

天問
Mysteries of the Cosmos

朱明中

香港中文大學物理系

mcchu@phy.cuhk.edu.hk

<http://www.phy.cuhk.edu.hk/gee/mctalks/mctalks.html>

天問

- 宇宙深處：時空遊
- 為甚麼星星發光？
- 為甚麼星星發熱(能量)？
- 星星會否死亡(停止發光發熱)？
- 為甚麼有星團、星系、星系團？
- 為甚麼整個宇宙在發光（微波背景輻射）？

希望大家學到甚麼？

- 宇宙大結構的基本認知
- 恆星物理入門
- 物理學家問些甚麼問題
- 物理探究的方法及過程
- 好奇心的重要性

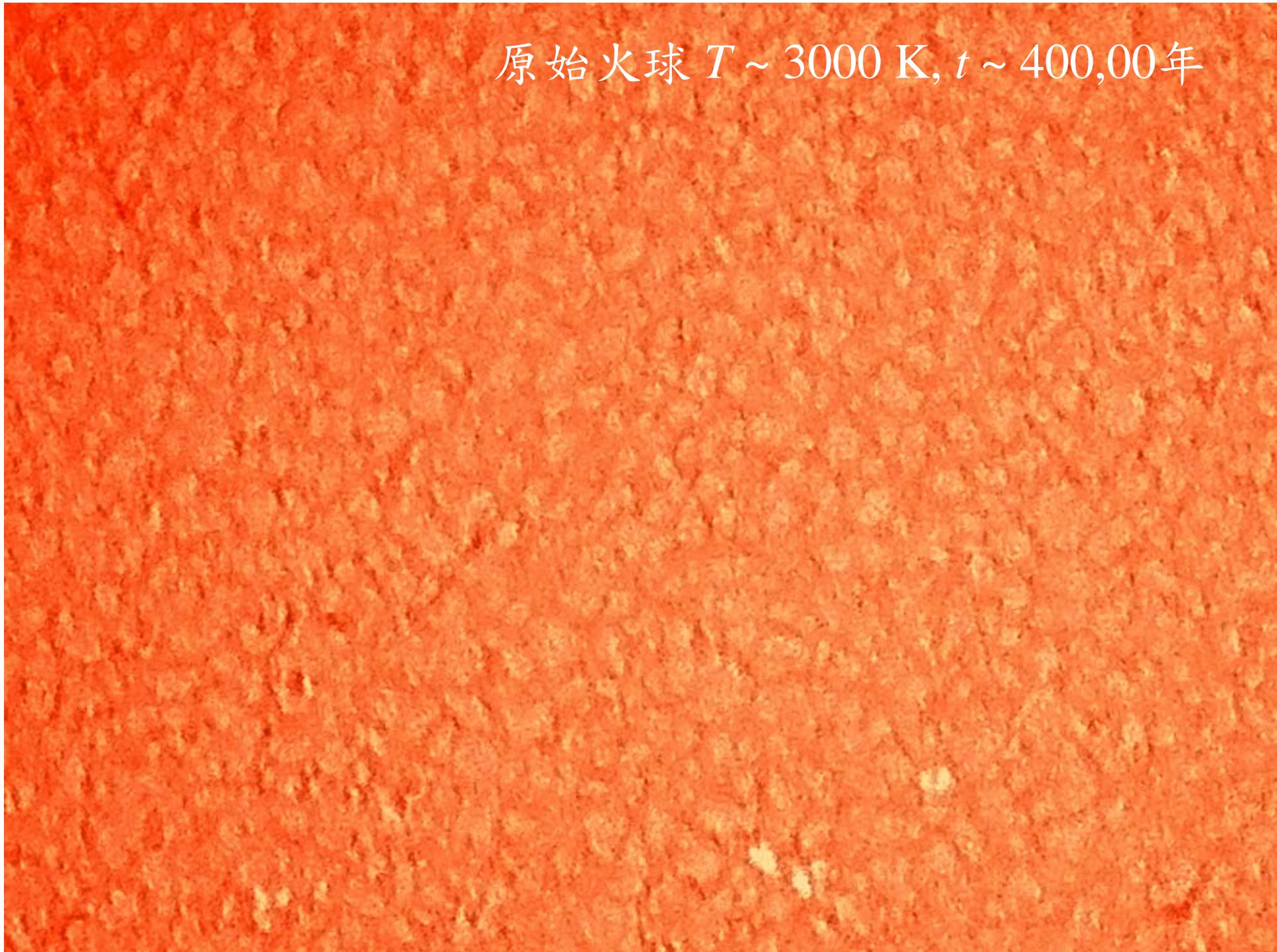
因
號
物
者

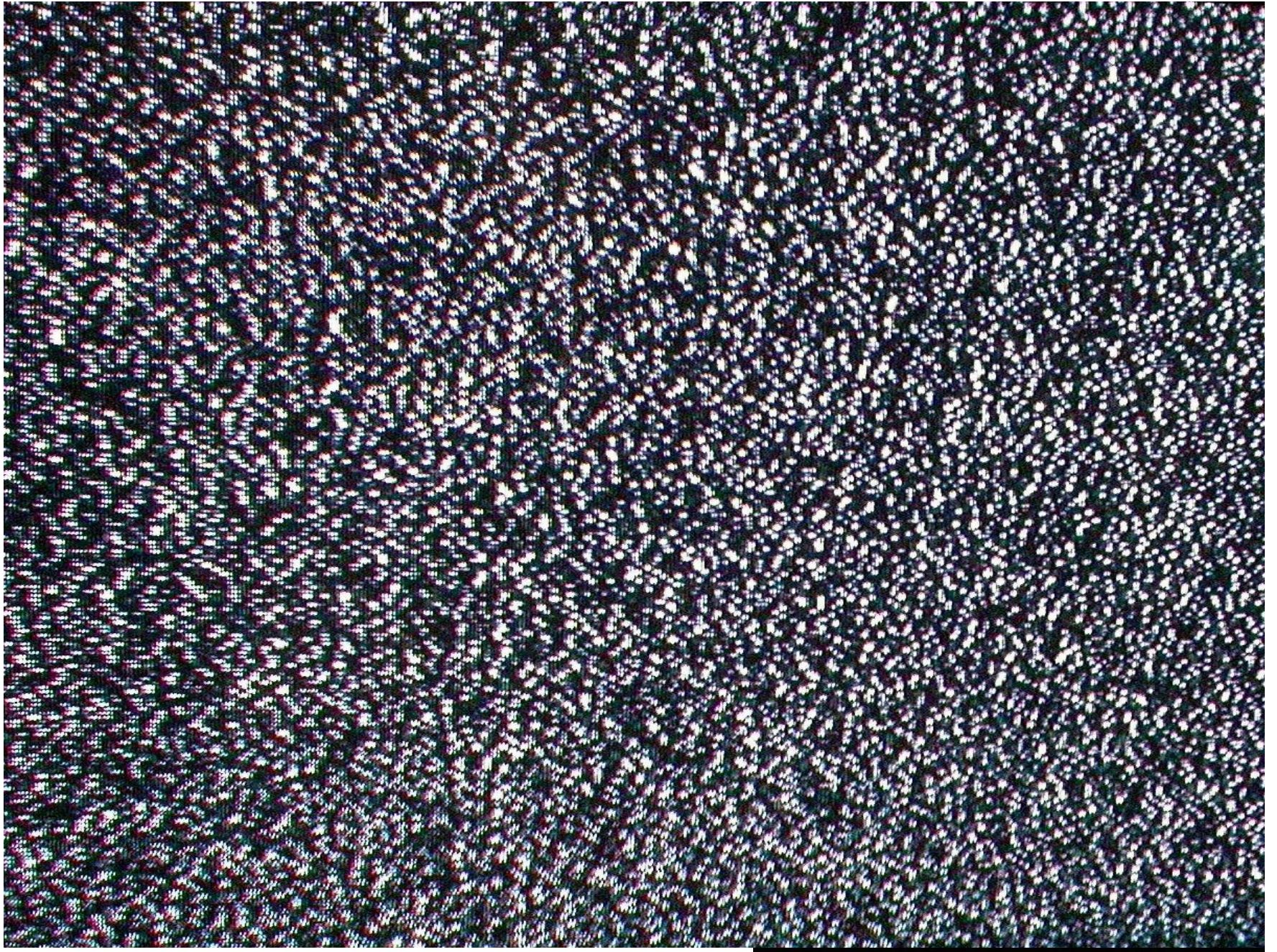
現
的
早
的
遠
早

Starry starry night ...



原始火球 $T \sim 3000 \text{ K}$, $t \sim 400,000 \text{ 年}$





約1% 雪花由宇宙微波背景輻射引起

1. 為甚麼星星發光？

Twinkle twinkle little stars
how I wonder what you are

光是甚麼？

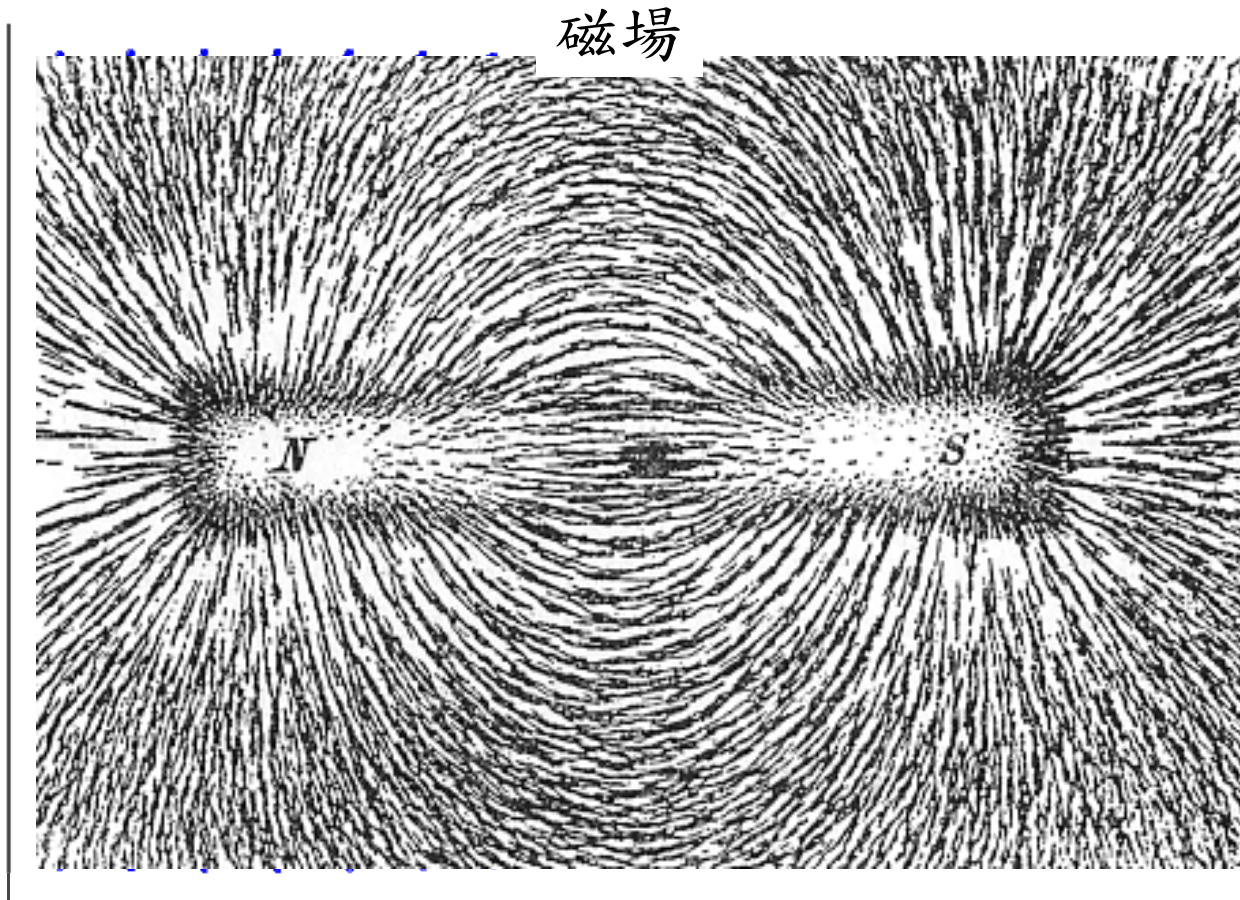
光是電磁
場的波動

Maxwell

麥斯維

AIP Niels Bohr Library

電荷(electric charge)、電力(electric force)、
電場(electric field)、磁場(magnetic field)



