

# 開展宇宙新視野

陳文屏

中央大學 天文所、物理系

2010.08.24 中央研究院

# 自然科學？

「我念文科，不懂物理」？

「我念科學，所以歷史沒有讀好」？

老天爺沒有因為不同科系，給不同考題！

- 人生 — 連串解決問題的過程
- 學習 — 解決問題的能力（一輩子）
- 研究 — 找問題的能力、找（新）答案  
歷史、地理、語文 vs 物理、化學、數學

# 大綱

---

- 宇宙的歷史與地理
- 發現新世界 —— 太陽系家族的人口普查  
太陽系以外的行星系統
- 宇宙新面貌 —— 上下古今的來龍去脈  
未知的宇宙力量

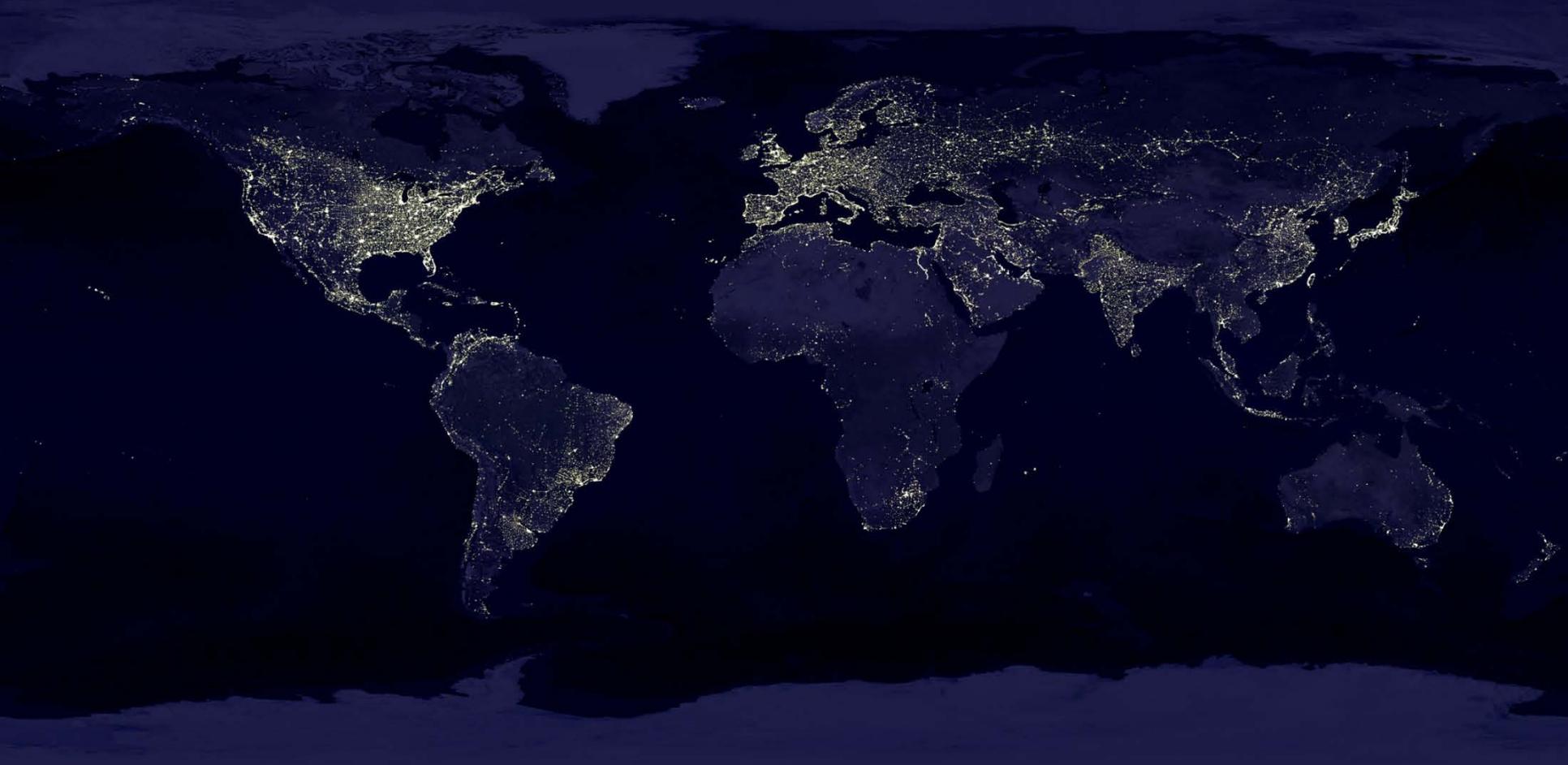


放眼望去，一半是天！



天地輪遞，一半是夜！











**Living Earth** <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth>

# 地理、歷史、社會 物理、化學、數學 ...

- 歷史——發生過的事情 ... 怎麼知道？  
記載、考古、推敲
- 地理——周遭的事物 ... 怎麼知道？  
耳聞、目睹、探險



鄭和（馬三寶）（1371 – 1433）中國明代航海家



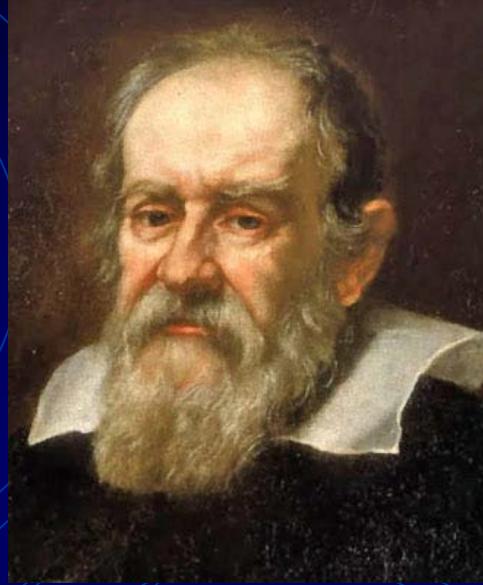
麥哲倫 Ferdinand Magellan  
（1480 – 1521）葡萄牙探險家，  
首先航行地球一圈



