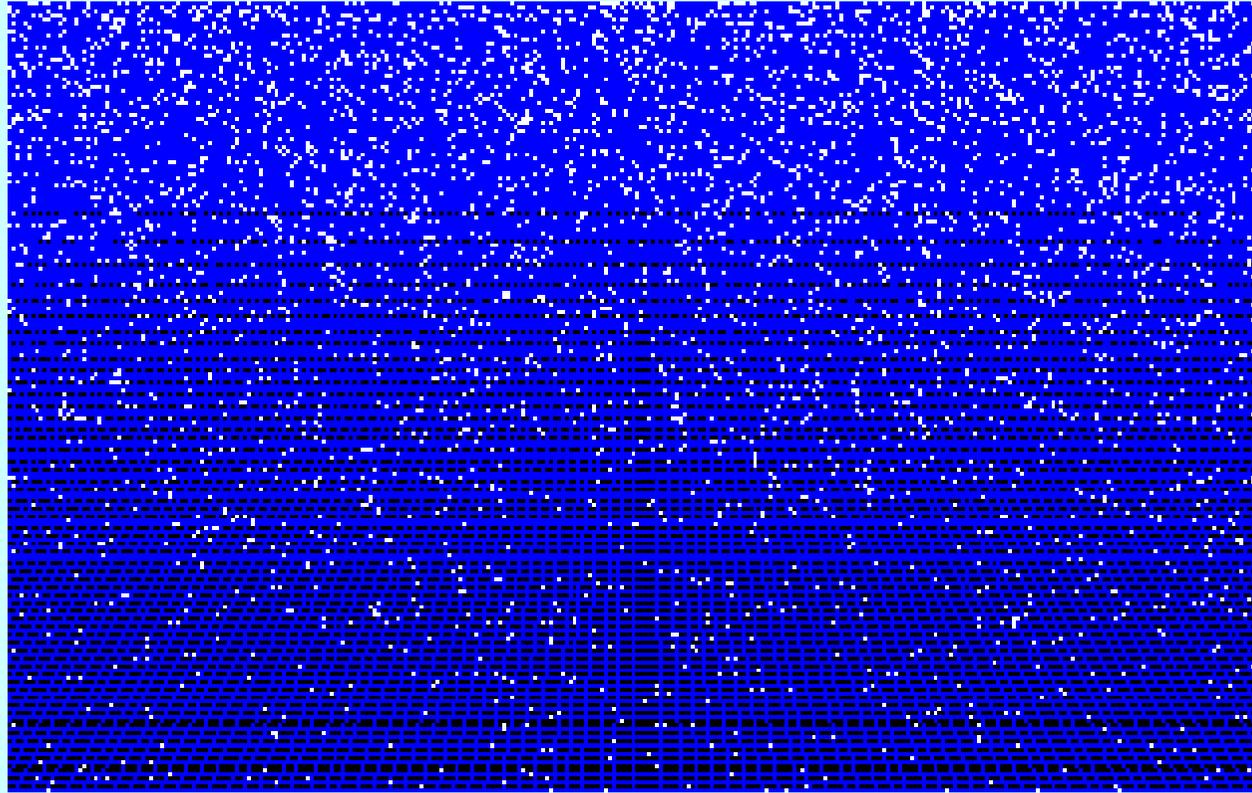


Figure courtesy NASA/WMAP

大爆炸 *Big Bang*

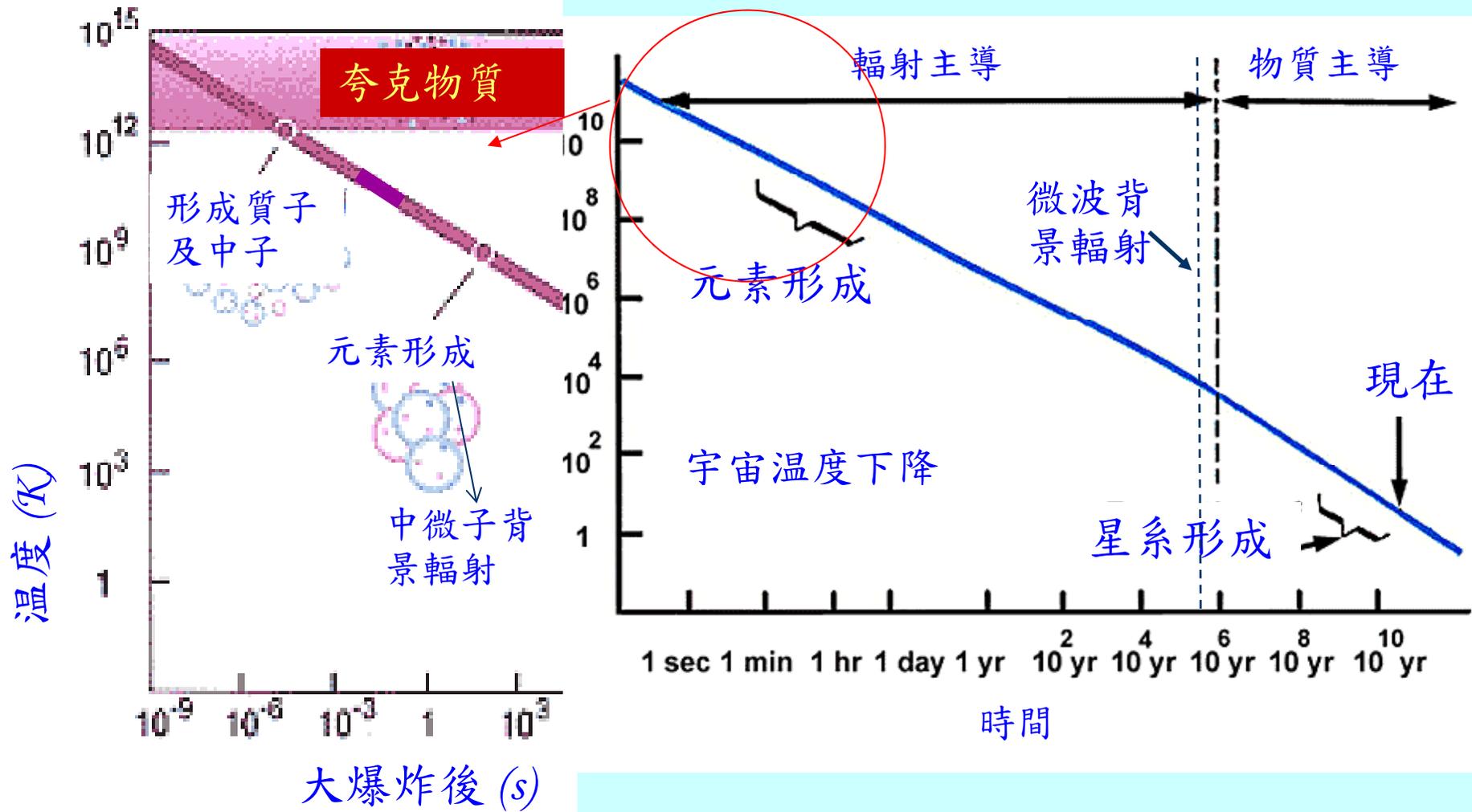


宇宙已膨脹了137億年，早期必然密度及溫度都很高→
製造大量中微子，至今天仍平均每立方公分有三百粒！

觀測宇宙中微子得知宇宙最早期(1s)狀況！

中微子數量遠多於電子及質子，影響深遠。

宇宙簡史

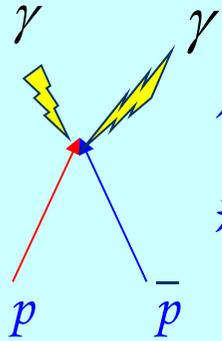


反物質研究

粒子 ↔ 反粒子

大部分性質相同，但電荷相反
例如：電子 e^- ，反電子 e^+ ，質量一樣

粒子與其反粒子有機會相互湮滅，
質量完全轉化成能量



CERN: 造出大量反氫原子 ($e^+ + p^-$)

需要把反粒子減速

用特別裝置儲存反原子

精確量度反原子性質

6/2011: >1000s!

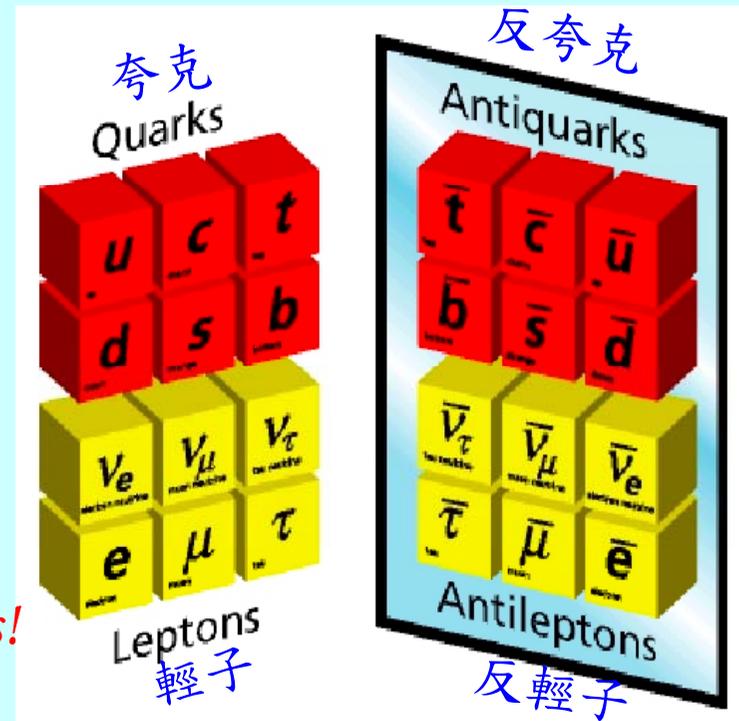


蘇卓文
CUHK BSc '08

<http://alpha-new.web.cern.ch/>

<http://www.nature.com/nphys/index.html>

<http://www.physorg.com/news/2011-06-cern-physicists-antihydrogen-atoms-minutes.html>