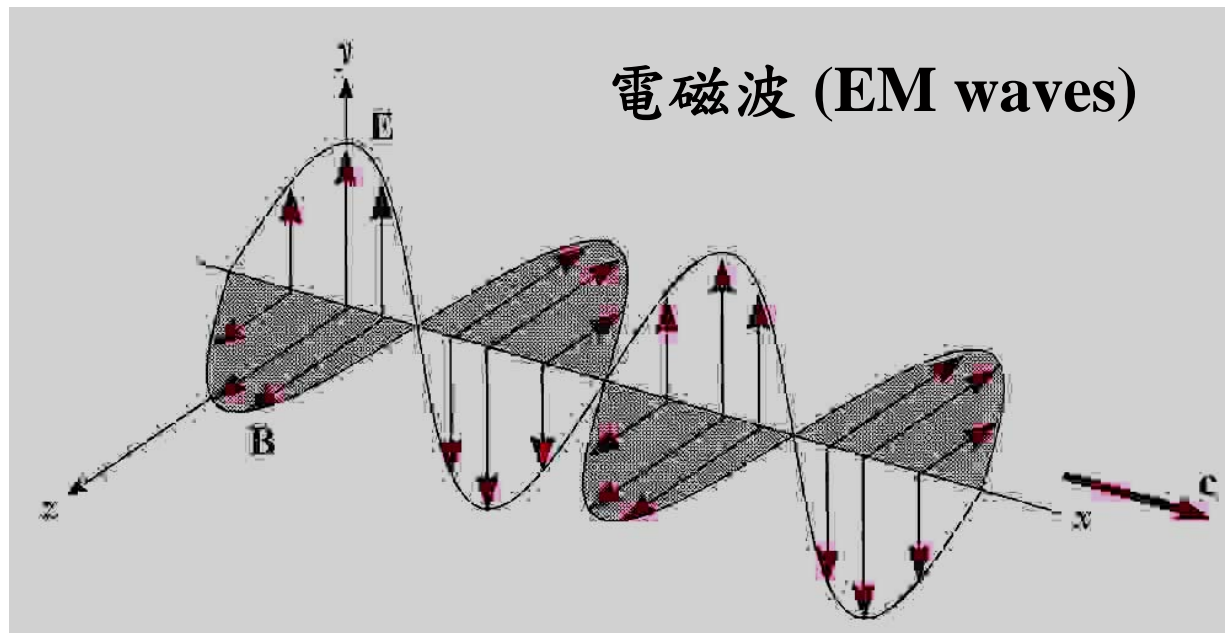
Figures from
Wikipedia

http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/wavpart2.html

<http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java/phys1/EField/EField.html>

電磁波 (electromagnetic waves)

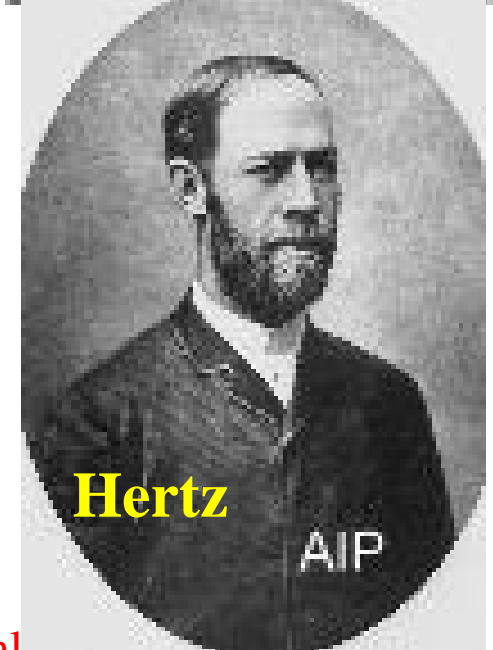
電磁場波動: 電荷振動令電磁場波動, 以光速傳播



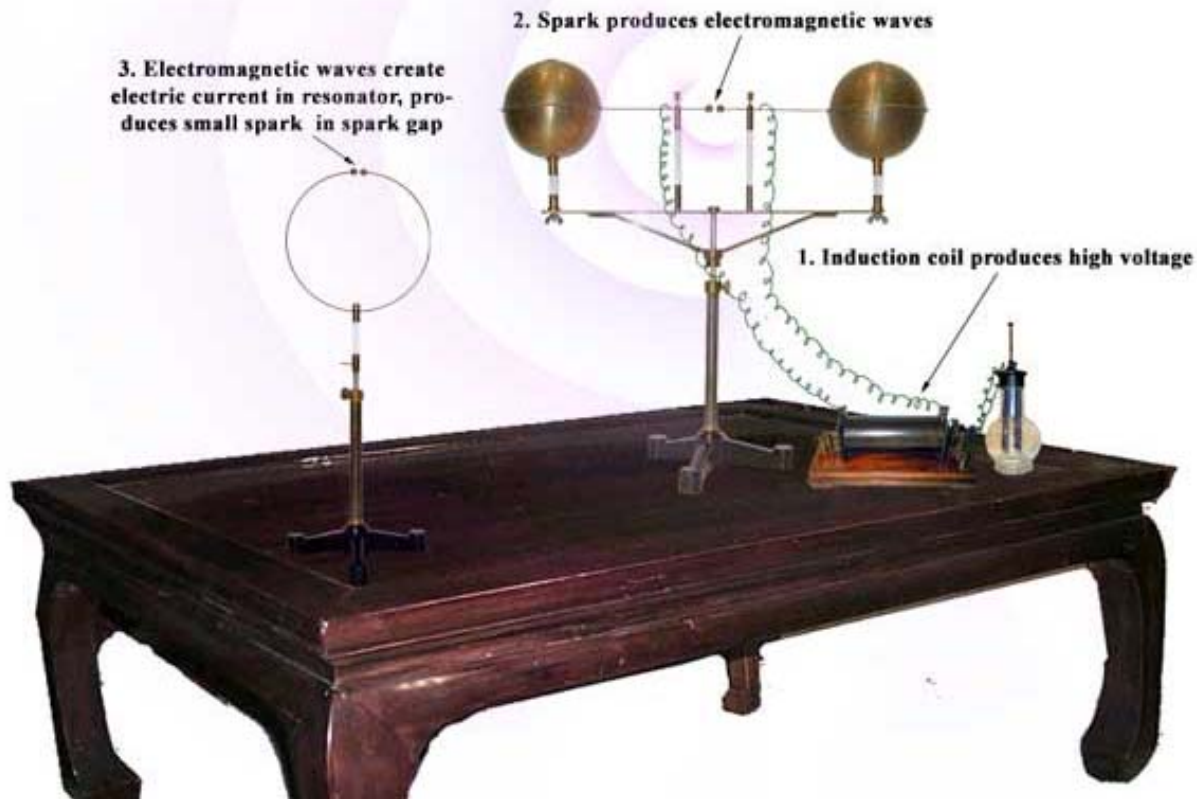
麥斯維數學證明有電磁波
赫斯(Hertz)以一連串實驗驗證

→ 無線電通訊

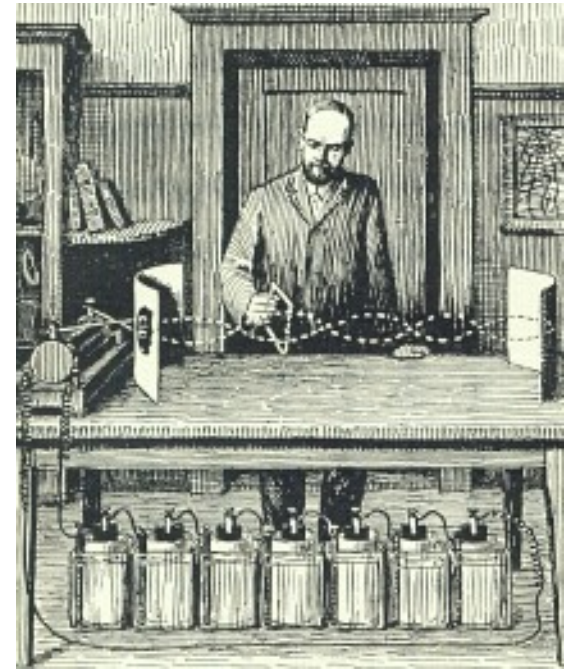
http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/wavpart4.html



Hertz 的實驗裝置



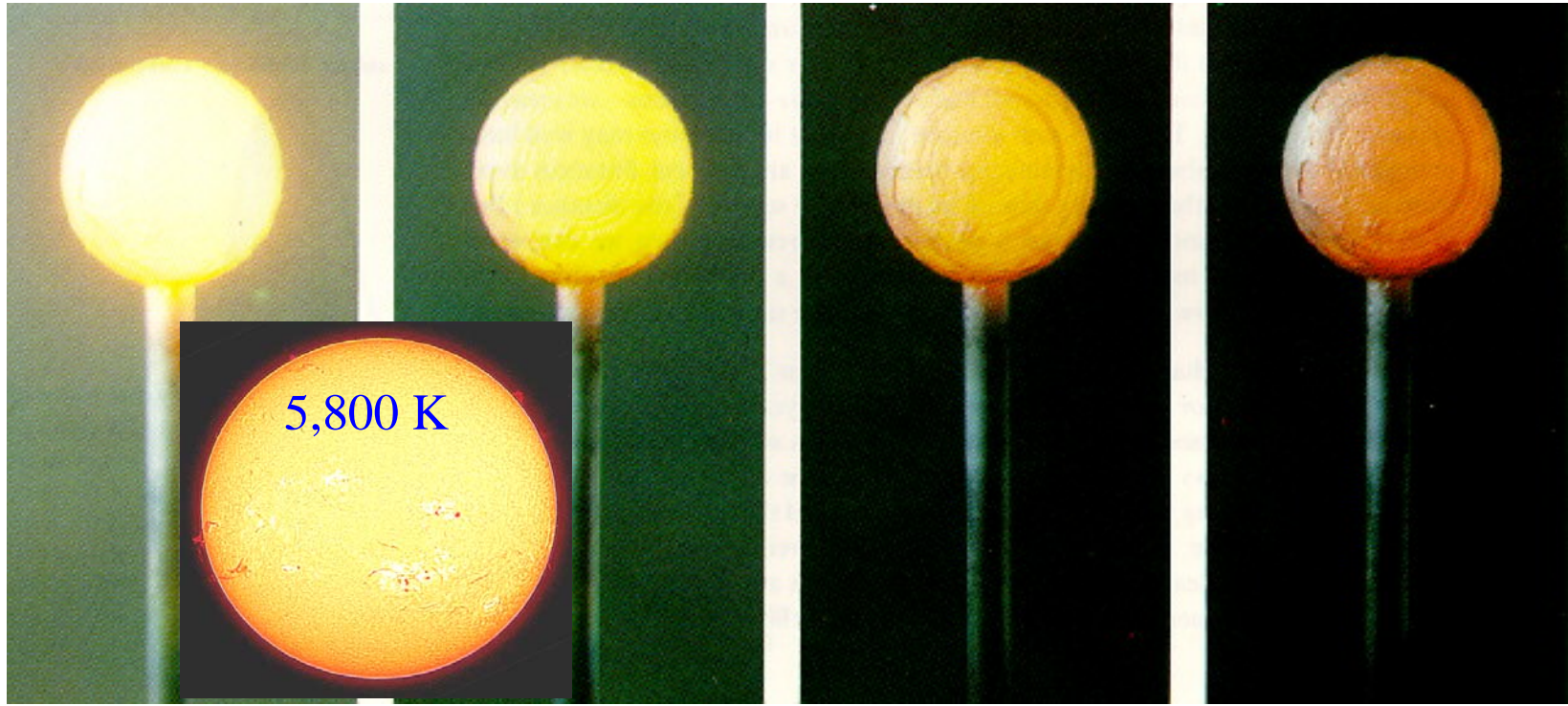
Hertz 的實驗



"It's of no use whatsoever," he replied. "This is just an experiment that proves **Maestro Maxwell was right** - we just have these mysterious electromagnetic waves that we cannot see with the naked eye. But they are there." "So, what next?" asked one of his students. Hertz shrugged. He was a modest man, of no pretensions and, apparently, little ambition. "Nothing, I guess."

<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/hertz.htm>

熱輻射 Thermal radiation



6,000 °C

提升溫度

3,000 °C

藍光

紅光

物體受熱 → 粒子動能增加 → 碰撞增加 → 不斷加/減速
電荷加速 → 放射電磁波（光）
溫度愈高 → 加速愈大 → 輻射愈高能量 → 愈光，愈藍

你($\sim 30^{\circ}\text{C}$)亦在發光!



紅外線
(infrared)