哥倫布 Christopher Columbus  
（1451 – 20 May 1506）義大利探  
險家，發現美洲新大陸



哥白尼 Nicolaus Copernicus  
(1473 – 1543) 波蘭天文學家，  
主張日心說

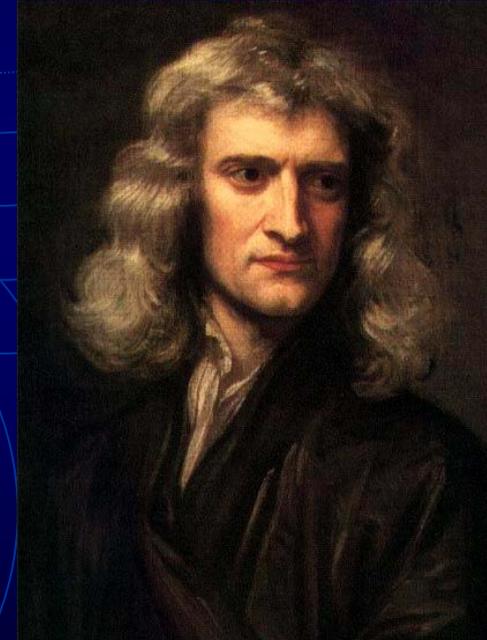


伽利略 Galileo Galelei (1564  
Feb 15 – 1642 Jan 8) 義大利天  
文學家，首先使用望遠鏡觀  
察宇宙0

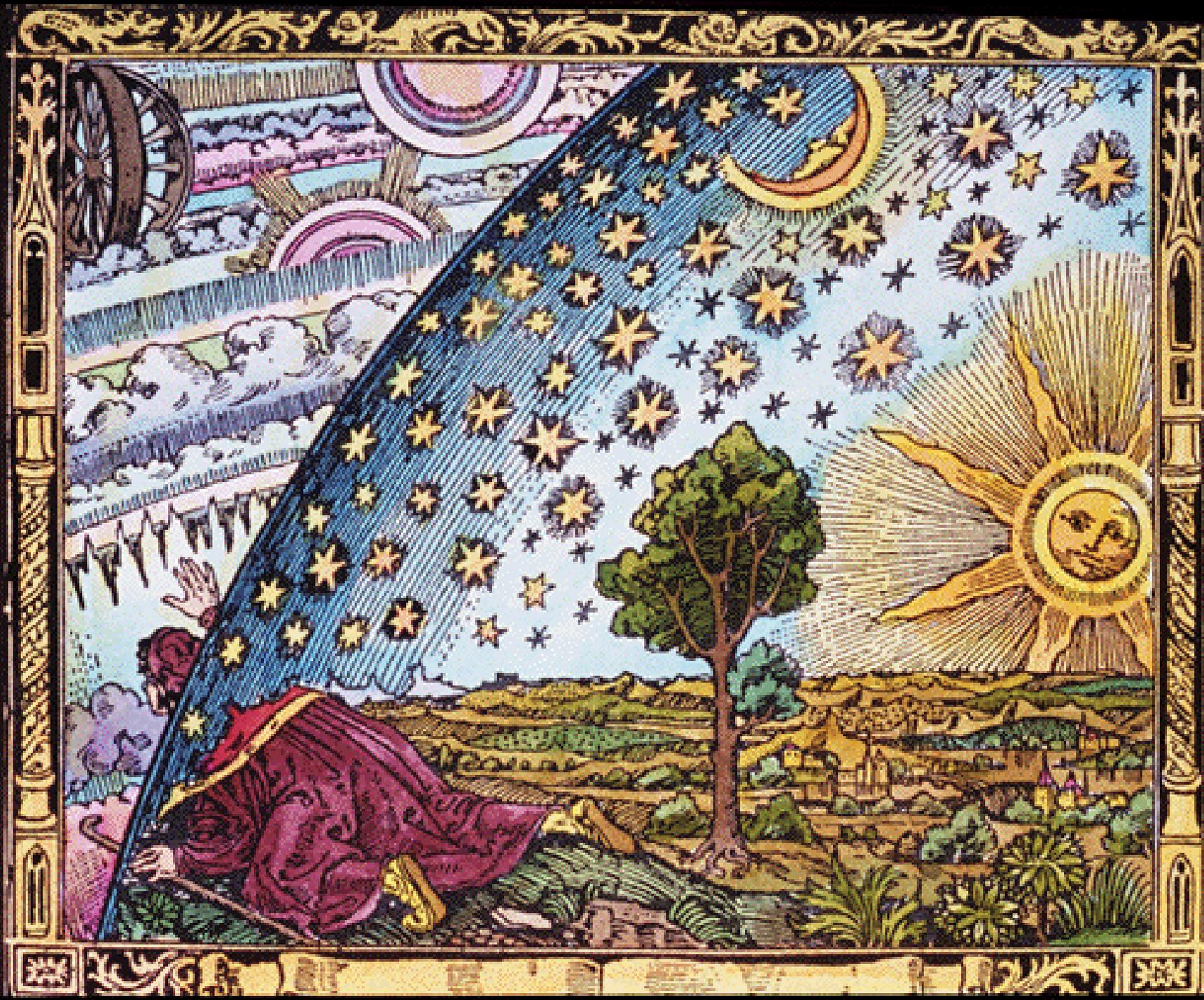


刻卜勒 Johannes Kepler (1571  
Dec 27 – 1630 Nov 15) 德國天  
文學家，發現行星運動定律

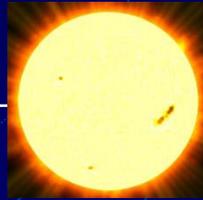
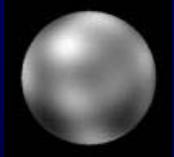
牛頓 Sir Issac Newton (1643  
Jan 4 – 1727 Mar 31) 英國科  
學，發現萬有引力定律



「大自然充滿了答案，但問題是什麼？」



# 浩瀚的宇宙

天體	相對距離尺度
地球 	桌上的一粒鹽；0.3 mm
月球 	一指外的胡椒
太陽 	門口（4 公尺）的番茄
木星—太陽系最大的行星 	大樓口（20 公尺外）的木瓜子
冥王星—曾經是最遠的行星 	隔棟大樓（150 公尺外）的一粒細沙
半人馬座 $\alpha$ 星—最近的恆星 	馬尼拉的番茄！