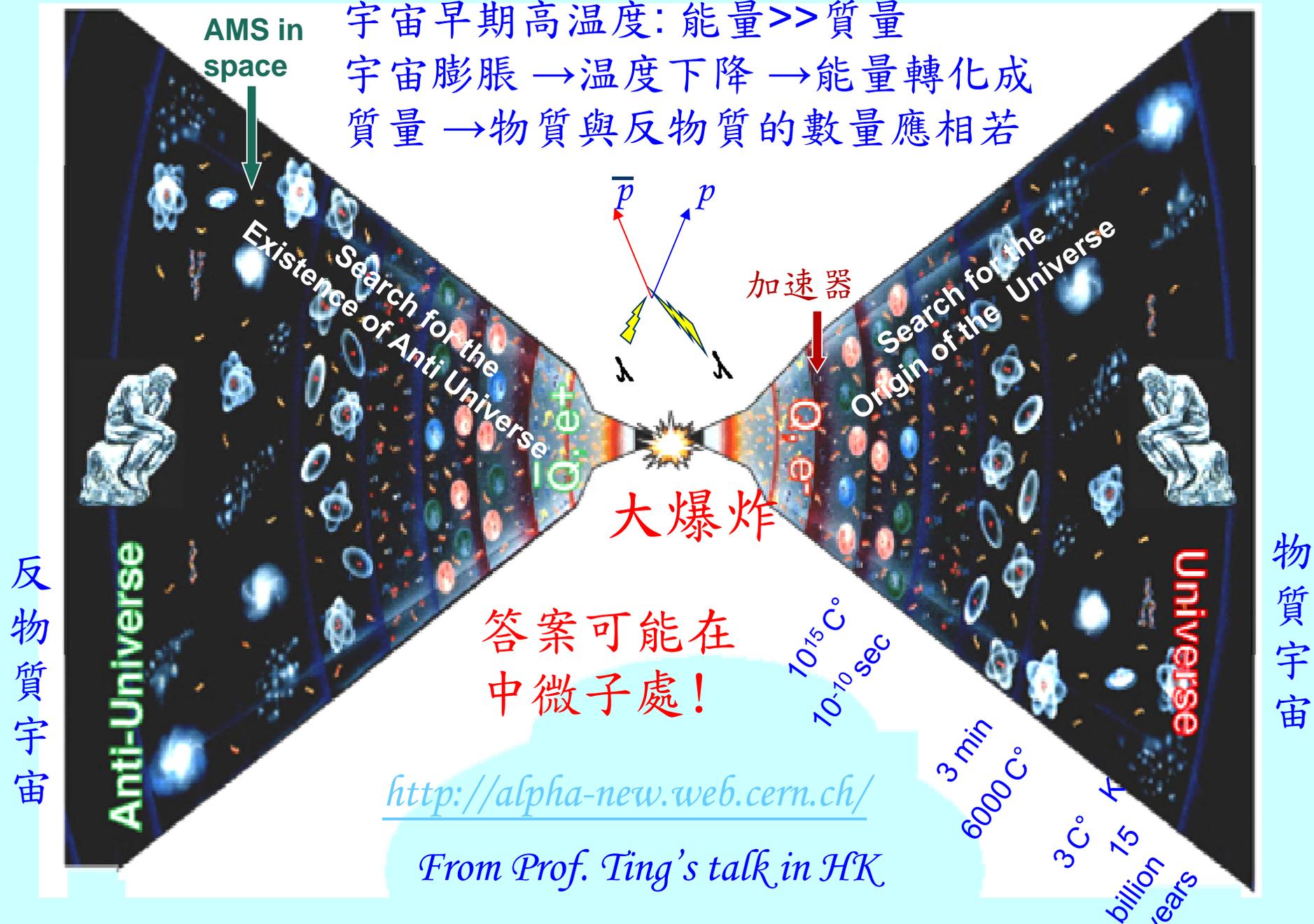
反粒子減速器



大件事：反物質失踪了！

宇宙早期高溫度：能量 \gg 質量

宇宙膨脹 \rightarrow 溫度下降 \rightarrow 能量轉化成
質量 \rightarrow 物質與反物質的數量應相若

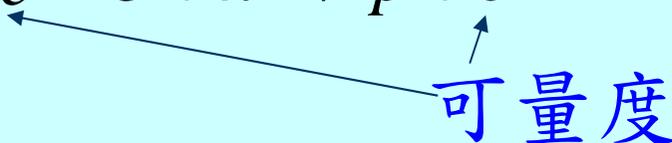


中微子宇宙學 *Neutrino Cosmology*

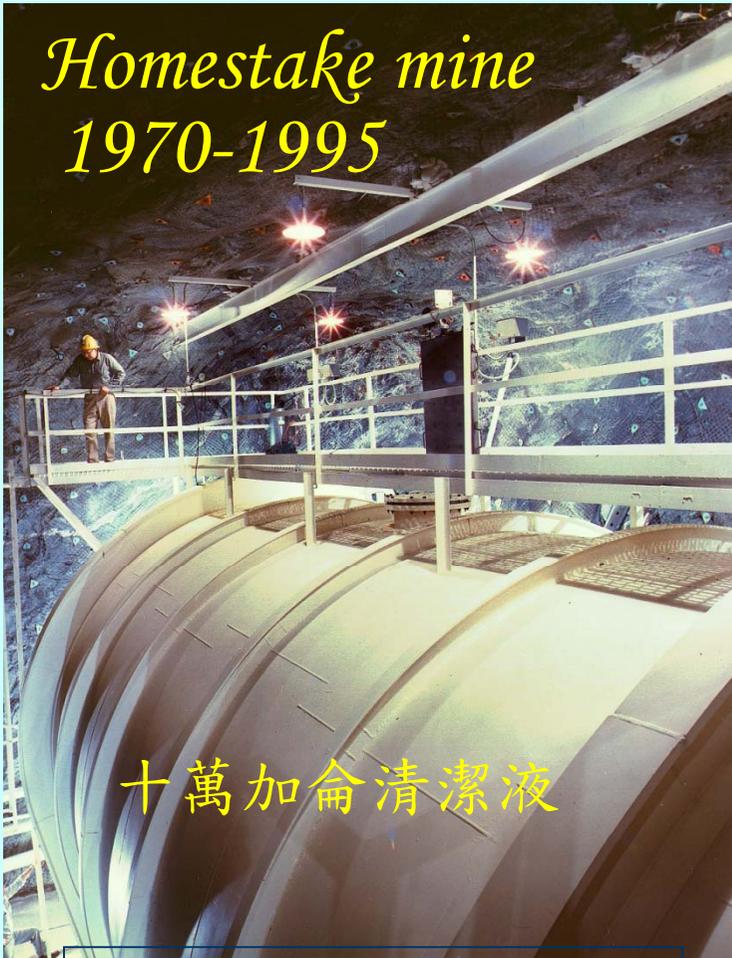
- 大爆炸製造大量中微子→觀測宇宙中微子可驗證大爆炸理論，及得知宇宙最早期狀況資料:理論上可「看」到的最遠景像
- 中微子數量及質量影響宇宙結構（星系、星系團等）之演化
- 中微子 CP 不守恆可能解釋宇宙物質-反物質的不對稱

怎樣建做中微子望遠鏡?

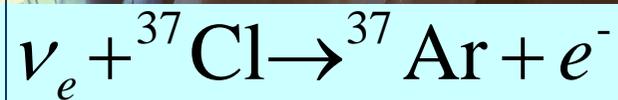
中微子望遠鏡

- 望遠鏡: 大面積收集遠方訊號
- 紀錄訊號→利用中微子與質子或中子的相互作用如 $\nu + p \rightarrow n + e^+$ $\nu + n \rightarrow p + e^-$
可量度
- 中微子與物質相互作用弱: 每噸物質每日平均只有數個反應
- 用大量物質

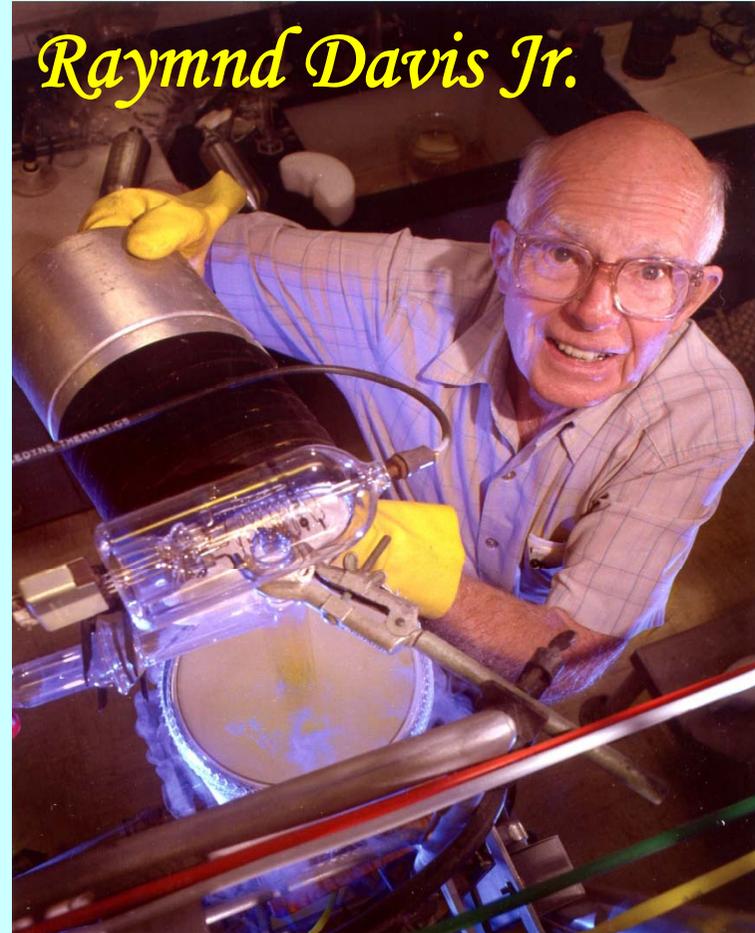
*Homestake mine
1970-1995*



十萬加侖清潔液



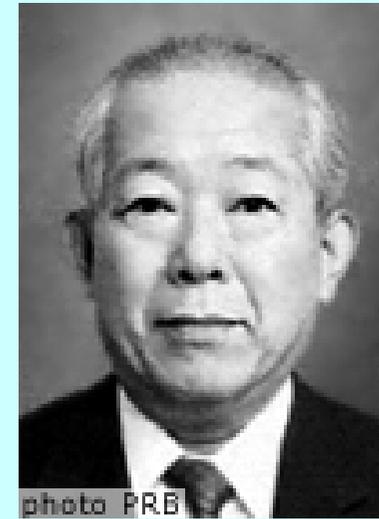
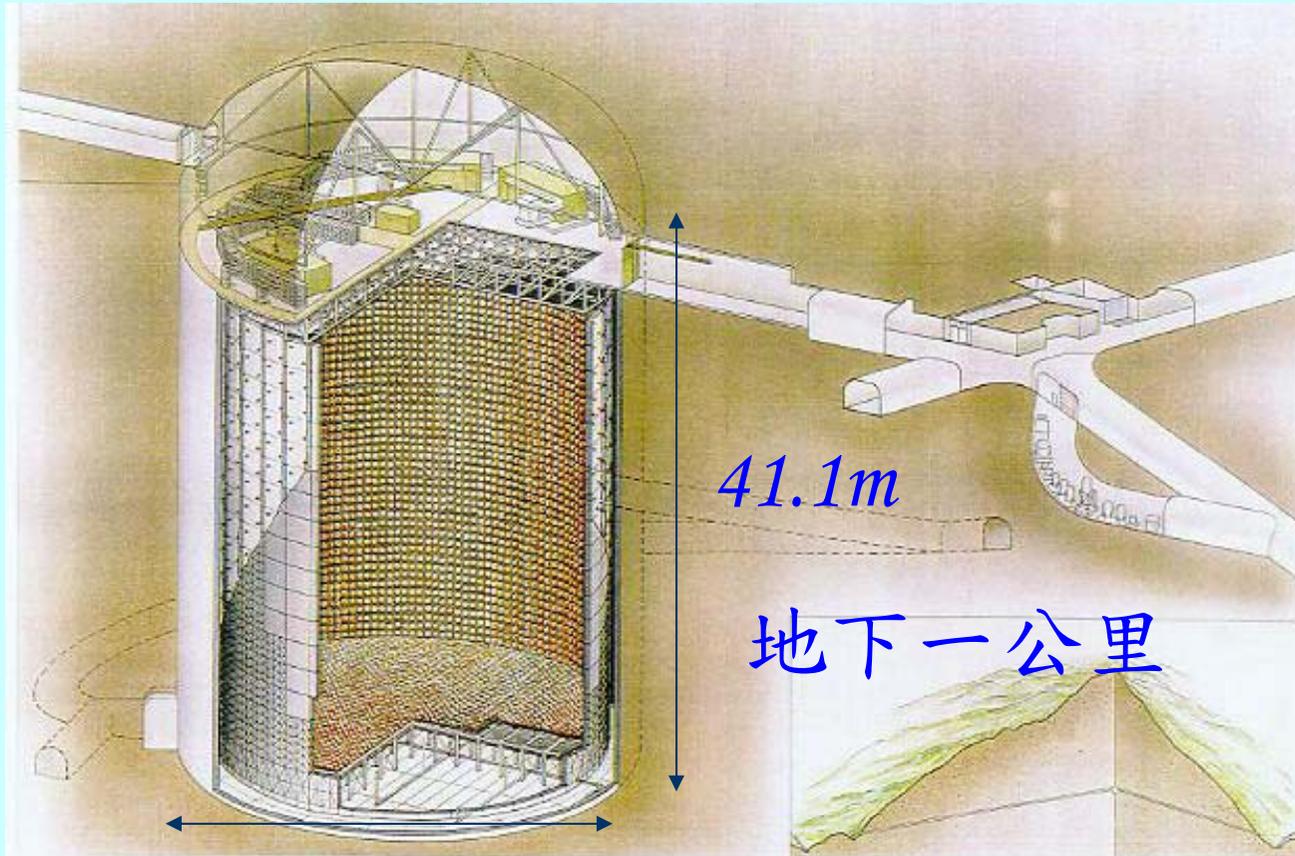
Raymond Davis Jr.