Photos
courtesy
NASA

http://coolcosmos.ipac.caltech.edu//cosmic_classroom/ir_tutorial/what_is_ir.html

星雲的熱
輻射



嘩咁靚，唔知邊個影嘅呢？

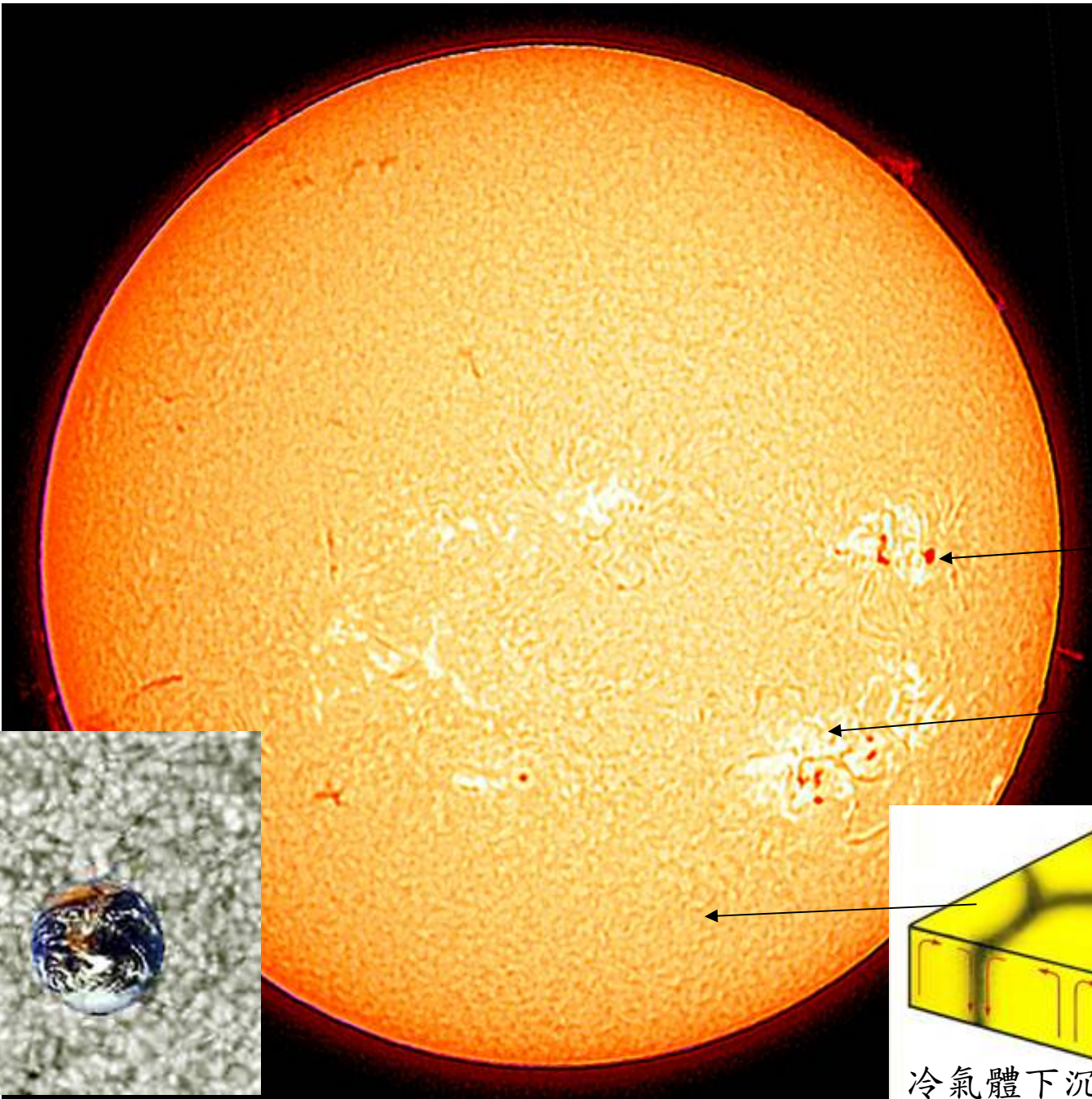
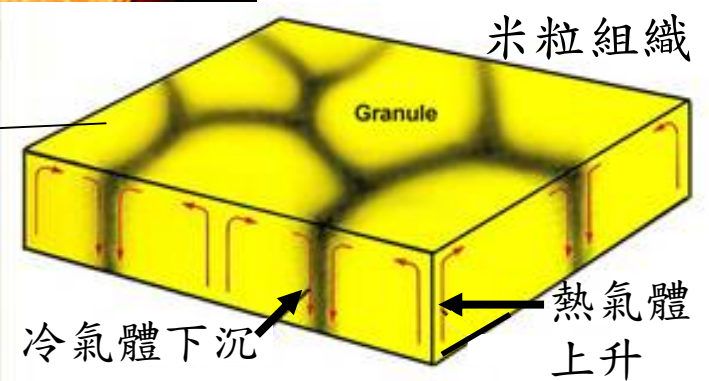
於香港中文大學拍攝

太陽表面溫度差異

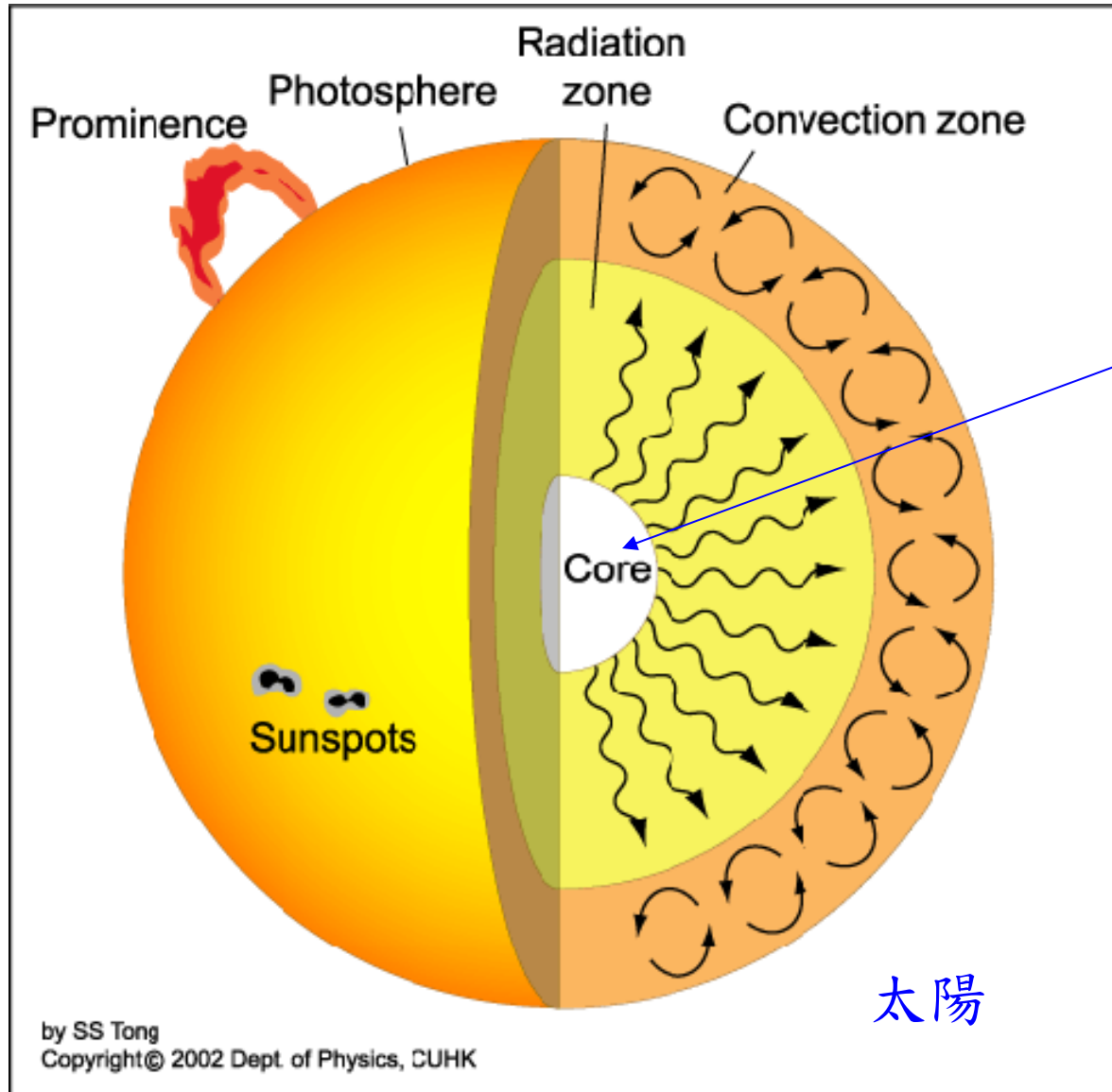
平均 5,800 K

低溫區 4,000 K

高溫區 $> 10^4$ K



2. 為甚麼星星發熱(能量)?



~一千四百萬度的核子熔爐，太陽能量之源

光（輻射）把能量傳至星球表面

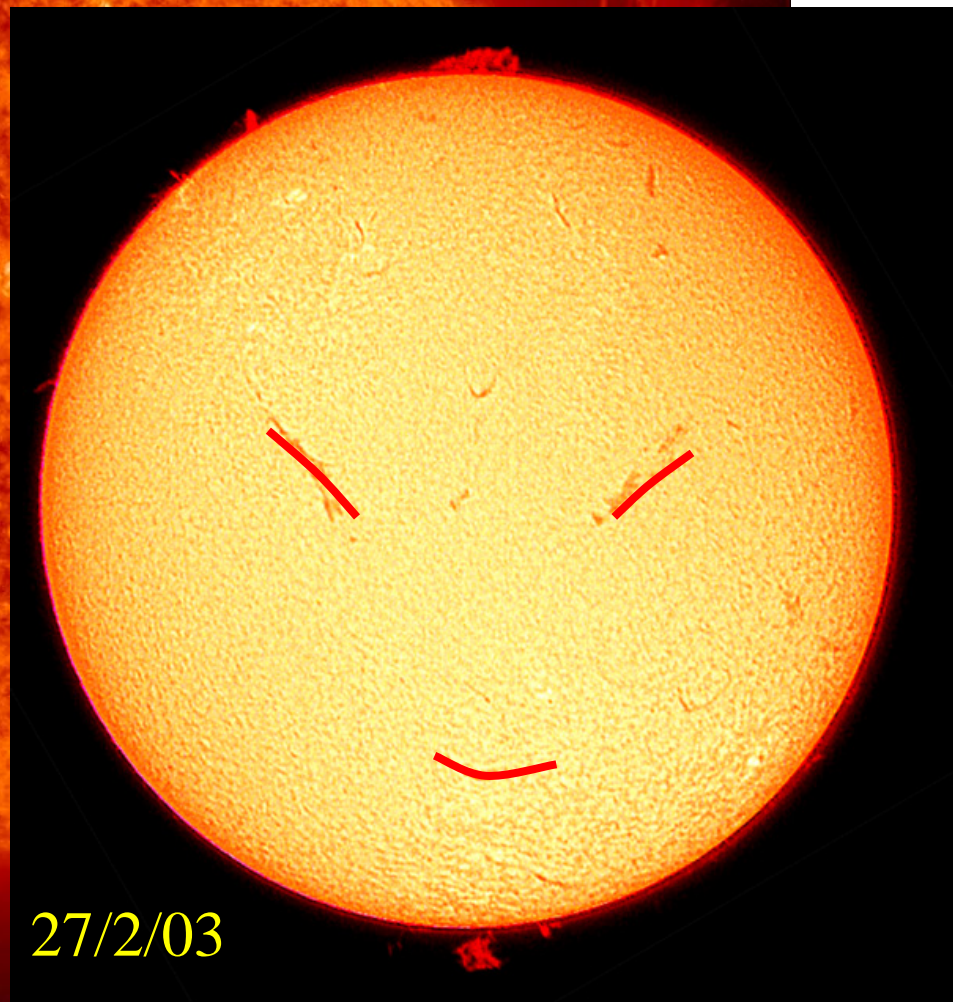
太陽

太陽

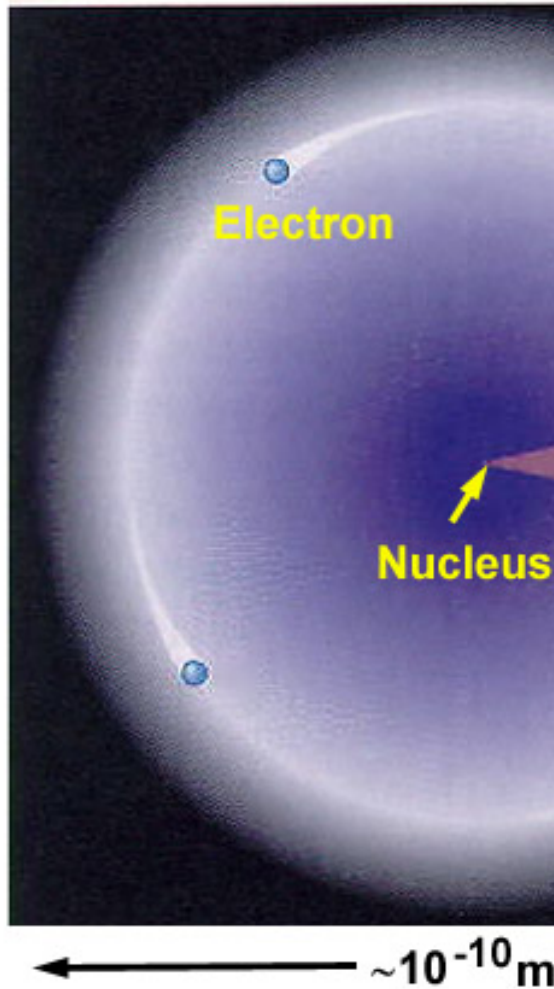
能量之源

地球主宰

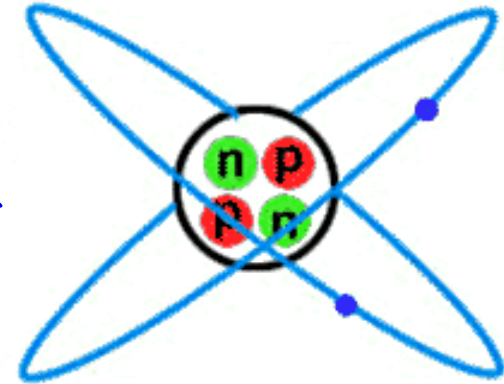
27/2/03



原子核 Atomic nucleus



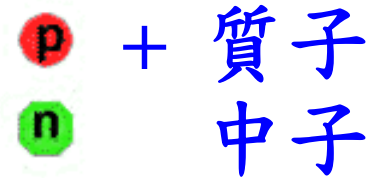
10^{-10} m Atom
原子



10^{-14} m Nucleus



10^{-15} m Proton
Neutron



$< 10^{-18} \text{ m}$ Electron



氫原子 Hydrogen = 1質子 proton + 1電子 electron

核融合(Nuclear Fusion)

- 兩原子核結合成新原子核，合成的原子核質量比原來的兩粒為輕，質量轉換成能量 ($E = mc^2$, $c \sim 3 \times 10^8$ m/s)
- 例如太陽內部把四粒質子合成為氦 (Helium)核子，質量差約為3%質子質量
- 但原子核帶正電→互相排斥repulsive
- →需高溫，約束(confinement)