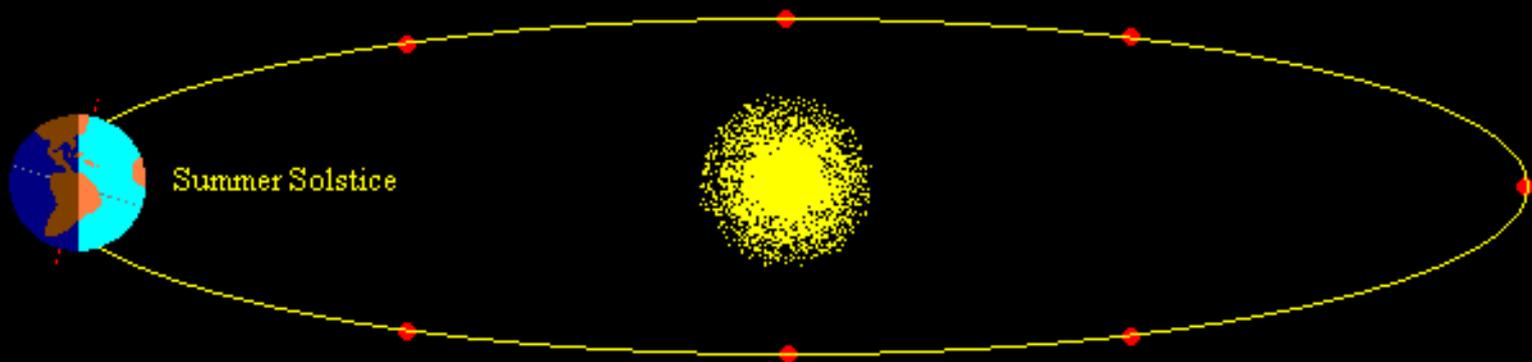
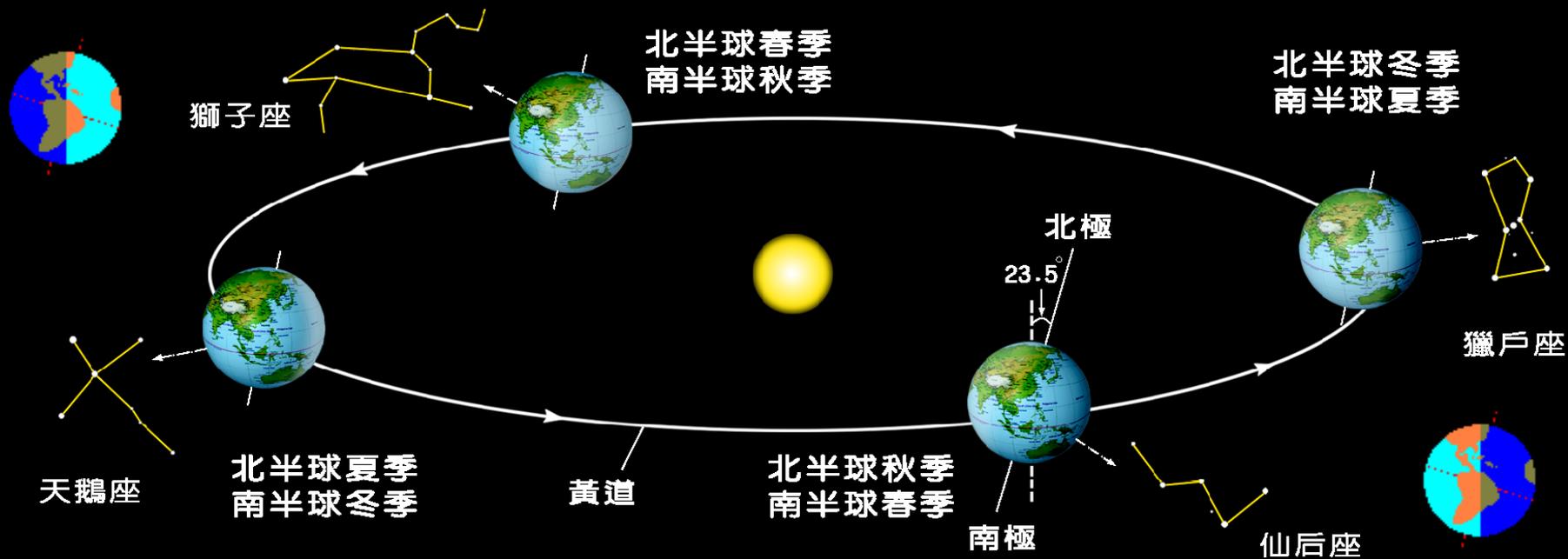
# 什麼叫做「浩瀚」？

- 光速為300,000公里/秒
- 卅萬公里相當於地球圓周七圈半
- 這樣的速度到月球只需一秒多 (眨眼的時間)
- 到太陽需約五百秒 (~下課的時間)
- 到半人馬座 $\alpha$ 毗鄰星須 4.3 年 (~讀大學的時間)
- 跨越銀河系約需 5~10 萬年 (人類演化的時間)
- 到最近的星系費時數百萬年 (大地演化的時間)
- 而目前已知的星系超過數億個 .....