2002 Nobel Prize in Physics: “for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos”

Photos from Brookhaven National Lab <http://www.bnl.gov/bnlweb/raydavis/>

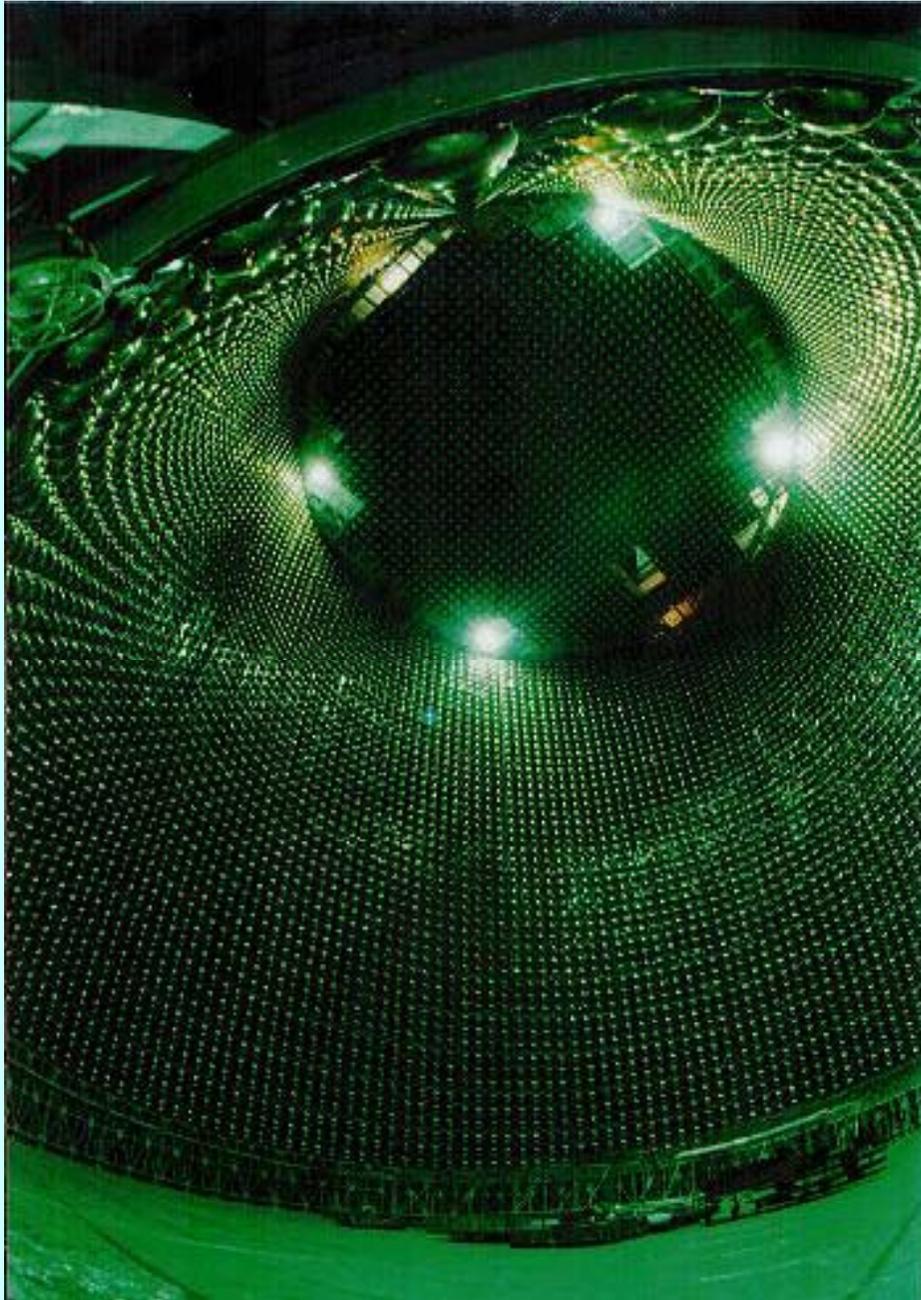
Kamiokande 神岡宇宙素粒子研究中心



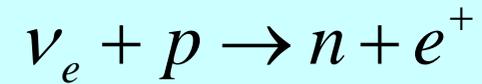
Masatoshi
Koshiba

2002 Nobel Prize in Physics: "for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos"

Drawing from Superkamiokande <http://dumand.phys.washington.edu/~superk/>

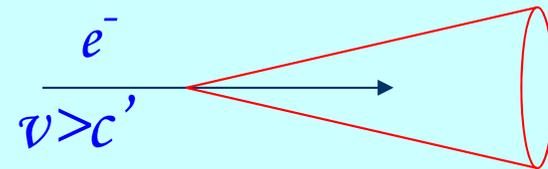


SuperKamiokande



穿行水中發光

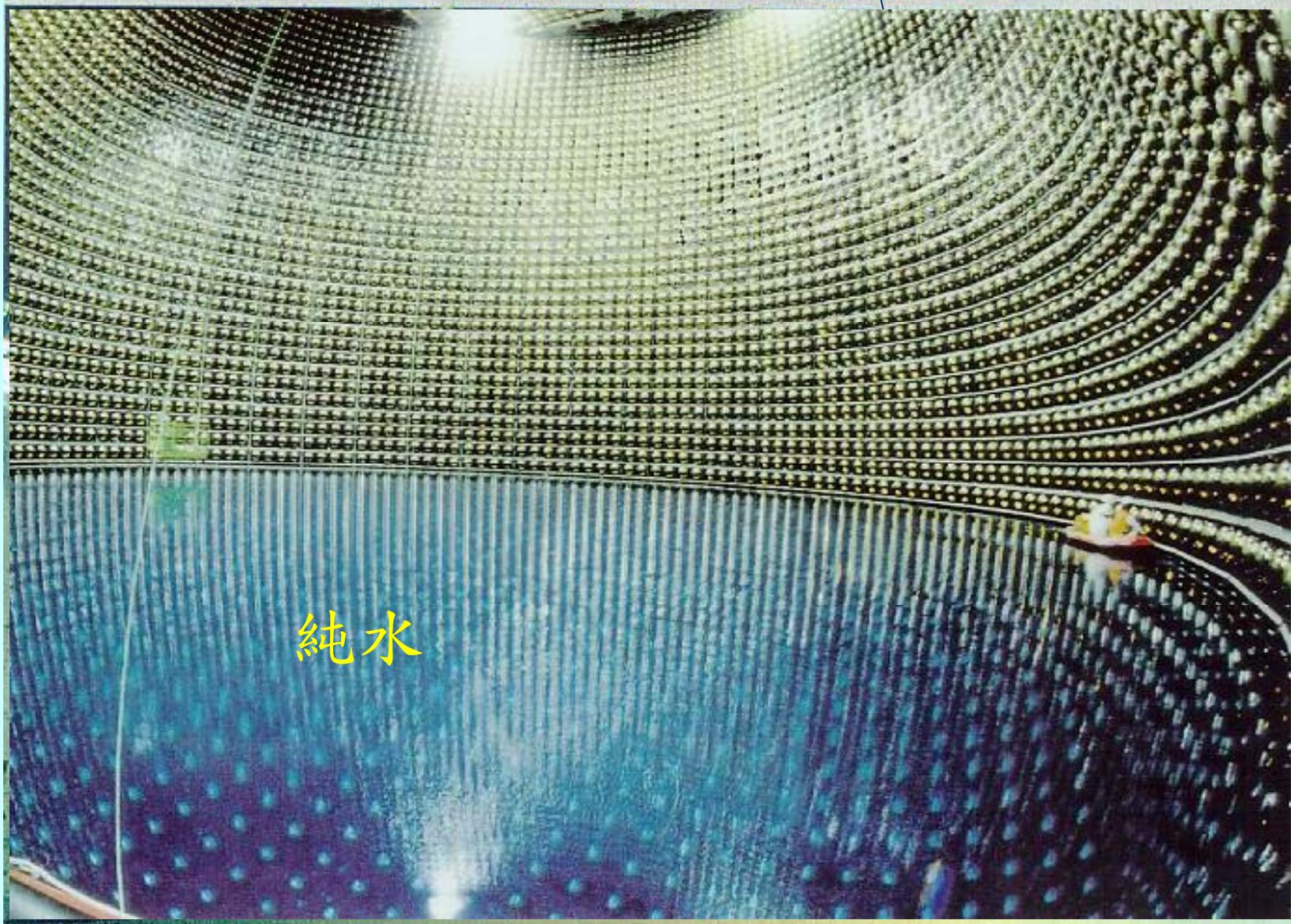
以一萬一千枝
光電管探測



Cerenkov radiation

SuperKamioKande

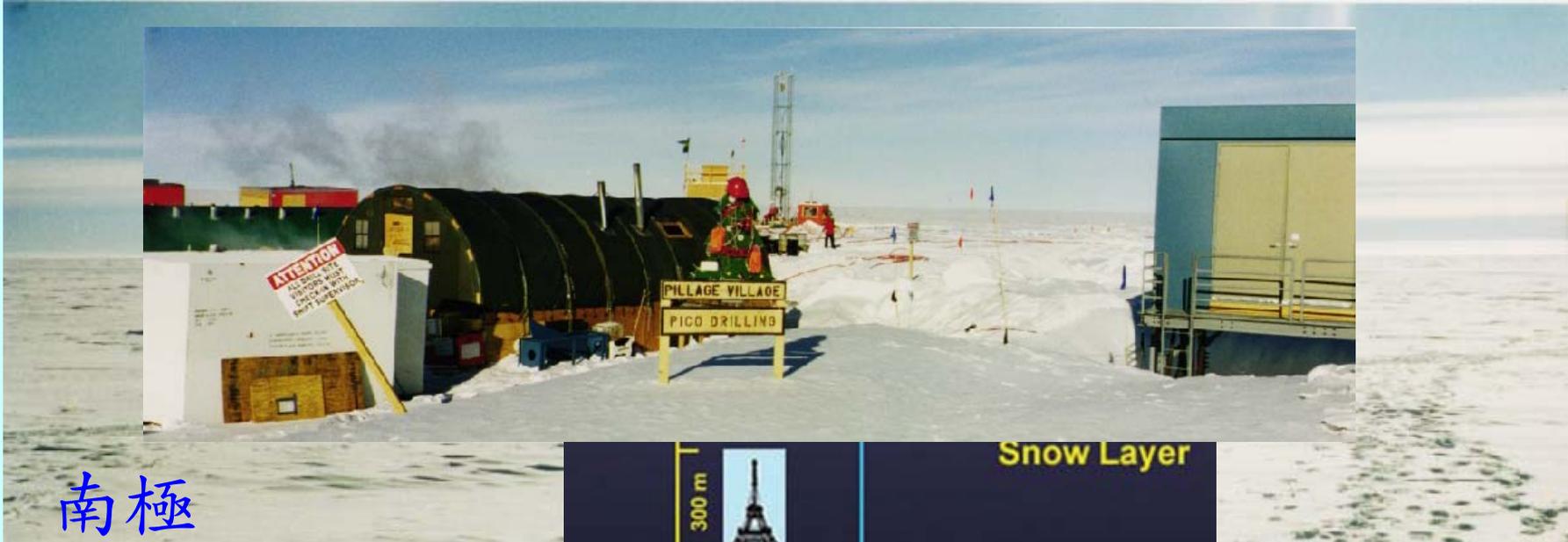
光電管



純水

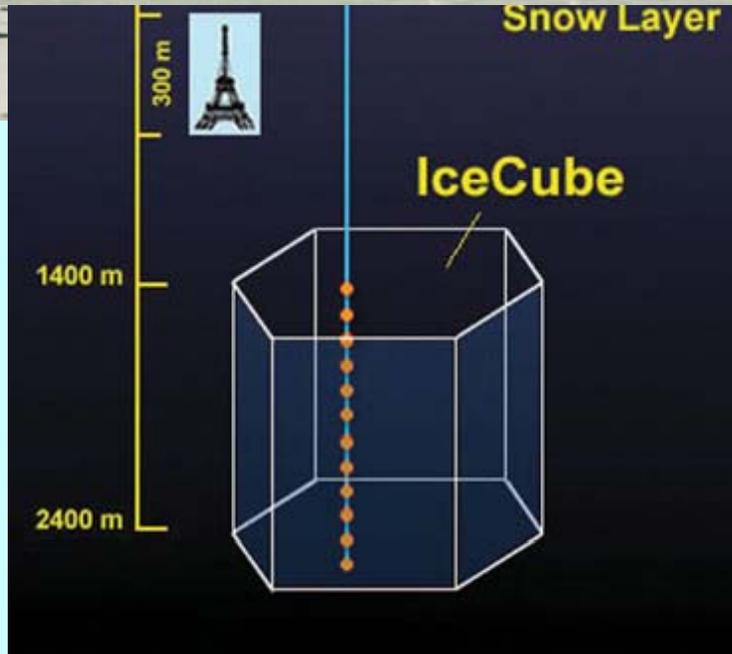