每克物質 = 9×10^{13} 焦耳(Joules)!
~二千萬公斤黃色炸藥



融合能源

清潔
低輻射
大量燃料
安全

燃料

廢料

一兆瓦發電廠

煤

9000 T. Coal

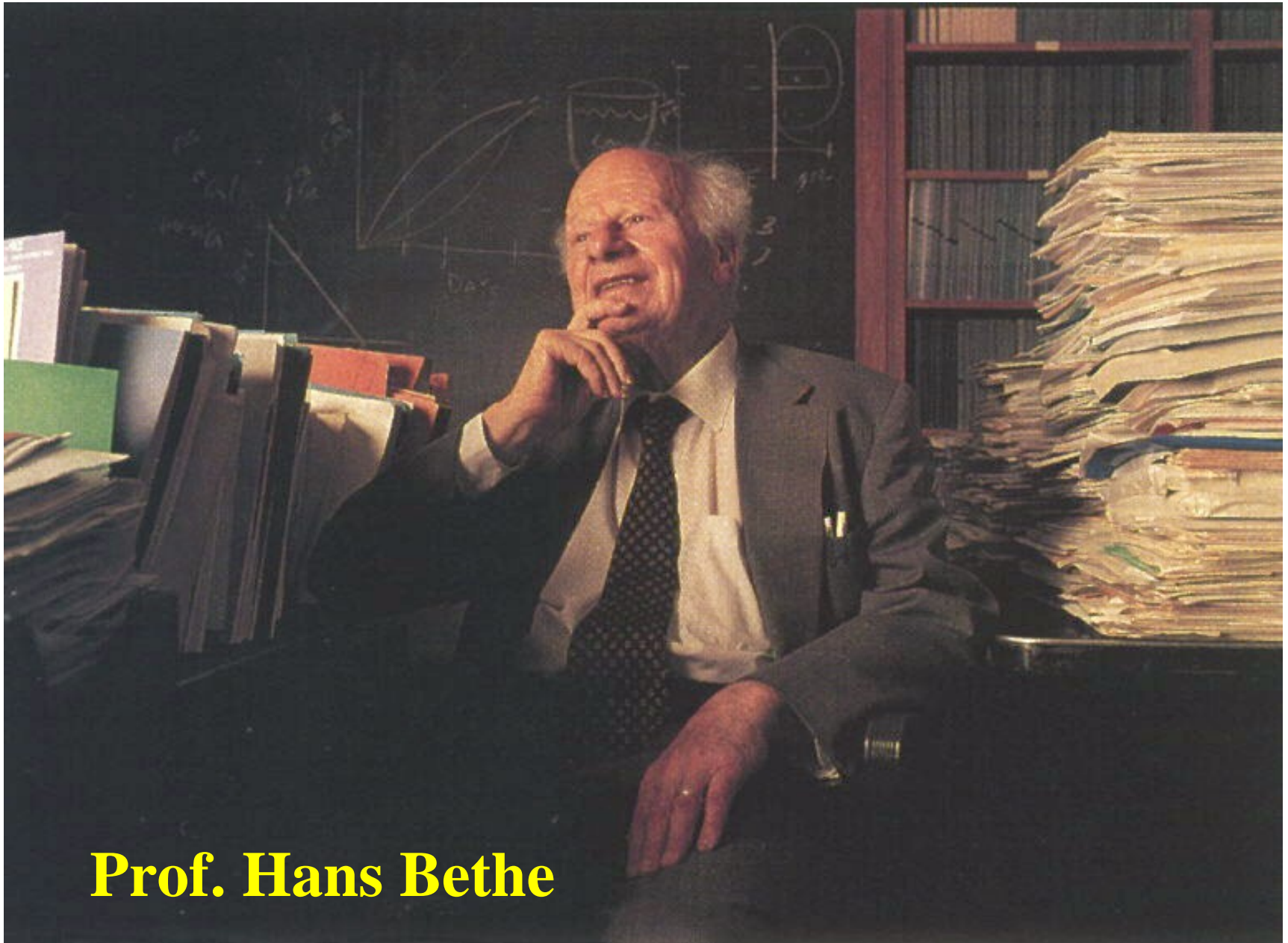
30,000 T. CO₂
600 T. SO₂
80 T. NO₂
(23.4 lb. U)
(57.6 lb. Th)

D-T 融合

1.0 lb. D₂
3.0 lb. Li⁶
(1.5 lb. T₂)

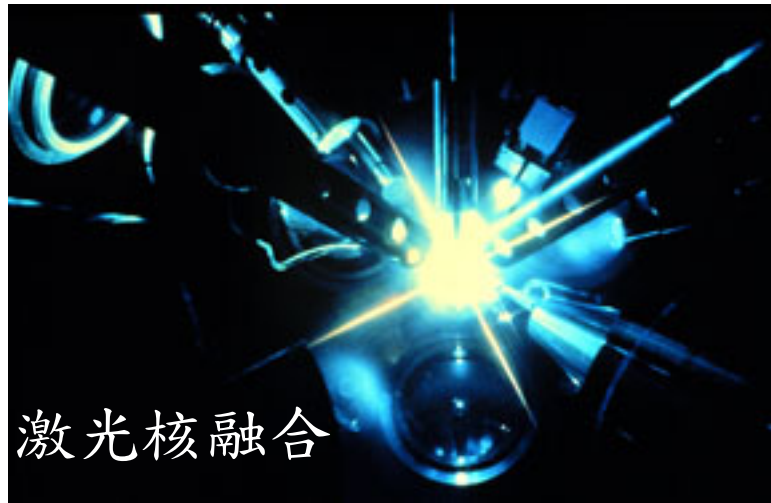
4.0 lb. He⁴

怎樣知道恆星以核融合產生能源的理論正確？

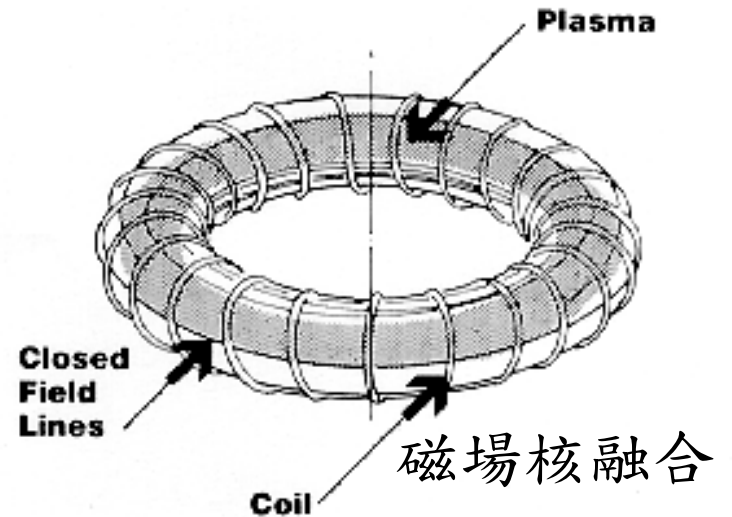


Prof. Hans Bethe

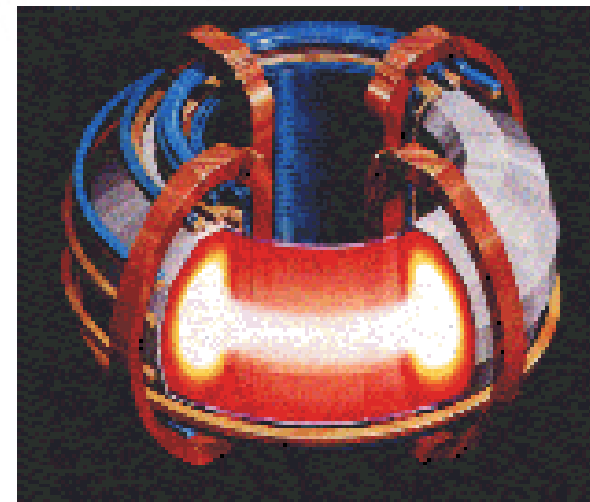
1. 實驗驗證核融合的可行



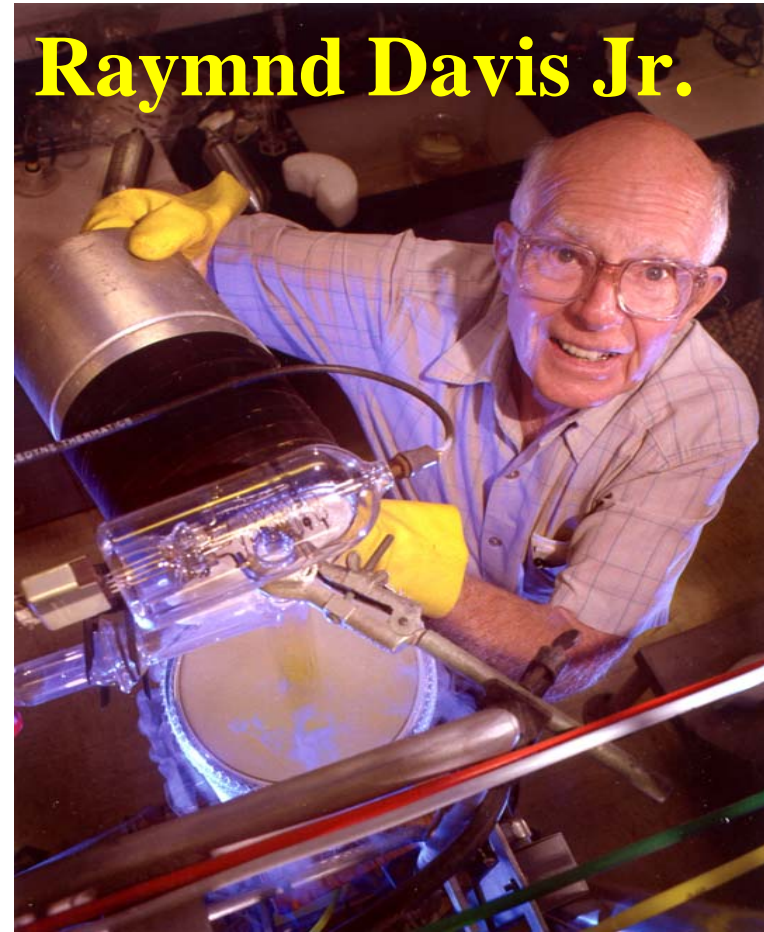
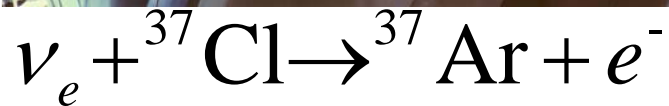
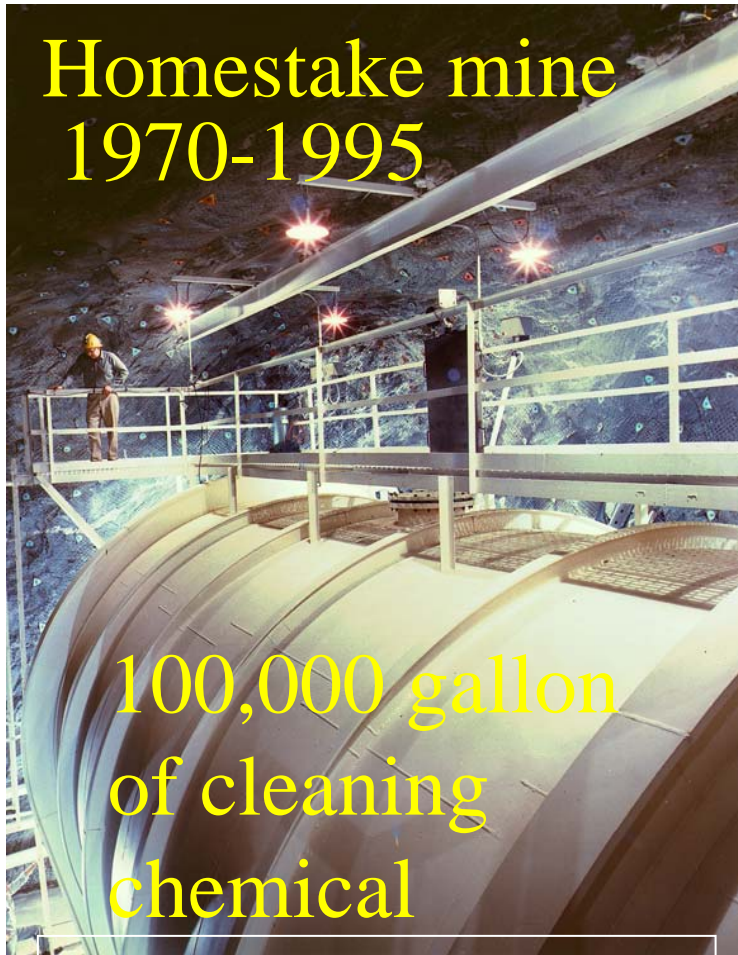
Tokamak