銀河系（=我們所在的星系）應該也  
長得這個樣子 ...



恆星



# 夏季大三角

織女星 距離地球 25 光年

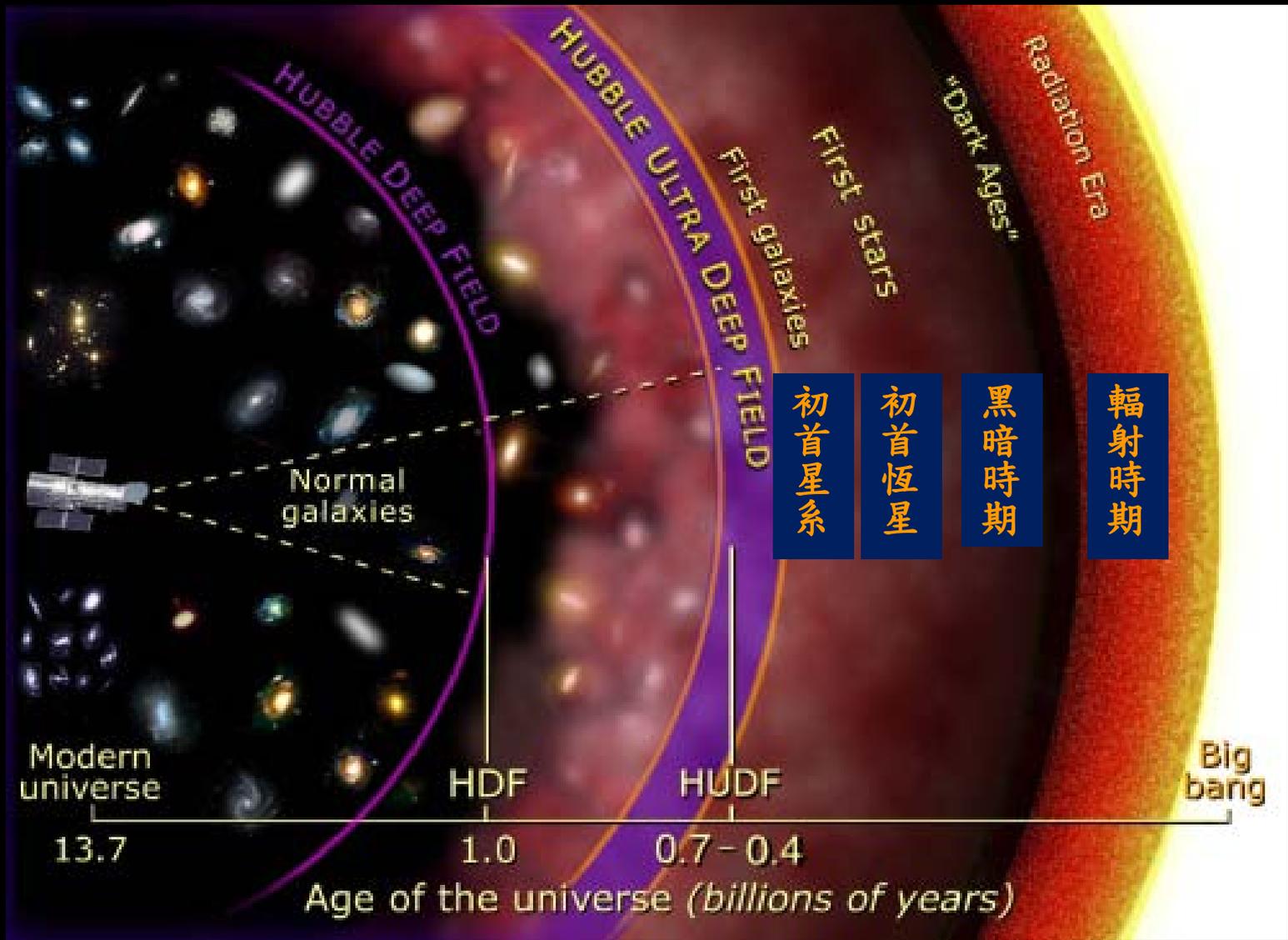
牛郎星 距離地球 16 光年

天津四 距離地球約 1500 光年

等會兒天黑走出戶外，一眼望去，16年前、25年前、1500年前發出的光線，我們可以同時看到！我們看到了16年前、25年前、1600年前天體的樣子！

但是我們看不到它們「現在」的樣子。  
咳，咳，「現在」是什麼意思呢？

利用望遠鏡，配備靈敏的儀器，我們甚至可以看到100億年前的宇宙！



現在年齡137億年

宇宙年齡 4~7億年時

宇宙年齡 0年

目前看到最遙遠的宇宙...