Photo from SuperKamioKande <http://dumand.phys.washington.edu/~superk>

Ice Cube



南極

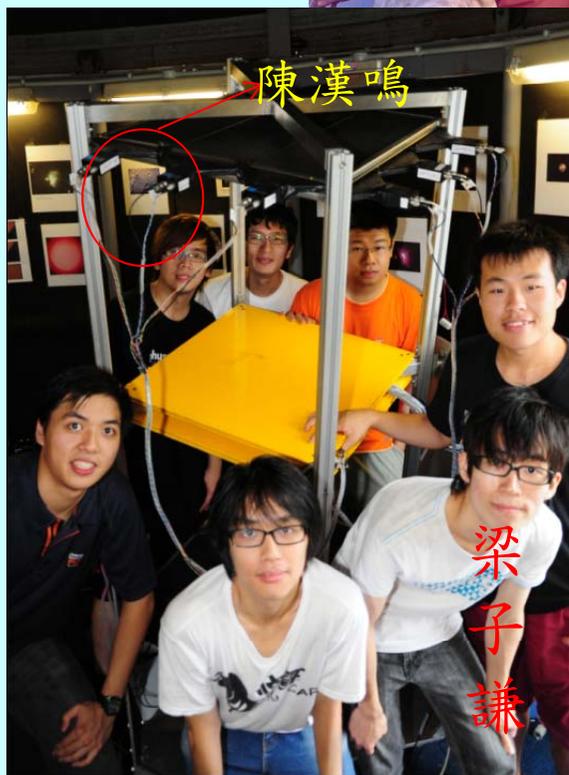
以南極地下
一立方公里
冰作探測器



Photos from Icecube homepage <http://icecube.wisc.edu/>

中微子獵人在香港

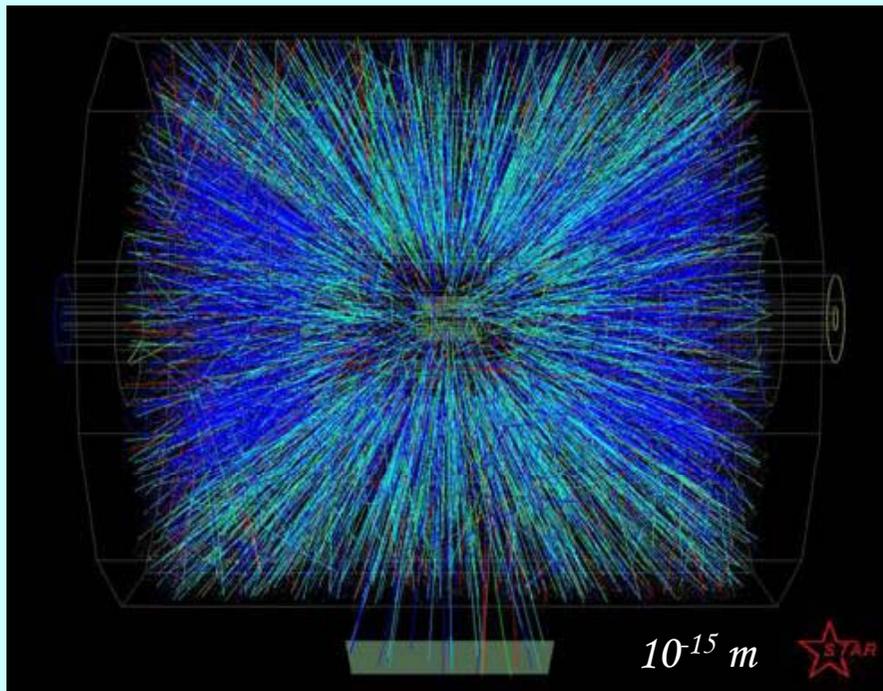
9/3 中大講座



粒子天文物理

粒子的相互作用，主宰星體的生老病死，以致宇宙的演化！
星體放射各種粒子，帶有重要訊息。

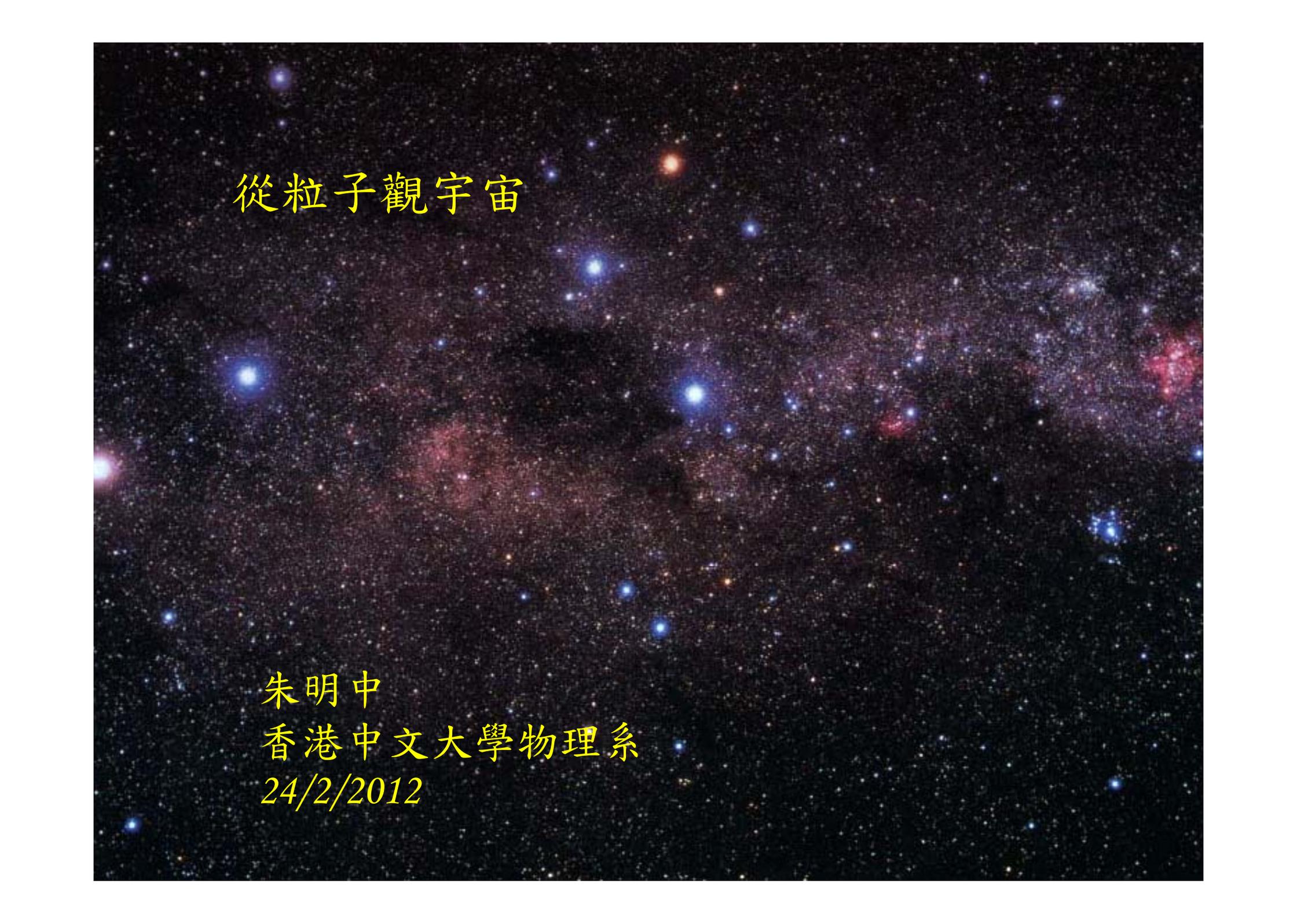
例如：**中微子天文/宇宙學**，重溯宇宙大爆炸，反物質宇宙



粒子撞擊實驗
courtesy STAR/BNL



宇宙膨脹
courtesy NASA/STScI



從粒子觀宇宙

朱明中
香港中文大學物理系
24/2/2012

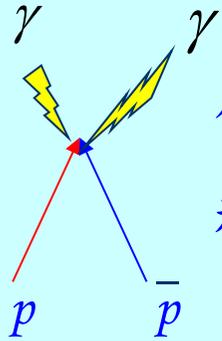
反物質宇宙
Anti-matter universe

反原子研究

粒子 \leftrightarrow 反粒子

大部分性質相同，但電荷相反
例如：電子 e^- ，反電子 e^+ ，質量一樣

粒子與其反粒子有機會相互湮滅，
質量完全轉化成能量



CERN: 造出大量反氫原子 ($e^+ + p^-$)

需要把反粒子減速

用特別裝置儲存反原子

精確量度反原子性質

6/2011: >1000s!