2. 計算太陽核心核融合產生能量，與觀測比較



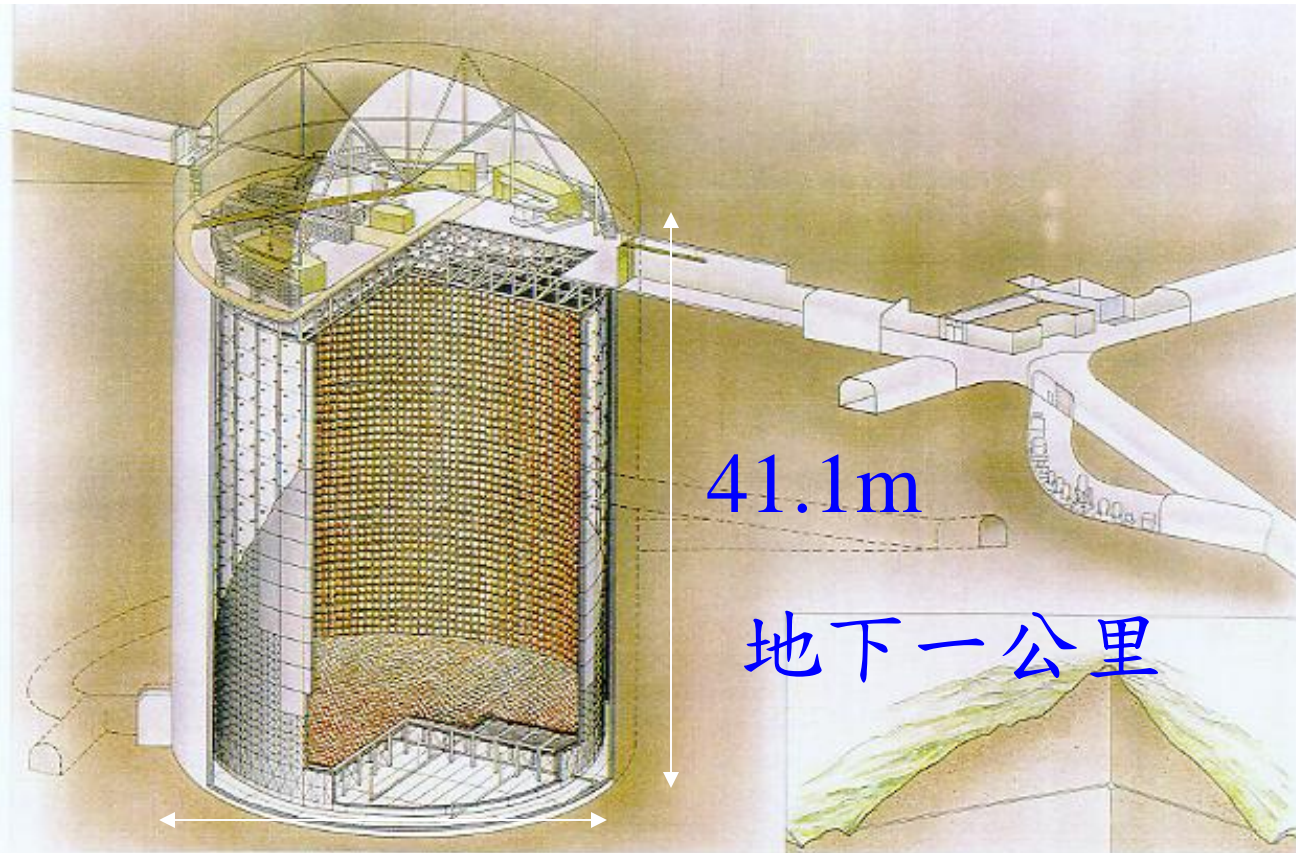
3. 量度太陽核心核融合產生的中微子 (neutrinos) 數量，與理論比較



“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
Koshihara

39.3m

五萬噸純水

41.1m

地下一公里

“for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos”

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

SuperKamiokande 光電管

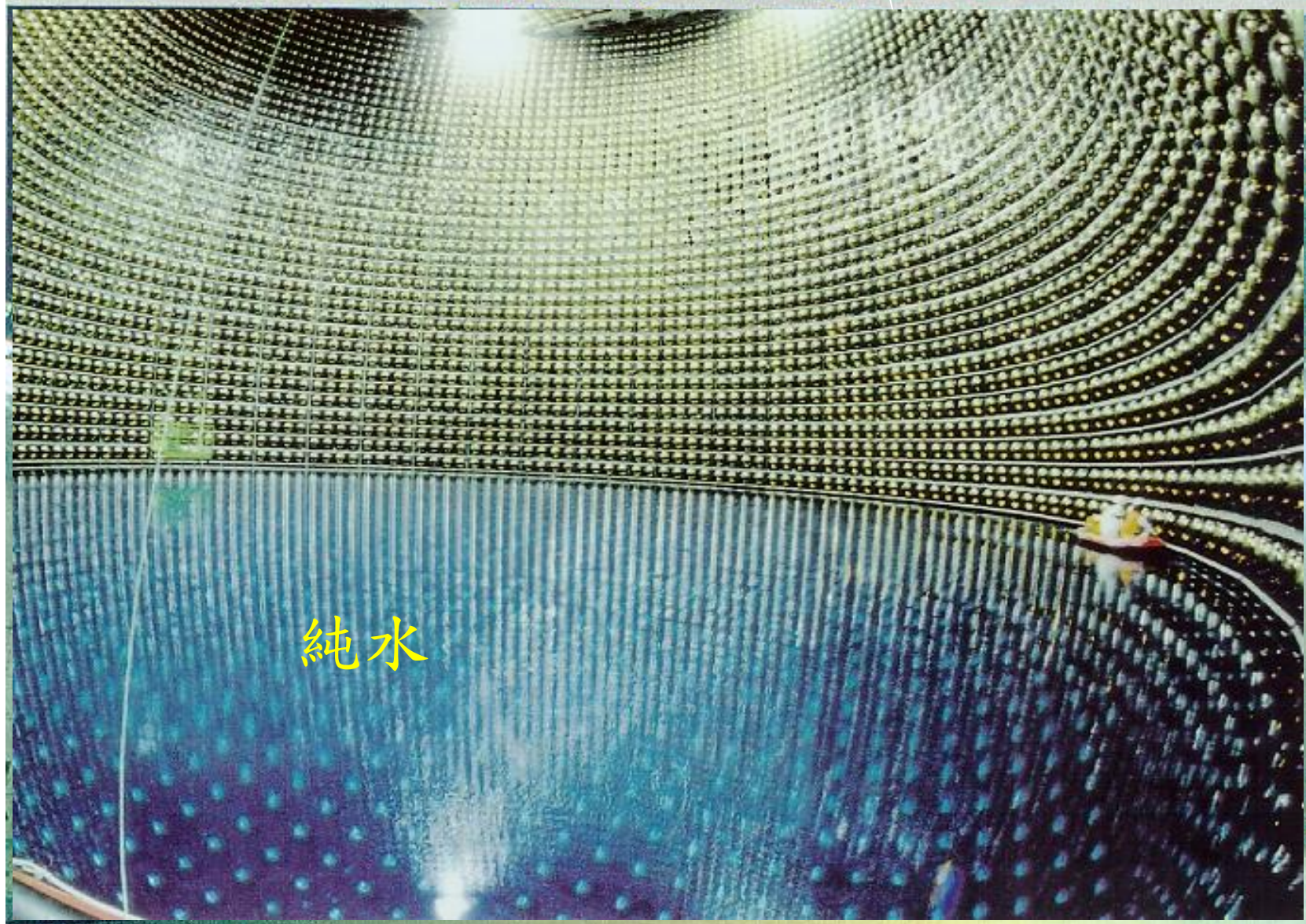


Photo from Superkamiokande <http://dumand.phys.washington.edu/~superk>

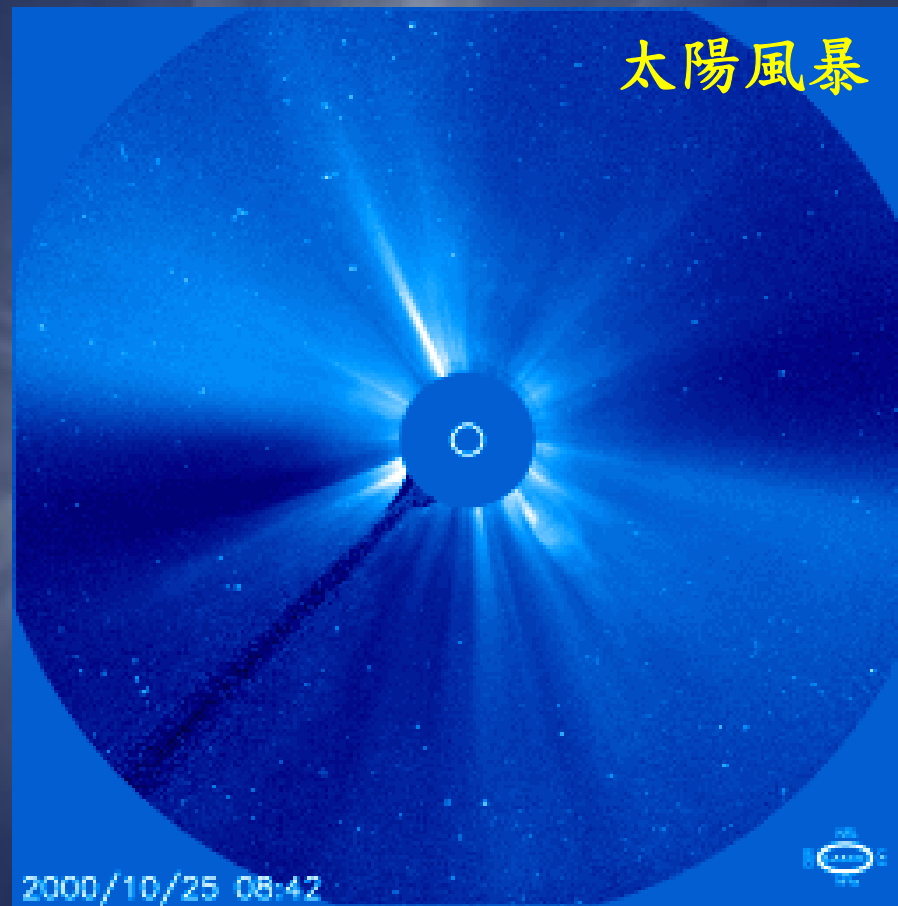
核能

温度達三億度!

3. 星星會否死亡？

大部份恆星核心極之穩定，可維持幾十至幾百億年，但表面可能很活躍

太陽大氣



太陽風暴

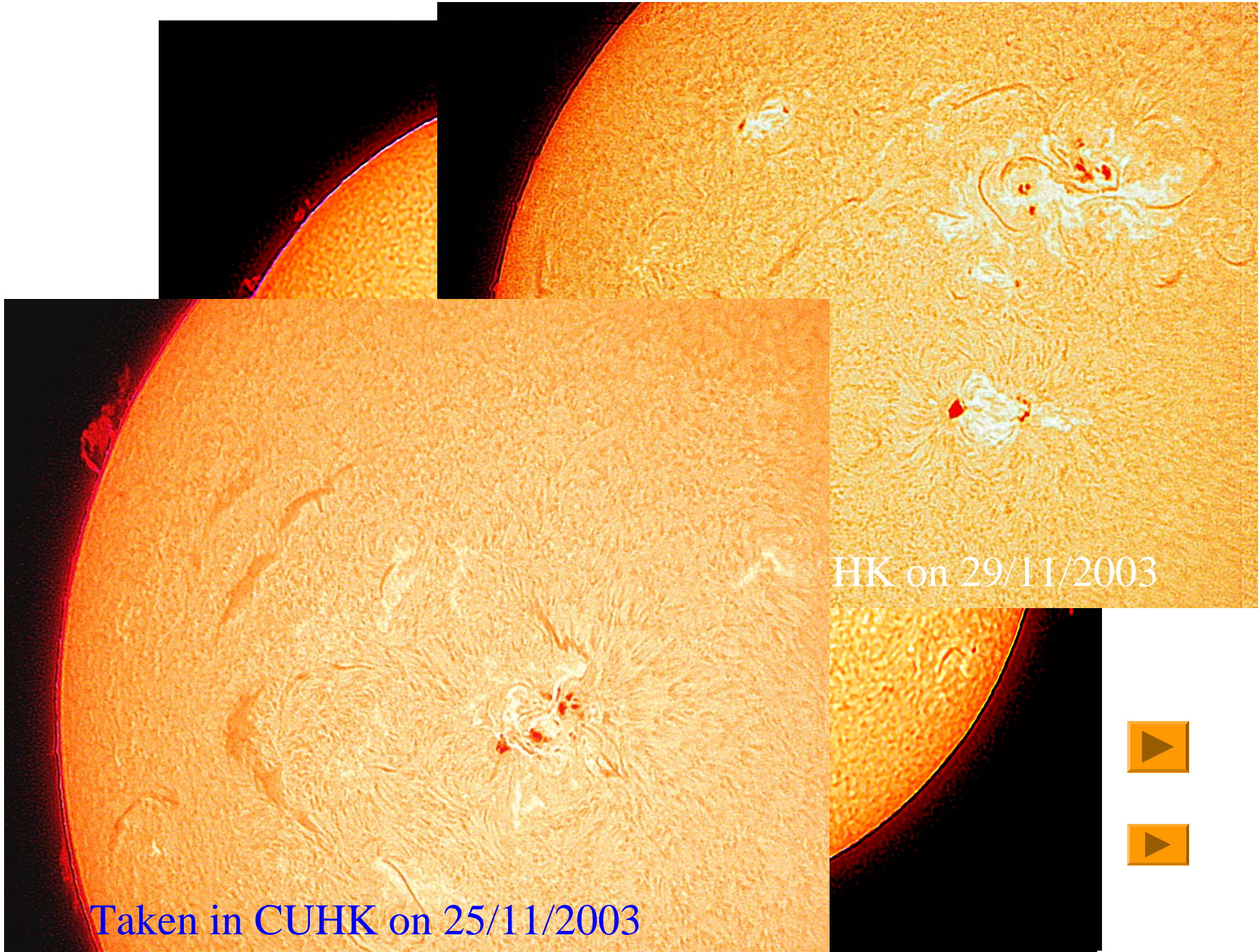
2000/10/25 08:42



©1999 F. Espenak - All rights reserved.