Hubble Ultra-Deep Field  
哈伯極度深景

# 早期宇宙很熱鬧！

星系

In Fornax ~10,000 galaxies

To Infinity and Beyond ...



ula

© KAGAYA

# Orion 獵戶座

<http://www.allthesky.com/constellations/orion/mainm.html>

# 北半球夏季銀河

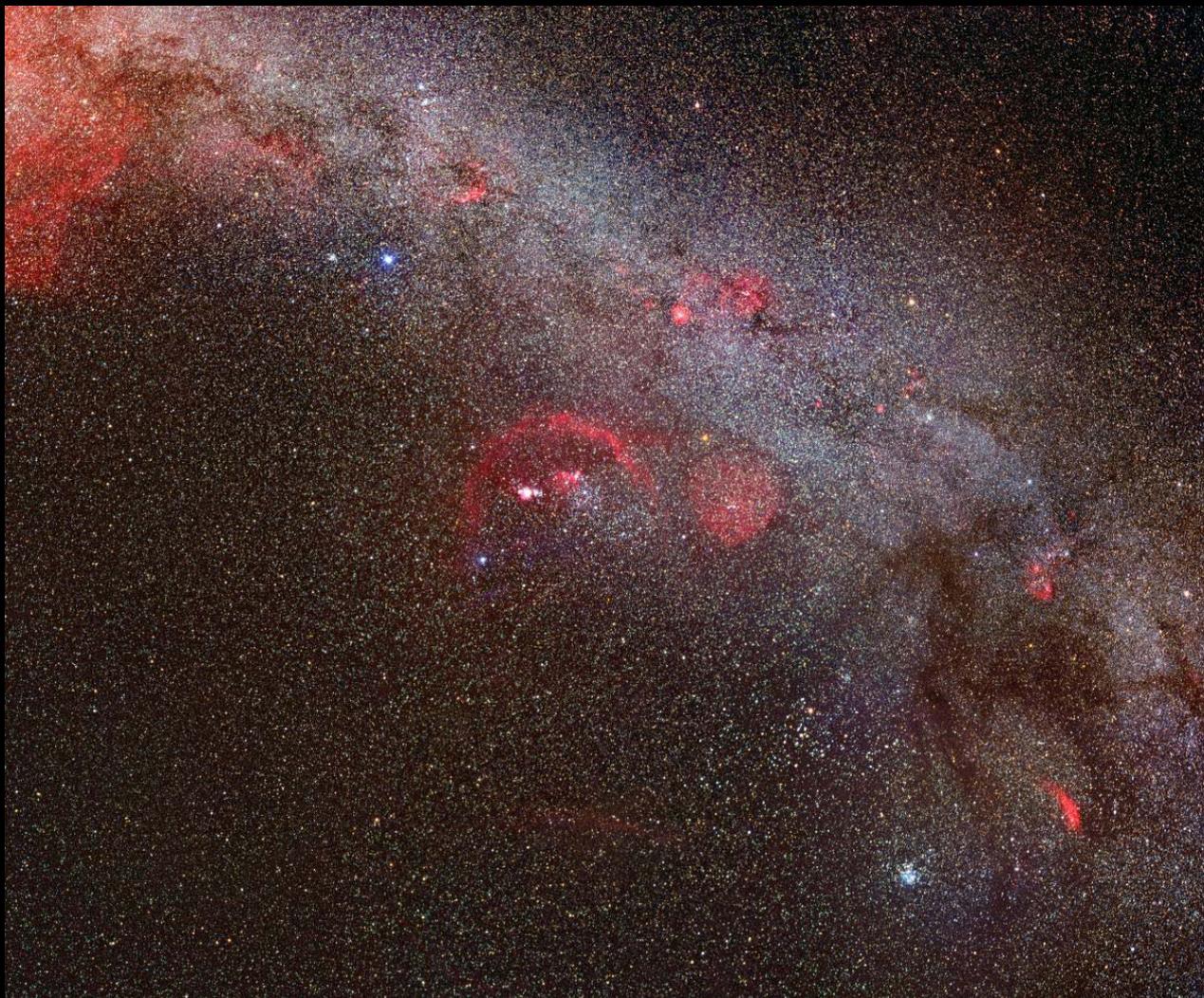


© 2006 Jerry Lodriguss



Wang Wei-Hao

# 北半球冬季銀河



# 星星也有生、老、病、死

## 源於塵土、歸於塵土

- 星星之間有極寬廣的空間，但是 太空 $\neq$ 真空