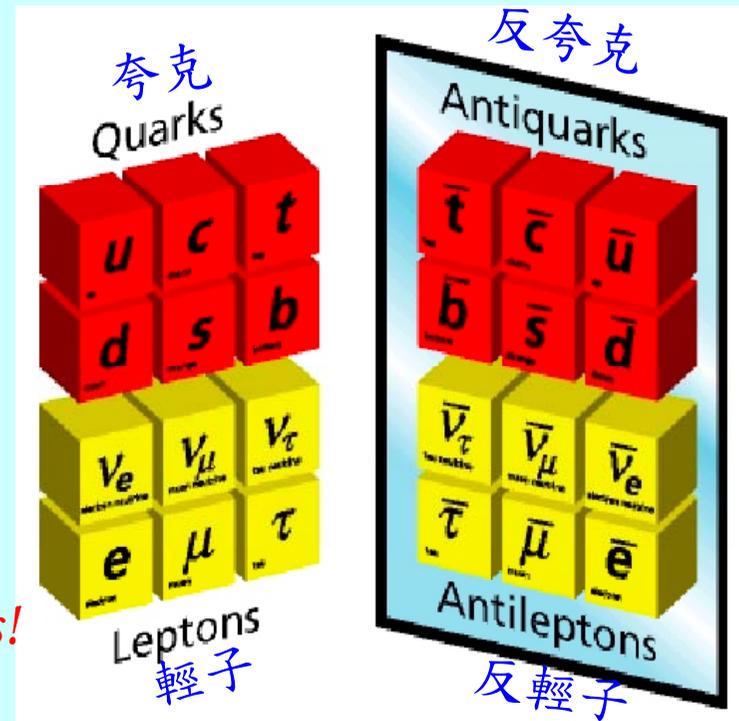


蘇卓文
CUHK BSc '08

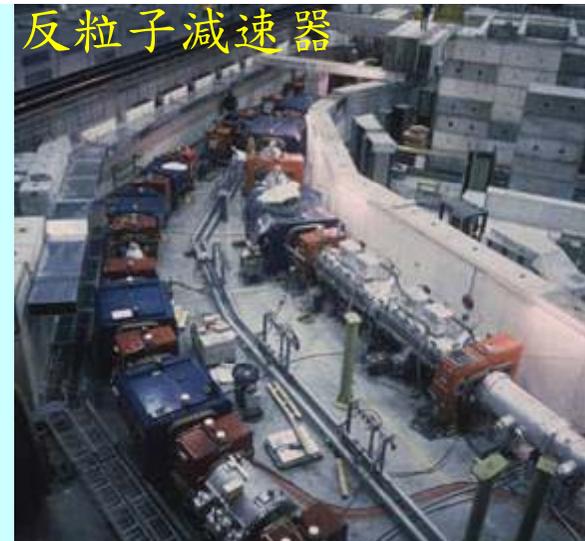
<http://alpha-new.web.cern.ch/>

<http://www.nature.com/nphys/index.html>

<http://www.physorg.com/news/2011-06-cern-physicists-antihydrogen-atoms-minutes.html>



反粒子減速器



中微子振蕩 (Neutrino Oscillation)

中微子自由傳播時會由一種變成另一種! (eg. $\nu_e \rightarrow \nu_\mu \rightarrow \nu_e$)

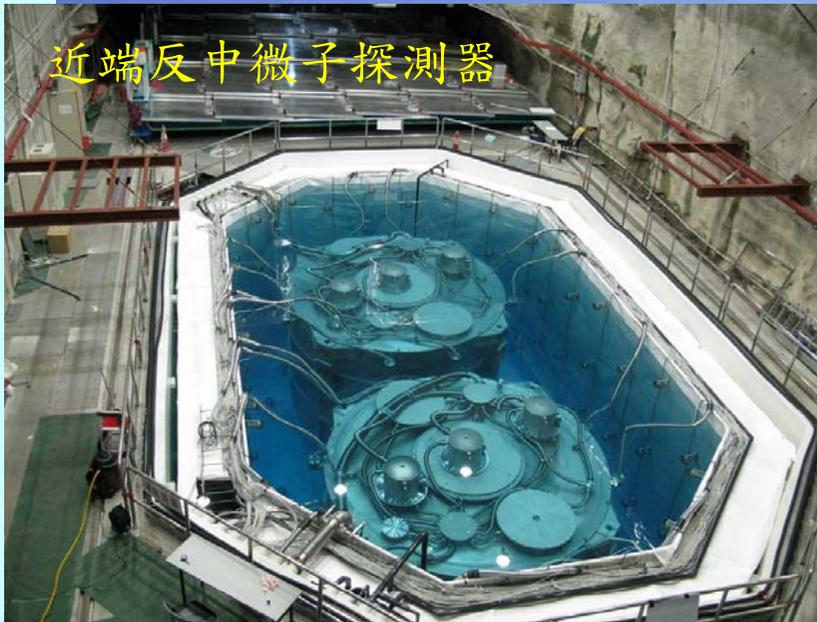


大亞灣中微子振蕩實驗

準確量度中微子的一個重要參數 θ_{13} 。

有助解答反物質失蹤之謎! <http://www.pressdisplay.com/pressdisplay/zt/viewer.aspx>

高功率，高山 = 中微子實驗理想地點
每秒產生 10^{21} 反中微子! 阻隔大部份宇宙射線



<http://tech.hexun.com.tw/2011-09-03/133075412.html>

大亞灣 *Daya Bay*

2+2(+2) 反應堆: $11.6 (17.4) \text{ GW}_{th}$

高功率，高山 = 中微子實驗理想地點

每秒產生 10^{21} 反中微子! 阻隔大部份宇宙射線



Image © 2005 DigitalGlobe

© 2005 Google

Pointer 22°37'17.34" N 114°31'16.47" E elev 1108 ft

Streaming ||||| 100%

Eye alt 45.23 mi

大亞灣核電廠



嶺澳核電廠



Option 1

遠端:
 D_{DB} : ~2200 m
 D_{LA} : ~1800 m

嶺奧近端:
D: 500 m

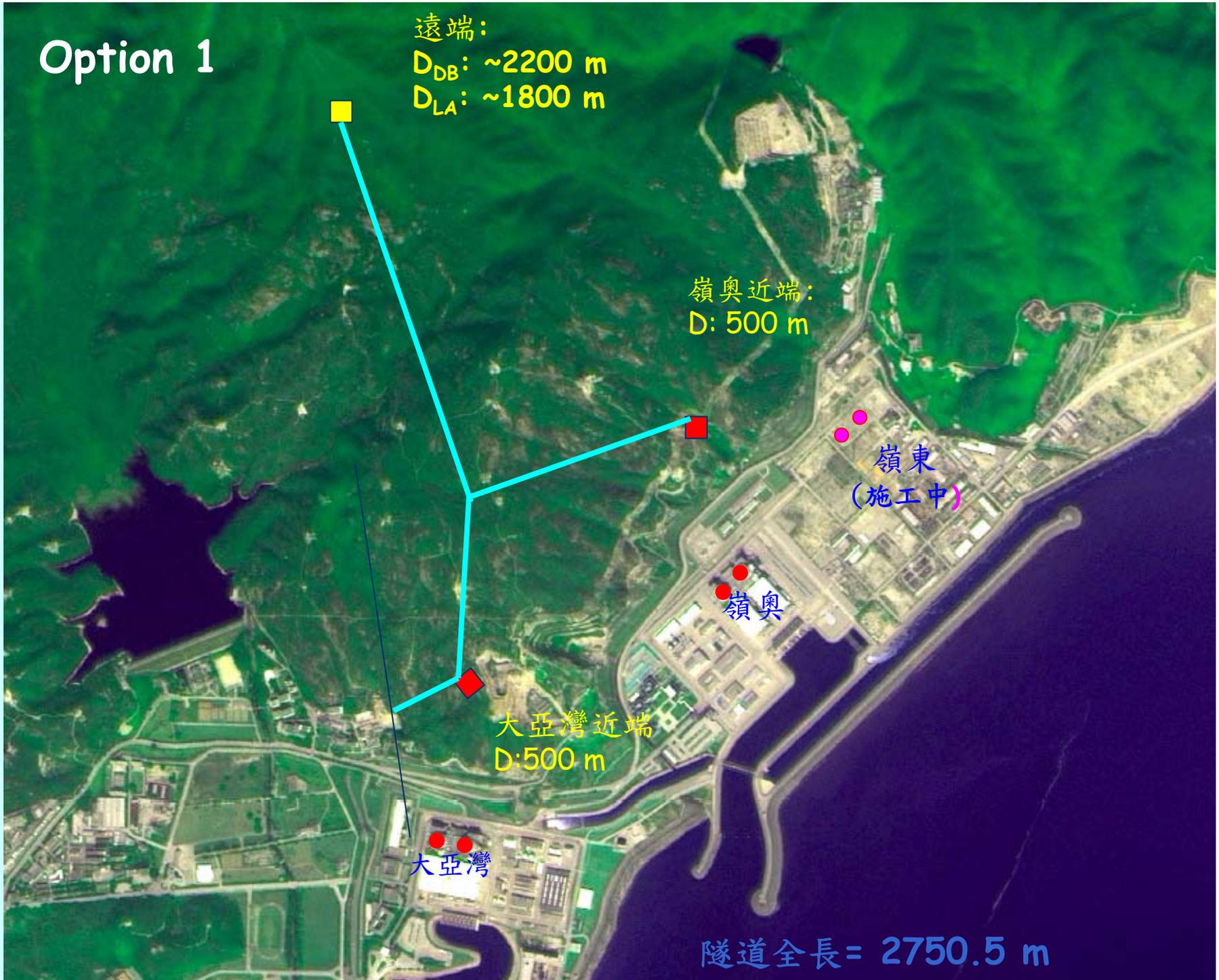
嶺東
(施工中)