極光



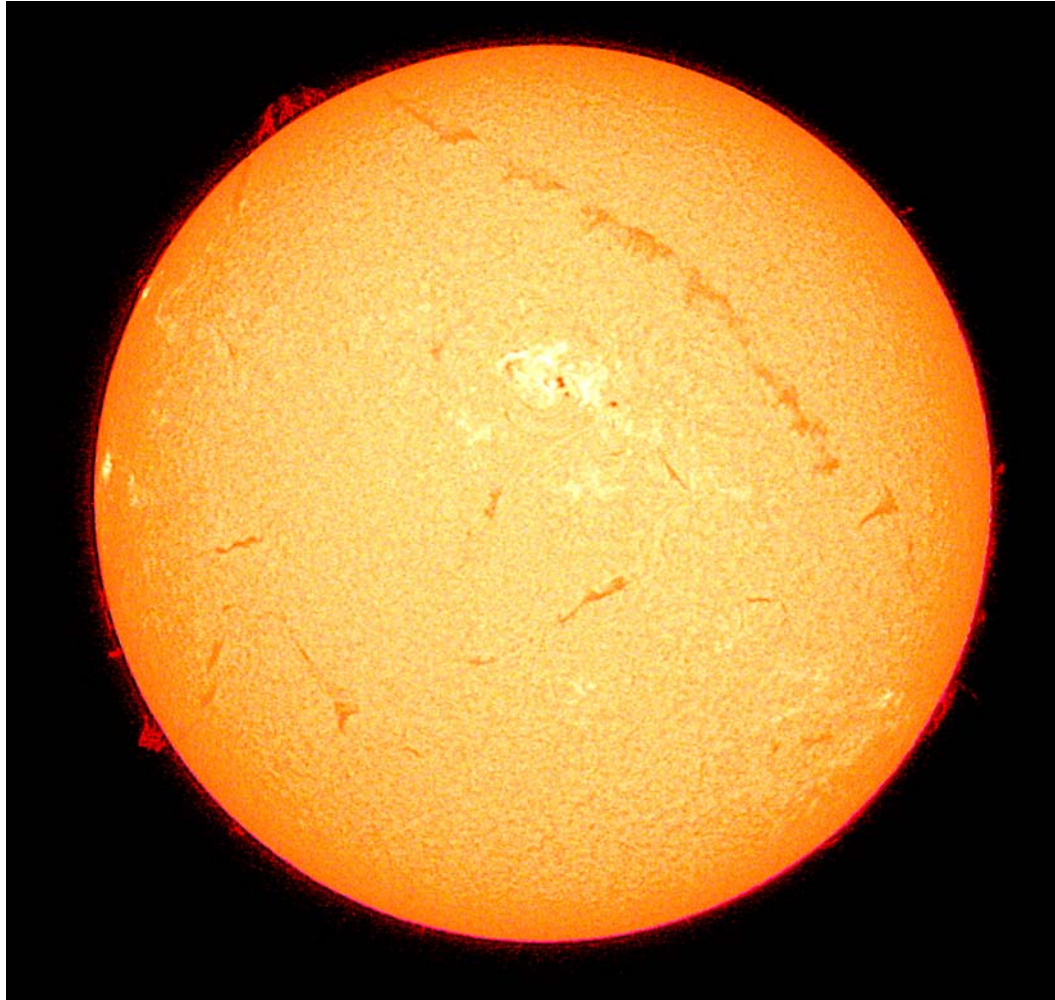


HK on 29/11/2003

Taken in CUHK on 25/11/2003



太陽與地球氣候

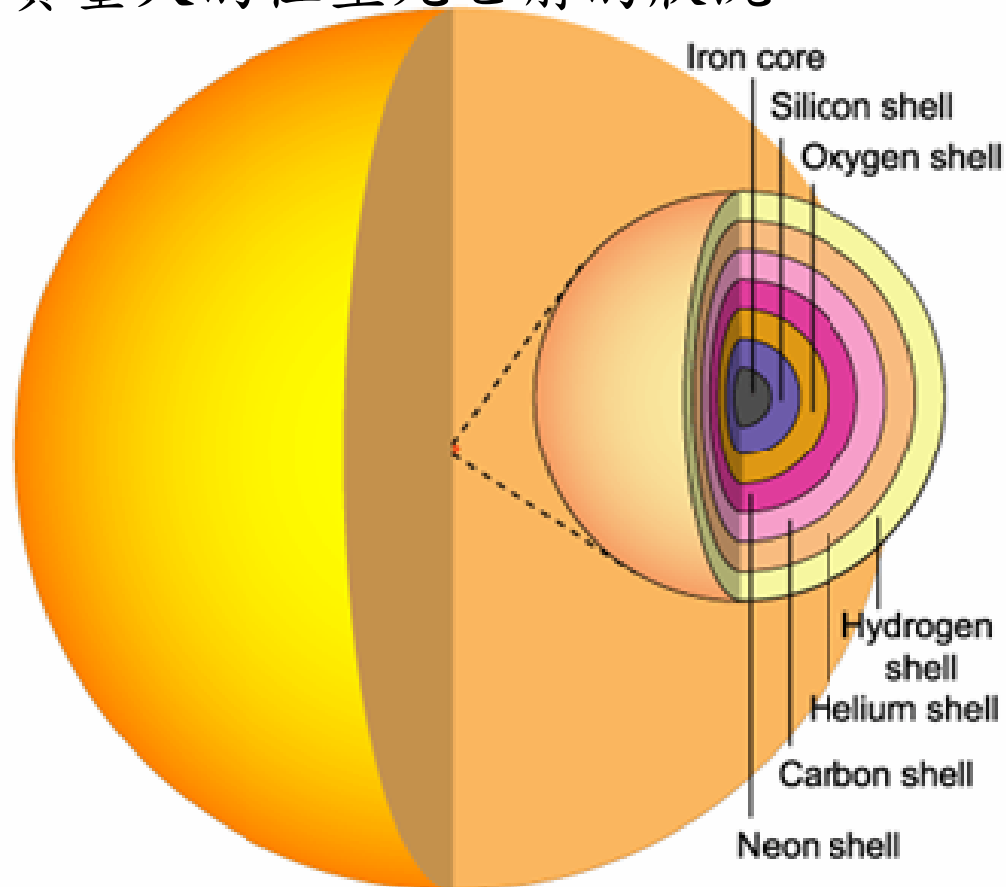


太陽周期 (11年)
→ 地球氣候周期

陽光強度稍弱 (~3%)
→ 地球冰封



質量大的恆星死亡前的狀況



by SS Tong
Copyright© 2002 Dept. of Physics, CUHK

既然恆星以核子反應產生能量，當核燃料耗盡便死亡。恆星內部把輕原素融合成重原素，到達鐵(Iron)時便不能再以融合產生能量。

太陽壽命約一百億年，已過了約四十五億年。

怎樣知道恆星演化及死亡的理論正確？

觀測其他衰老／已死亡的恆星

距離約8000
光年，質量
約一百倍太
陽。

一百五十年
前曾有大爆
炸，成為當
時天空最光
亮的恆星。

$L \sim 5 \times 10^6 L_{\odot}$



Eta Carina
Photo courtesy
HST

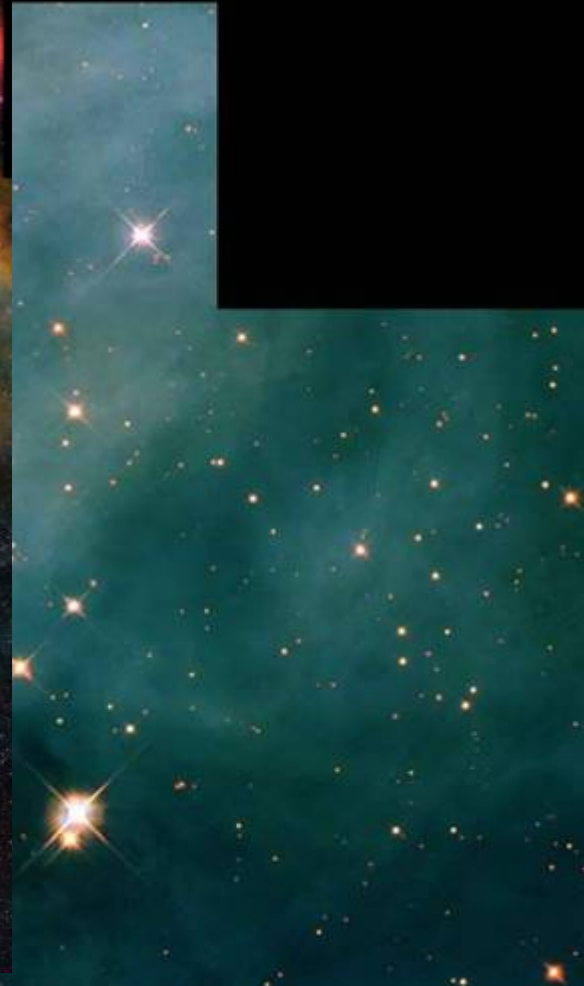




Photo
courtesy
HST/NASA

指環
星雲



4. 為甚麼有星團、星系、星系團？

因為有萬有引力 (gravitational force)

以及有大量暗物質 (dark matter)