嶺奧

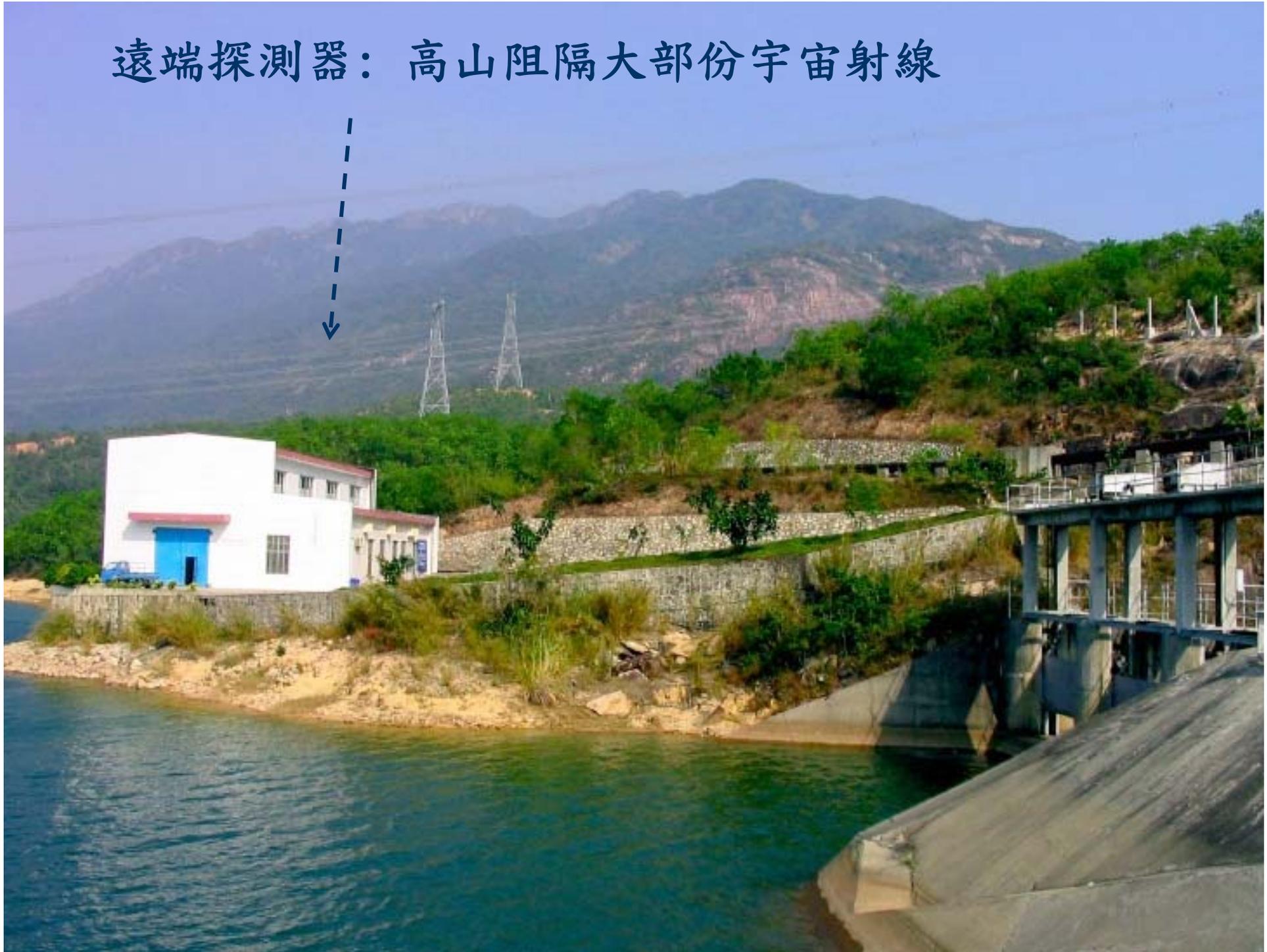
大亞灣近端
D: 500 m

大亞灣

隧道全長 = 2750.5 m



遠端探測器：高山阻隔大部份宇宙射線



重溯宇宙大爆炸
Big Bang in the lab

Large Hadron Collider 大型强子對撞器

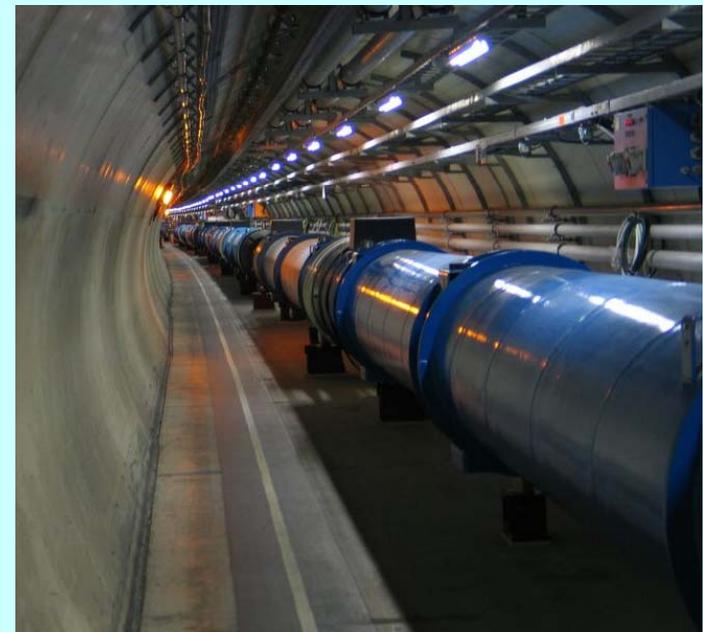
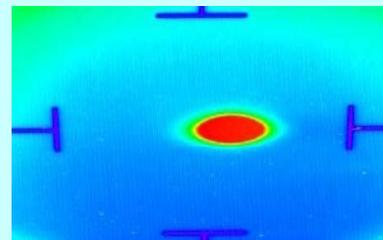


CERN: 世界最大的基礎物理實驗室



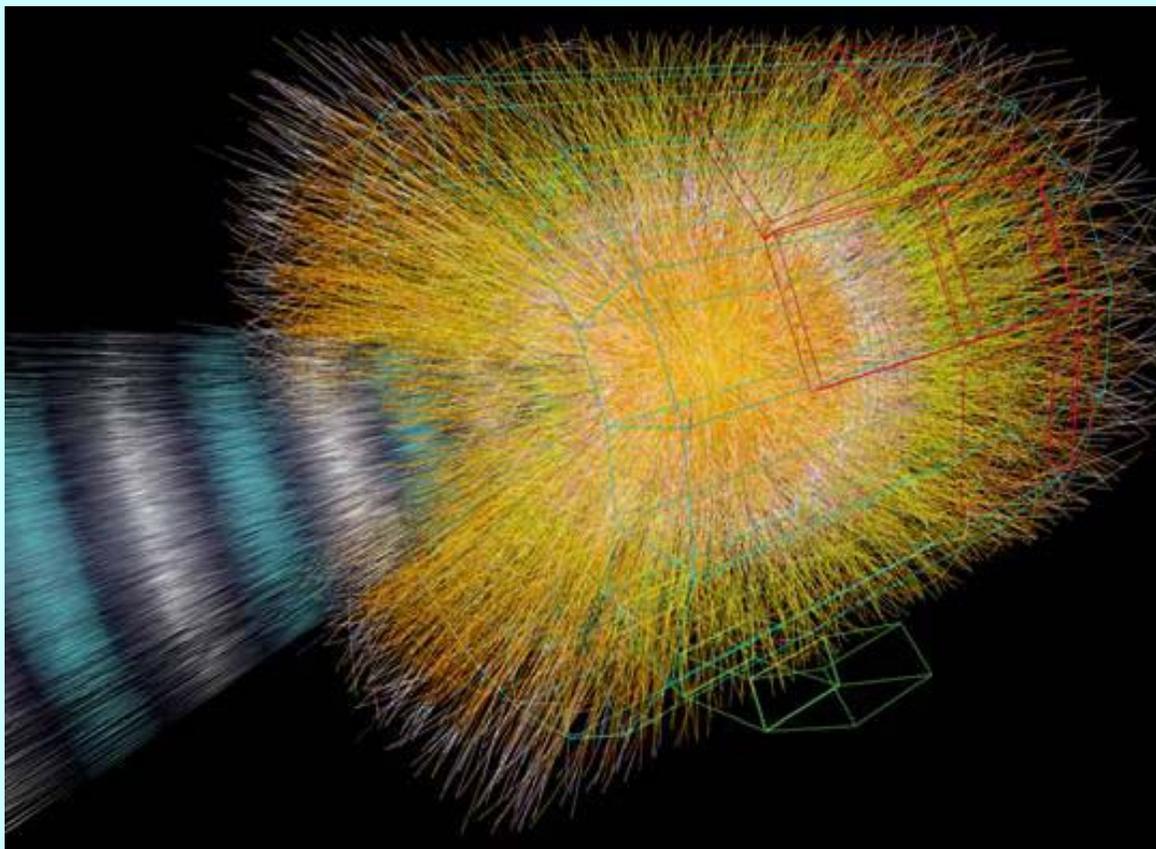
質子加速至 $v = 99.999999\% c$ (7 TeV)
粒子束: 2808小束 $\times 1.15 \times 10^{11}$ 質子 (mm \times cm)
總能量 = 362 MJ
~ 時速 150 km 火車的動能
可把 500kg 的銅燒溶

LHC: 87.5 億美元建造費



<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/>

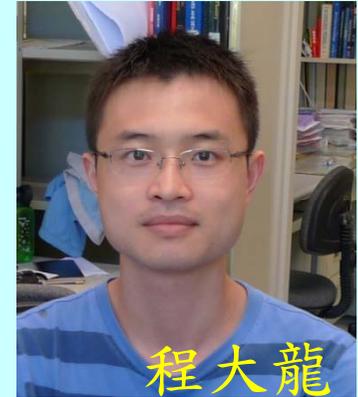
實驗室模擬大爆炸



探測器見到的模擬事件

Downloaded from http://aliceinfo.cern.ch/Public/en/Chapter4/Chapter4_ForPress.html

中大超級考古 傻仔



愛因斯坦錯了嗎？

同場加映

我錯了嗎？



粒子超光速 挑戰相對論

歐實驗發現 專家審慎

明報

24/09/2011

【明報專訊】歐洲研究人員周四宣布，在實驗中發現有「鬼粒子」之稱的中微子，其速度能夠比光速更快，挑戰愛因斯坦「相對論」強調沒有物質能夠快過光速的物理學最根本定律之一，消息惹來國際物理學界議論紛紛，因為若發現屬實，將改寫人類對宇宙和時空的認識，甚至再掀時光旅行是否可行的爭論。但無論是科學界還是負責今次研究的專家，都對今次實驗得出的發現，持謹慎態度，希望全球科學家能共同探究原因，包括實驗是否有錯。

實驗是由意大利格蘭薩索（Gran Sasso）國家實驗室，以及位於瑞士的全球最大粒子物理研究實驗室「歐洲核子研究中心」（European Centre for Nuclear Research, CERN）合作進行。CERN在日內瓦

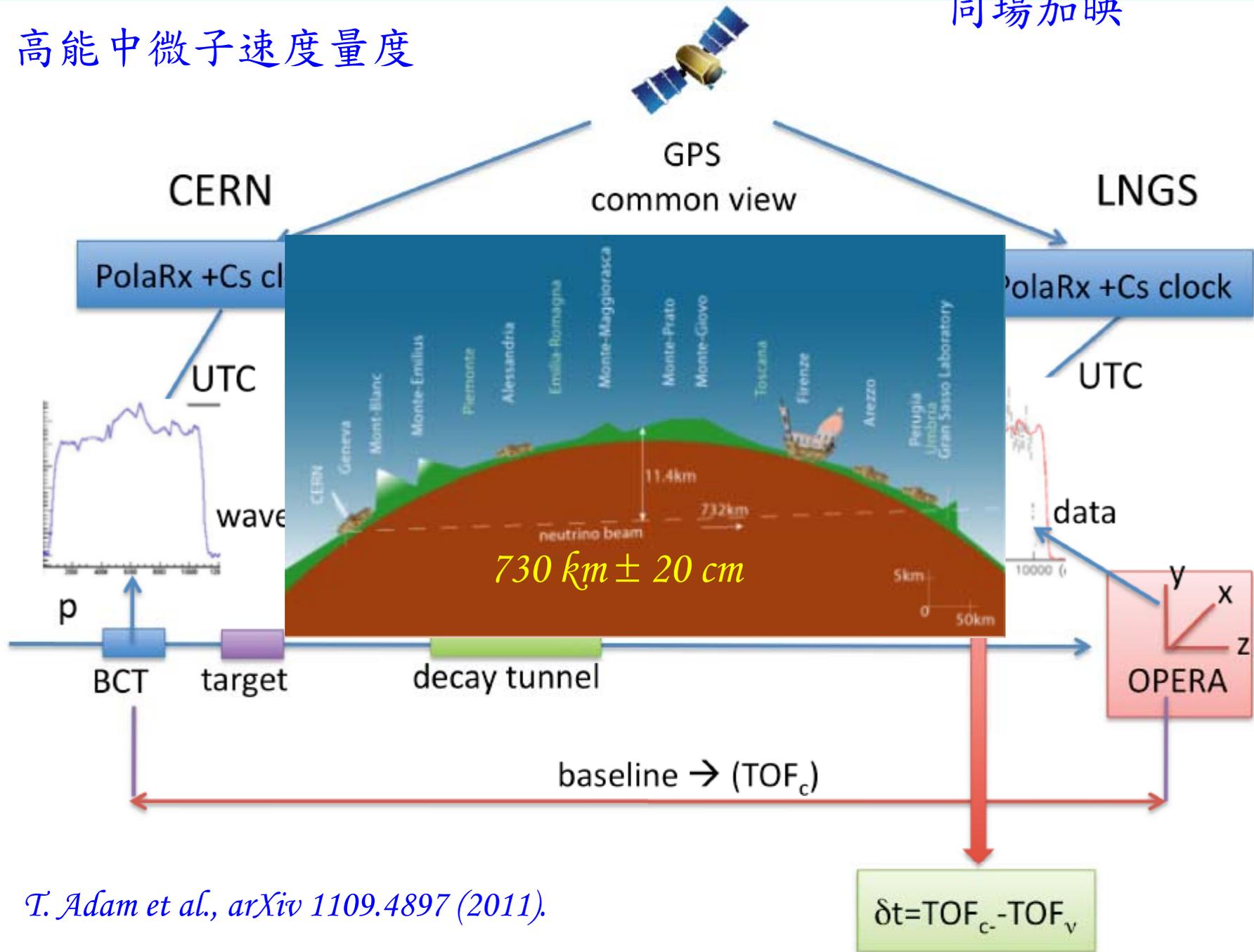


負責今次實驗的意大利國家實驗室工作人員在中微子探測器內部檢測。其外部為一個大球體，重1300噸。



高能中微子速度量度

同場加映

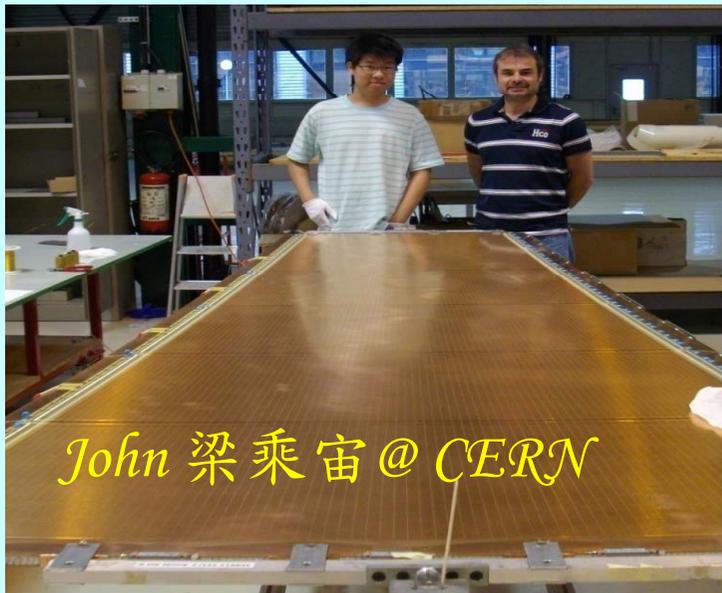


T. Adam et al., arXiv 1109.4897 (2011).

CERN



歐洲核子研究組織
CERN: 世界最大的基礎物理實驗室
LHC: 世界上最昂貴的科研設施



John 梁乘宙 @ CERN



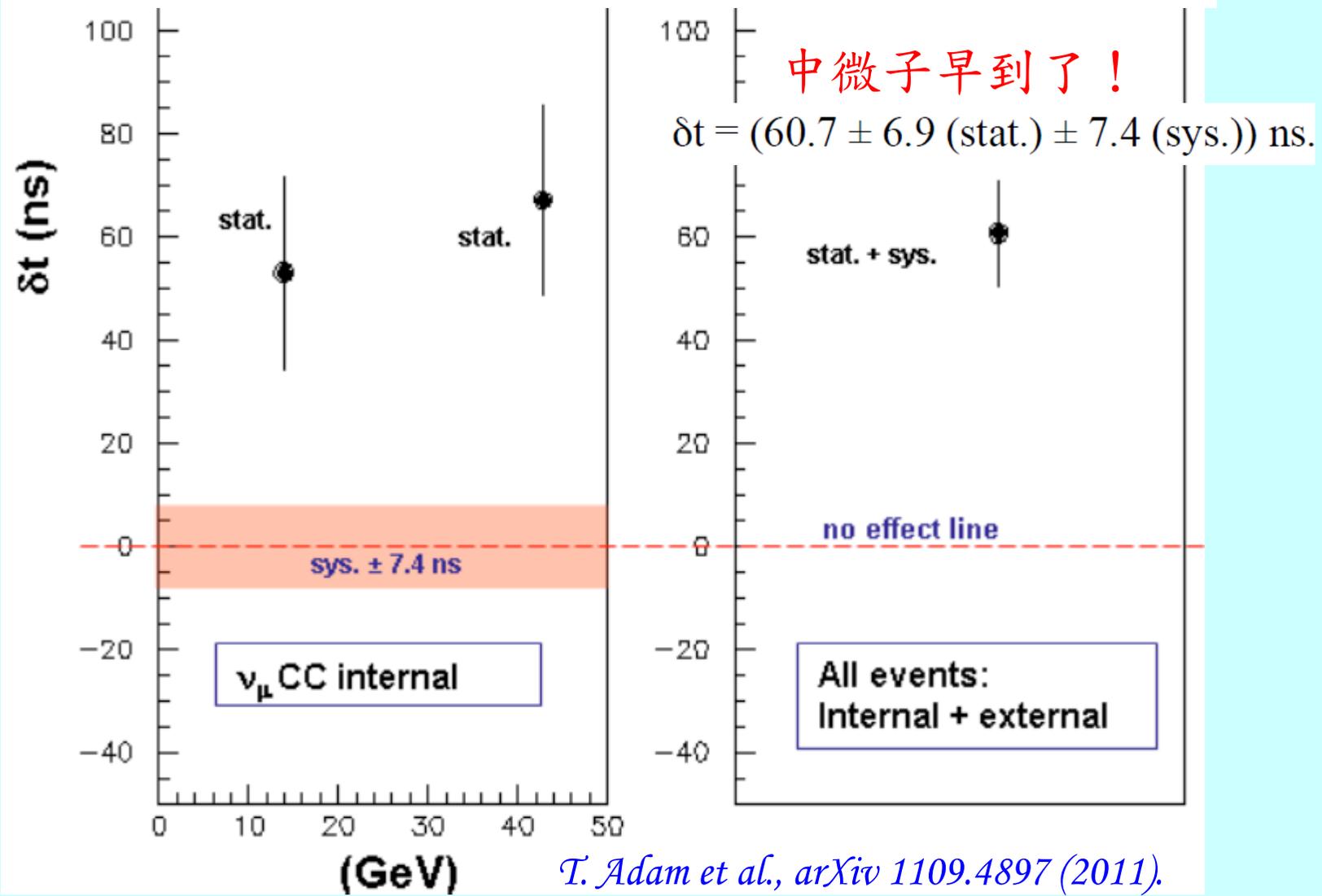
二傻大鬧 CERN

Martin 郭家希 @ CERN

同場加映

OPERA experiment

$$(v-c)/c = \delta t / (\text{TOF}'_c - \delta t) = (2.48 \pm 0.28 \text{ (stat.)} \pm 0.30 \text{ (sys.)}) \times 10^{-5}$$



T. Adam et al., arXiv 1109.4897 (2011).

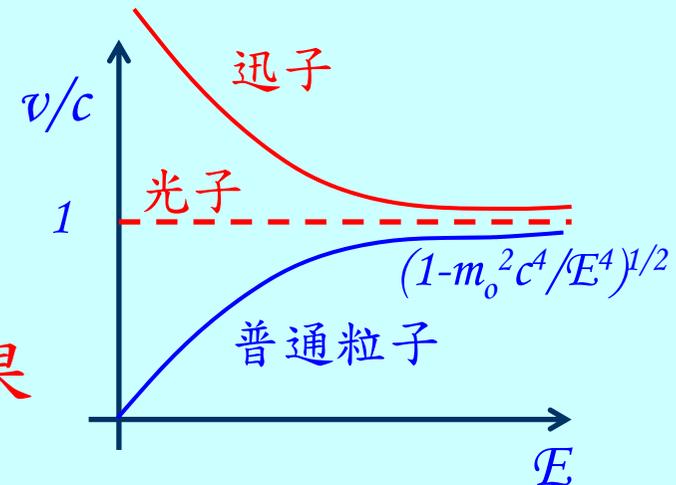
愛因斯坦錯了嗎？

- 相對論→粒子質量隨速度增加： $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$
→加速至光速需無限能量→不可能
- 相對論容許粒子本來已快於光速：迅子 (*tachyon*)
- 迅子不能慢於光速
- 相對論+迅子→

可以把訊息傳至以前

破壞因果律 (*causality*): 因早於果

若真有迅子，因果律與相對論
二者最多只可保一！



愛因斯坦錯了嗎？

咪住！

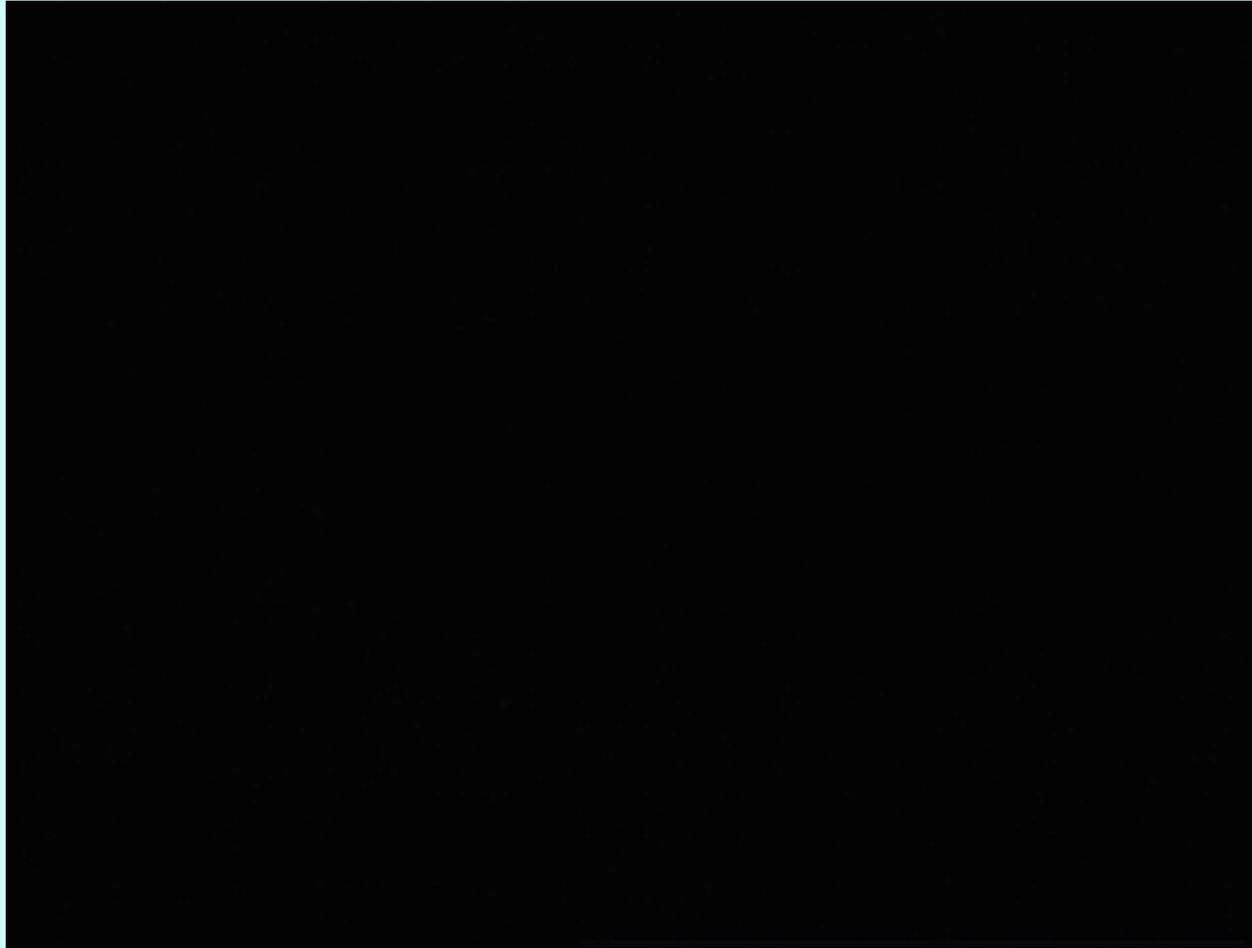
須有其他獨立的實驗驗證，實驗的誤差要有詳盡的瞭解。之前有很多實驗支持相對論，不能以一個實驗推翻之前所有。