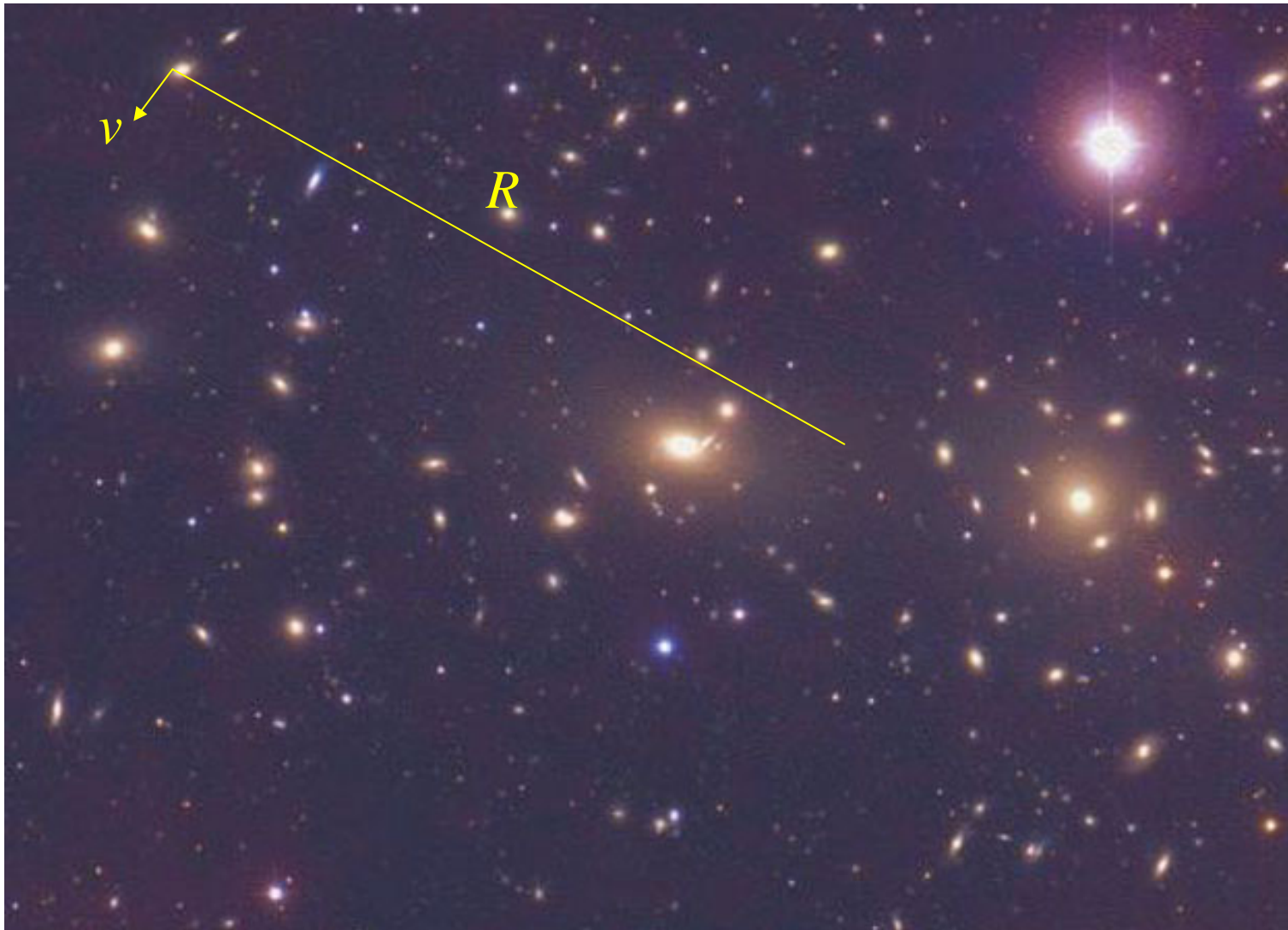
- 暗物質

只有重力作用，
沒有電磁作用

不能靠電磁波（如光）觀測



后髮座星系團 Coma Cluster



>1000 光
亮星系，
密度最高
之星系團
距離約二
億八千萬
光年

需有大量
物質(>>
可見物質
)才可維
持星系團

O. Lopez-Cruz INAOEP

AURA NOAO NSF

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020203.html>

室女座星系團 Virgo Cluster



最近地球之星
系團(六千萬
光年)。超過
二千個星系。
銀河系以每秒
幾百公里速度
被吸去。

5°視角

暗物質的發現

證據二: 星系自轉速度分佈(galactic rotation curve)
若果沒有暗物質，星系會飛散

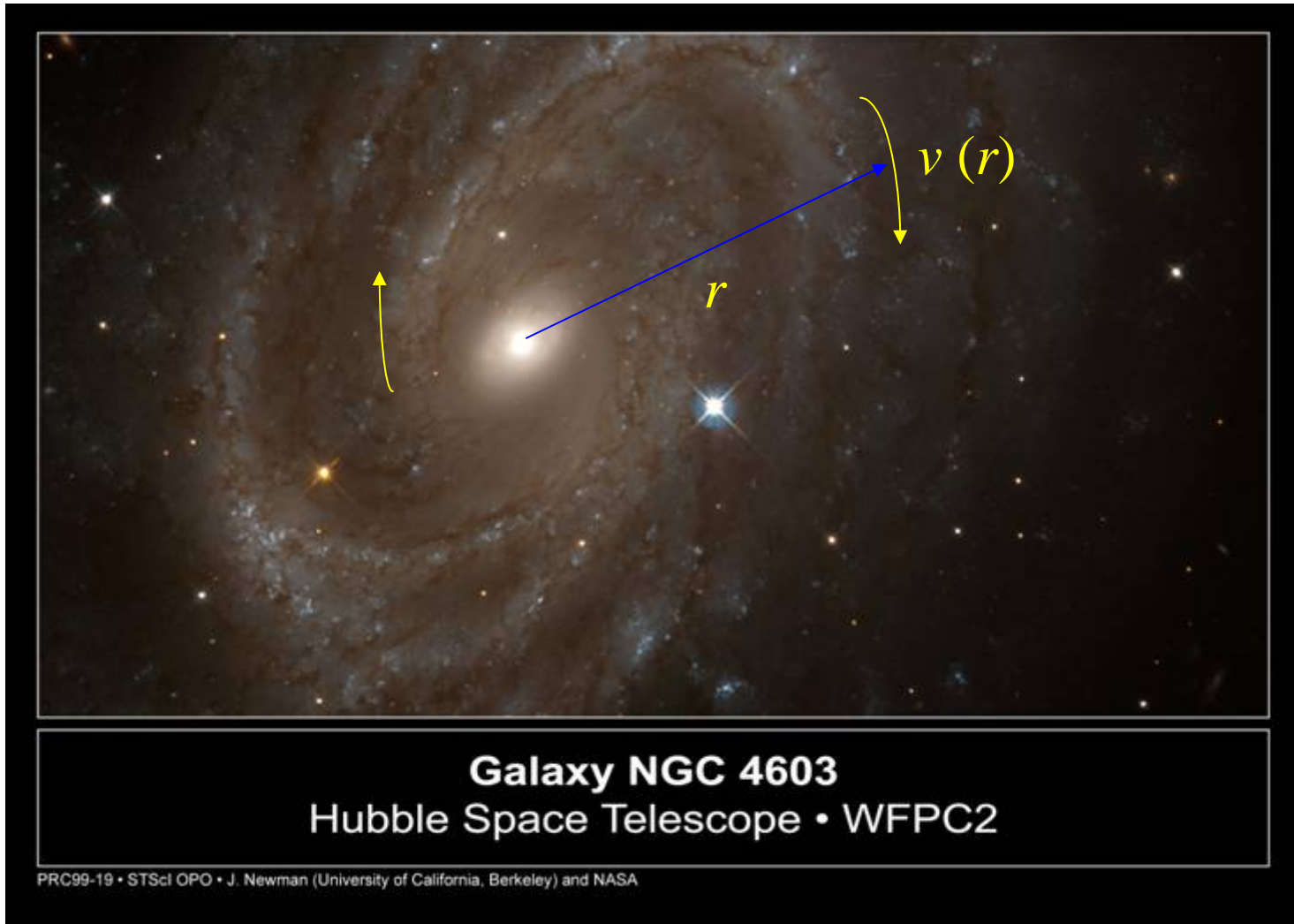
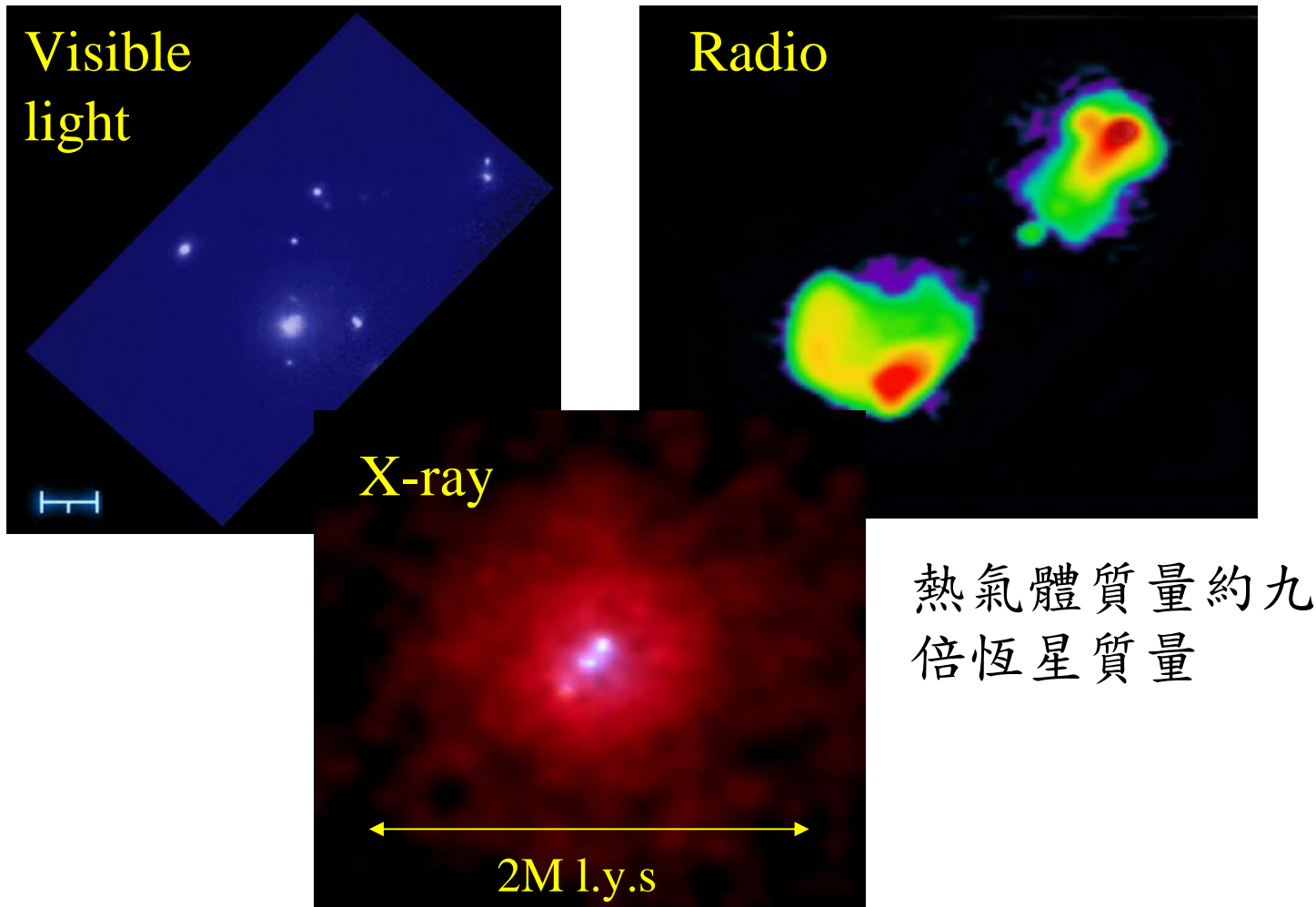


Photo
credit:
NASA/
STScI

暗物質的發現

證據三: 星系團熱氣體 - 普遍有大量熱氣體包圍星系團，溫度達一億度，放射X光，氣體總質量 > 恆星



<http://chandra.nasa.gov/> Photo Courtesy NASA

后髮座星系團 Coma Cluster

X-射線影像



氣體溫度
約一億度

需有大量暗
物質提供足
夠引力

Photo credit:
Chandra X-ray
Observatory

<http://chandra.harvard.edu/photo/2002/0150/>

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap020203.html>

暗物質的發現

- 若沒有暗物質：
- 包圍星系團的熱氣體會散失
- 不會形成星系團
- 星系亦不能凝聚

必須有大量暗物質才能由均勻演化出大小結構！

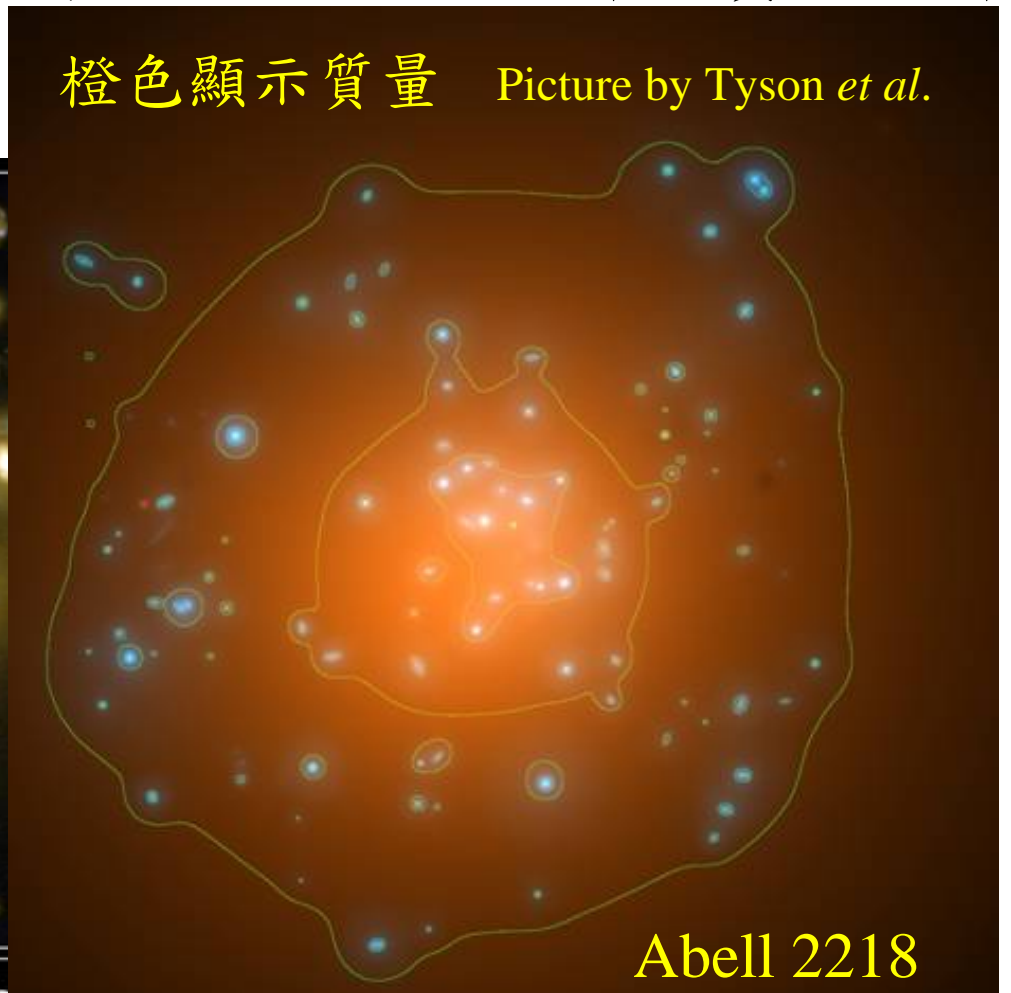
仍要有暗物質的直接證據

暗物質的直接證據

光線扭曲 → 重力分佈 → 質量分佈

- 以重力透鏡效應(質量/重力扭曲光線) 觀測

橙色顯示質量 *Picture by Tyson et al.*



Abell 2218

Galaxy Cluster Abell 2218
Hubble Space Telescope • WFPC2

星系團 1E 0657-556 (子彈星系團)

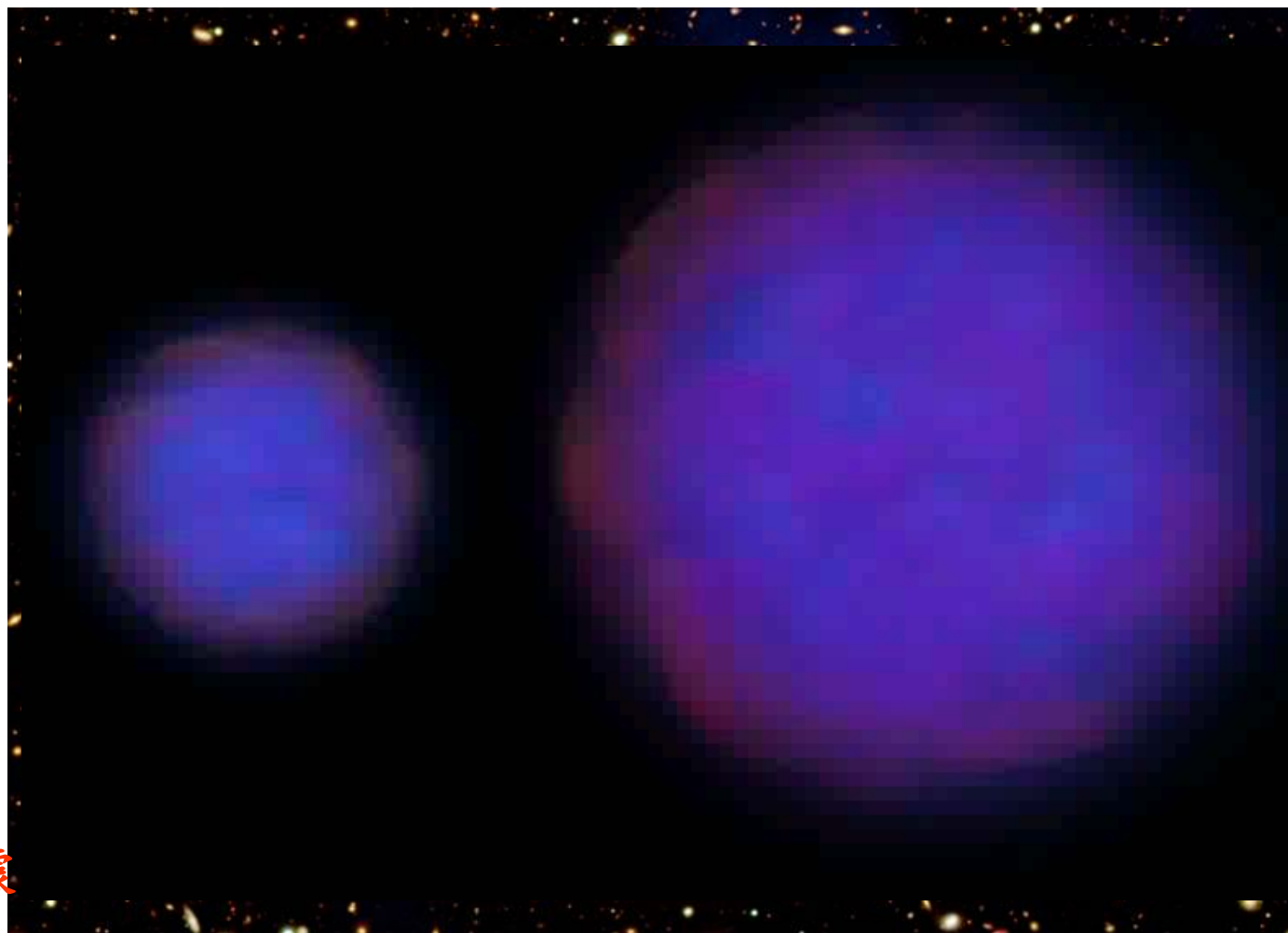
-由兩個星系團碰撞而成

-紅色部份為熱氣體 (X-光望遠鏡拍攝)