<http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2012/02/breaking-news-error-undoes-faster.html>

When I approach to light speed, time is frozen.
Einstein

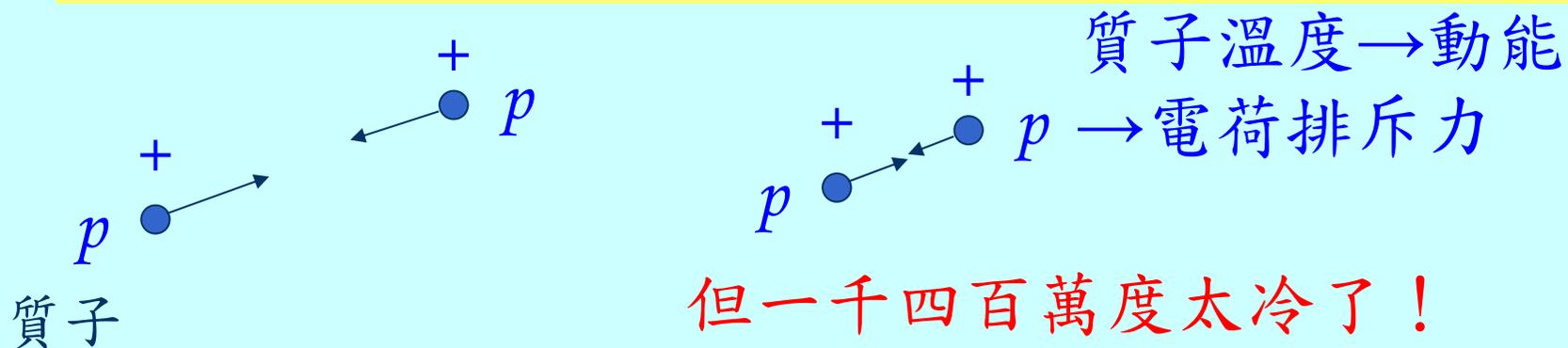
<http://www.phy.cuhk.edu.hk>

大爆炸 *Big Bang*

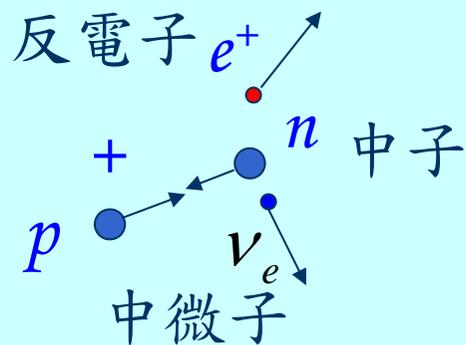


大爆炸製造大量中微子，至今天仍平均每立方公分有三百粒！

熱核融合反應 (fusion)



但一千四百萬度太冷了！
大部份質子不夠能量融合



質子變成中子 → 電荷排斥力消失
→ 放射反電子及中微子，
 p, n 結合成 d (氘)，釋放能量

但中子質量大於質子 → 量子效應！ ($+E = mc^2$)

→ 氫燃燒慢 (平均每粒子 10^{10} 年有一反應)

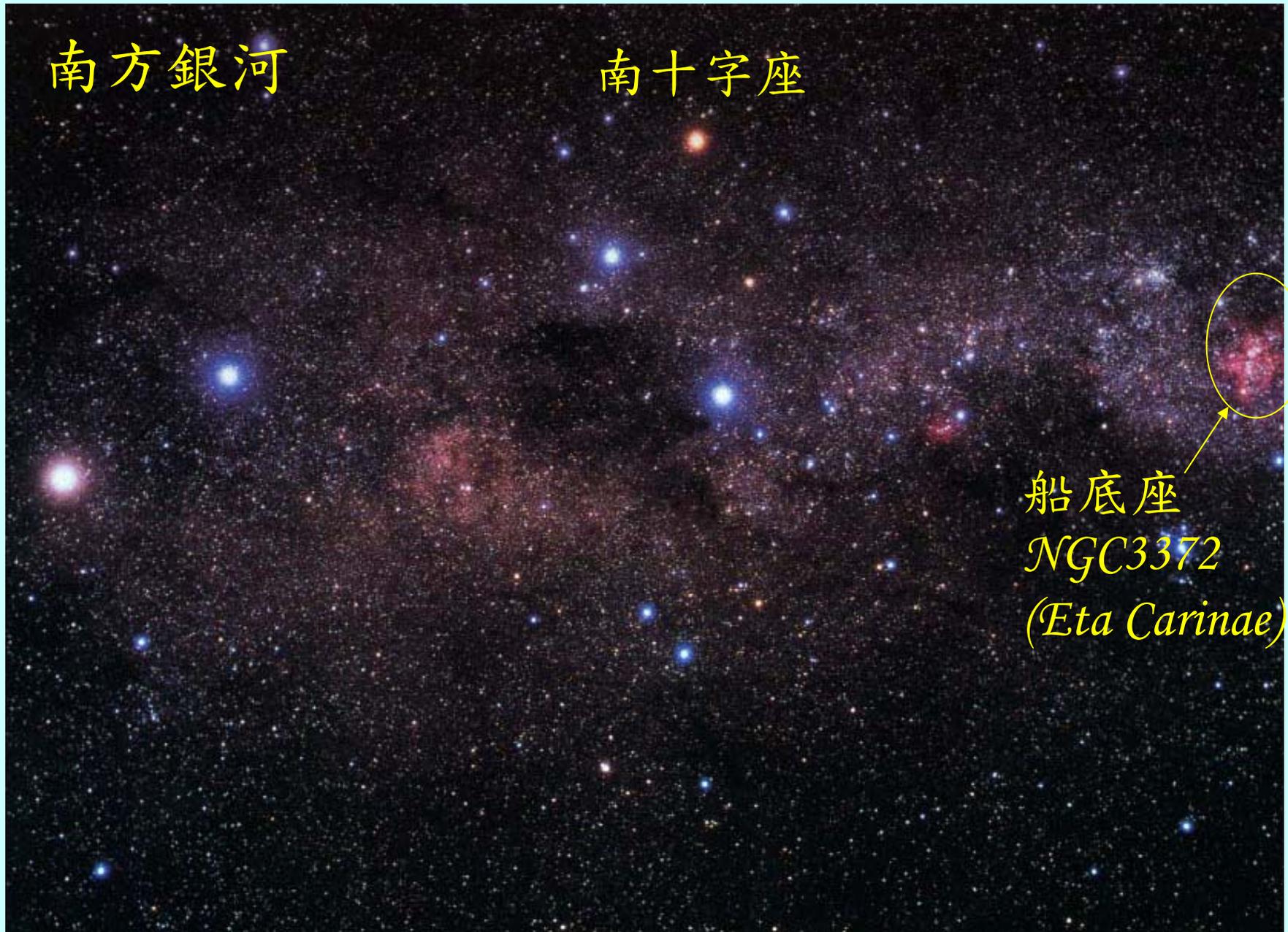
但密度高，粒子數高 (每秒燃燒 10^{38} 質子)

→ 太陽穩定，壽命 $\sim 10^{10}$ 年

南方銀河

南十字座

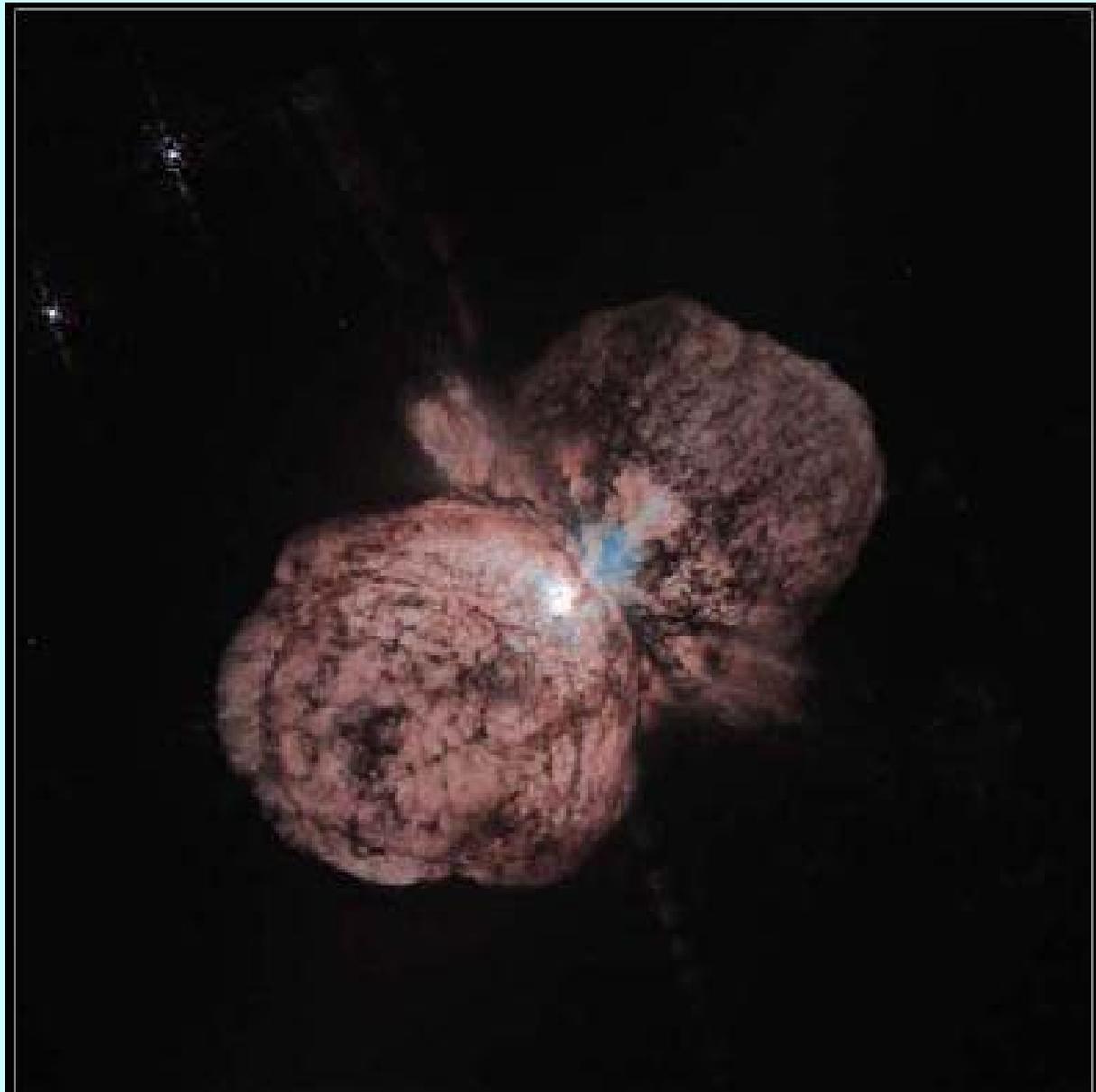
船底座
NGC3372
(*Eta Carinae*)



海山二星 (船底座伊塔星)

距離8000 光年 ，
質量 $M \sim 100 M_{\odot}$ ，
 $L \sim 5 \times 10^6 L_{\odot}$ 。

一八四三年爆炸，
成為當時最光亮的
星星，但不是超新
星，很可能成為下
一顆超新星。



Eta Carinae

HST · WFPC2

PRC96-23a - ST ScI OPO - June 10, 1996

J. Morse (U. CO), K. Davidson, (U. MN), NASA

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6633609.stm>

*Eta
Carinae*