-藍色是大部份質量所在 (重力透鏡效應觀測)

-暗物質沒有阻力
→比熱氣體快

暗物質的直接證據



Credit: X-ray: [NASA/CXC/M.Markevitch et al.](#)

Optical: [NASA/STScI](#); Magellan/U.Arizona/D.Clowe *et al.*

Lensing Map: [NASA/STScI](#); ESO WFI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe *et al.*

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/galaxy/2006/39/image/a/>

5. 為甚麼整個宇宙在發光（微波背景
輻射）？

宇宙微波背景輻射 (Cosmic Microwave Background) ?

觀測→宇宙膨脹已維持了起碼幾十億年
既然宇宙膨脹了那麼多，早期密度及溫度必然很高→熱輻射 (Gamow 1948)

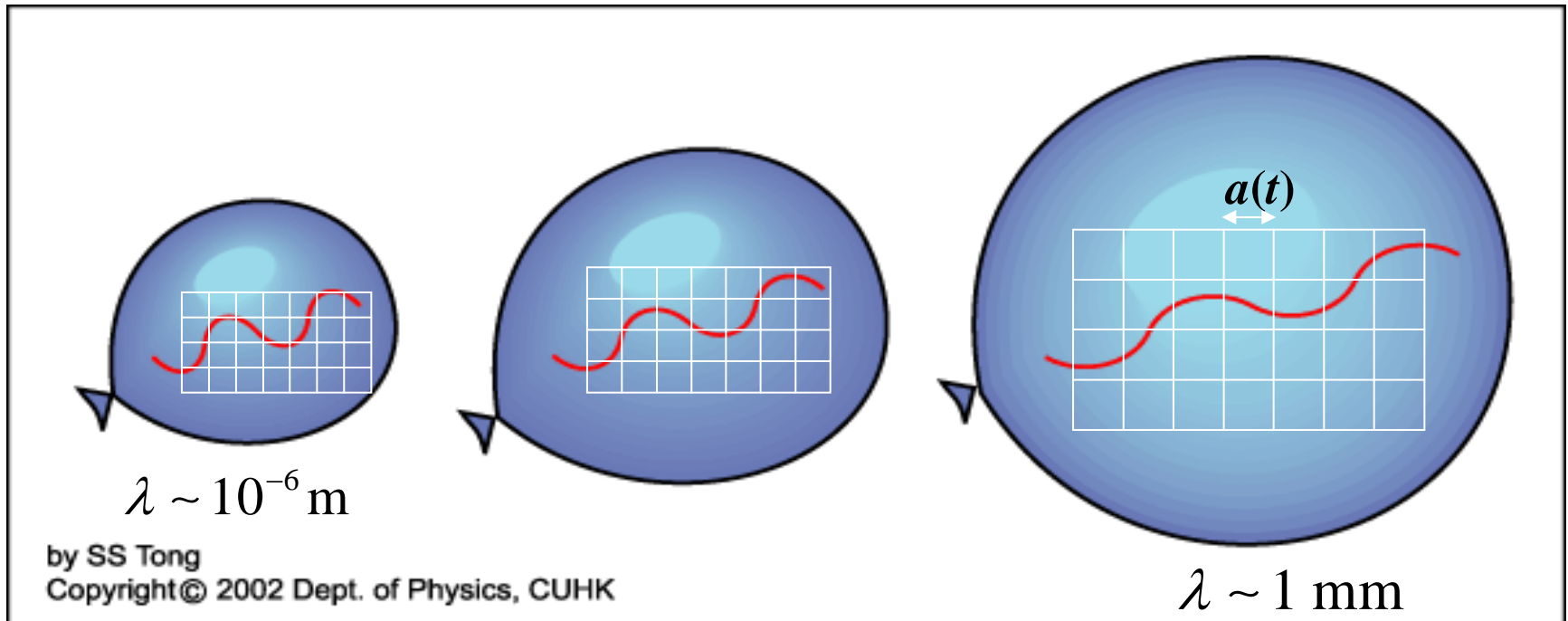
大爆炸理論 (Big Bang) 

http://map.gsfc.nasa.gov/m_uni.html

為甚麼是微波？

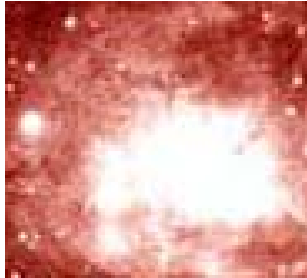
自由光波波長隨宇宙膨脹而增加。宇宙從 $t \sim 400,000$ 年至今膨脹了約一千倍：紅光 \rightarrow 微波

為甚麼



從而得知宇宙年齡為137億年！

$t \sim 400,000$ 年：宇宙由不透明變為透明



宇宙早期溫度密度高，→不透明



宇宙膨脹→溫度密度下降→物質成為氣態
→透明 $t \sim 400,000$ 年



宇宙膨脹→溫度密度下降→物質(氣態)愈來愈稀疏，輻射微弱 $t > 400,000$ 年

↓
 t

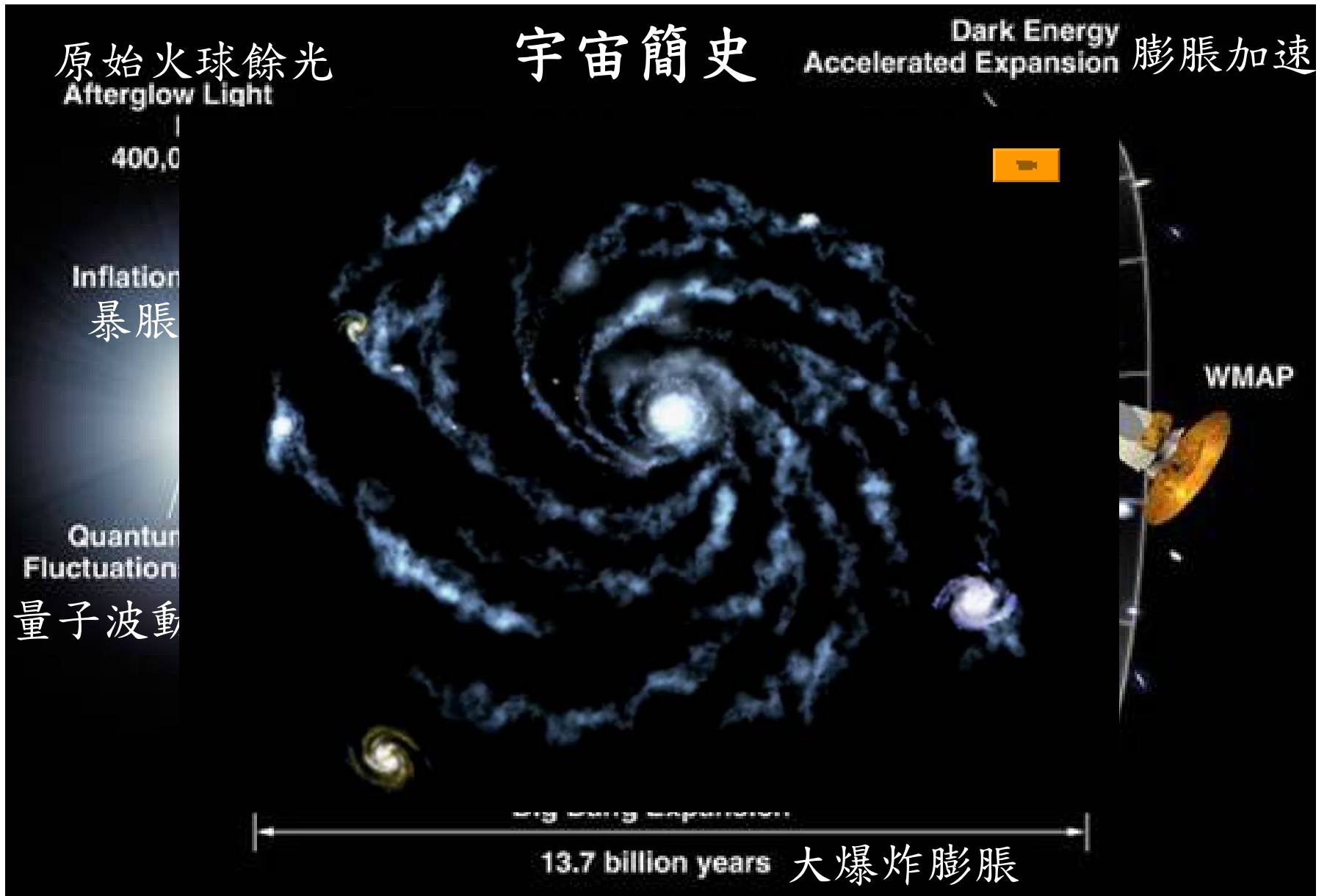


Figure courtesy NASA/WMAP

宇宙微波背景輻射的觀測：

1. 證明宇宙曾經溫度密度很高
2. 證明宇宙膨脹了約一百四十億年
3. 支持大爆炸理論 (Big Bang Theory)
4. 帶有宇宙早期物理狀態的資料

研究一百四十億年前的宇宙！

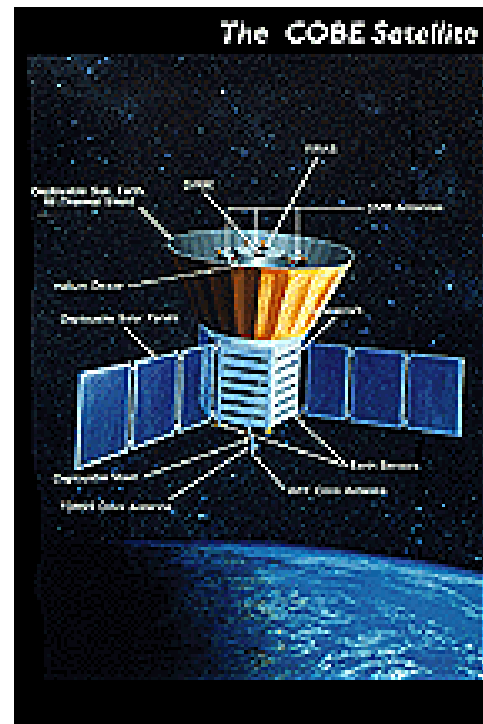
宇宙學新紀元！

Nobel Prize in Physics 2006

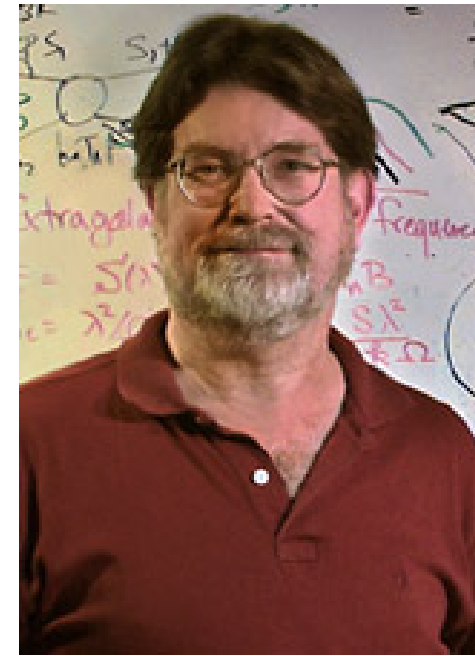
"for their discovery of the **blackbody form** and **anisotropy** of the cosmic microwave background radiation"



John C. Mather



COBE



George F. Smoot

<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2006/index.html

天問

- 宇宙深處：時空遊
- 為甚麼星星發光？
- 為甚麼星星發熱？
- 星星會否死亡(停止發光發熱)？
- 為甚麼有星團、星系、星系團？
- 為甚麼整個宇宙在發光（微波背景輻射）？

希望大家學到甚麼？

- 宇宙大結構的基本認知
- 恆星物理入門
- 物理學家問些甚麼問題
- 物理探究的方法及過程
- 好奇心的重要性

天問
Mysteries of the Cosmos

朱明中

香港中文大學物理系

mcchu@phy.cuhk.edu.hk

<http://www.phy.cuhk.edu.hk/gee/mctalks/mctalks.html>