星際暗雲  $\xrightarrow[\text{旋轉}]{\text{收縮}}$  初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣

溫度上升、塵消氣散

年輕的太陽 + 盤狀物質

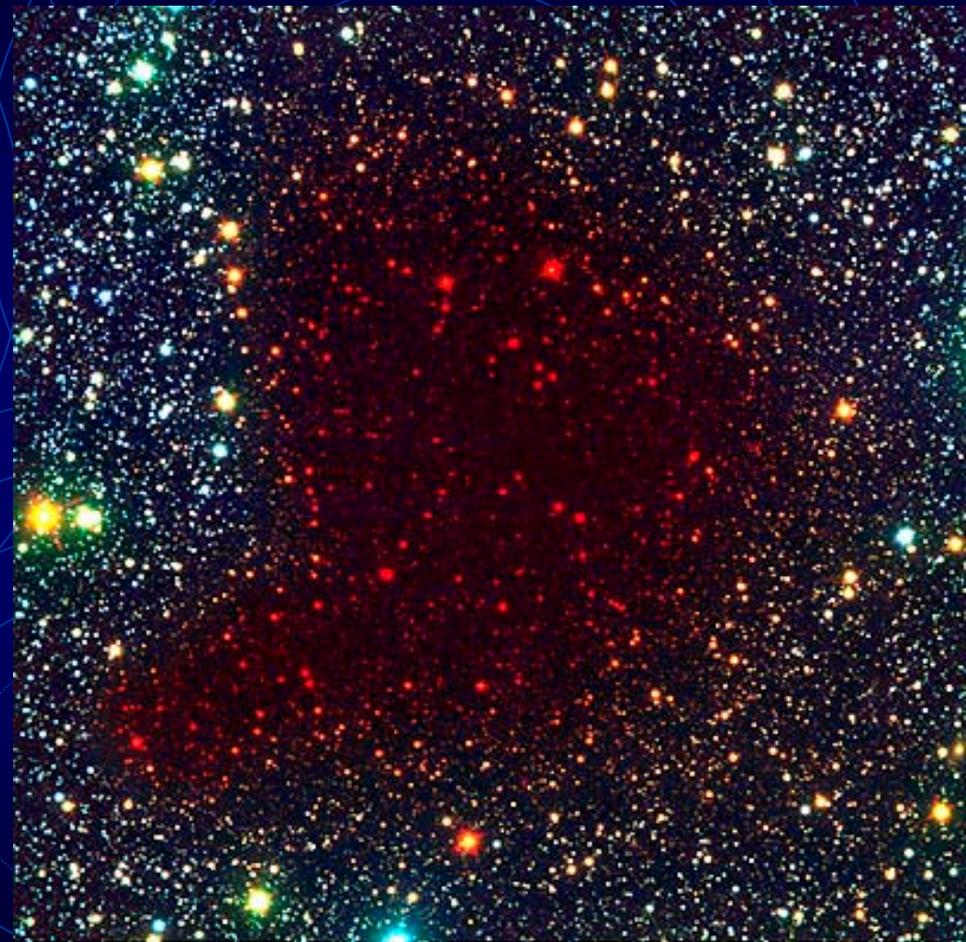


星際塵埃  $\rightarrow$  塵塊  $\rightarrow$  小行星  $\rightarrow$  行星

# 濃密的太空塵埃雲氣遮擋了背後的光線



Pre-Collapse Black Cloud B68 (visual view)  
(VLT ANTU + FORS 1)



Seeing Through the Pre-Collapse Black Cloud B68  
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)



畫得跟真的一樣美！



恆星誕生

Kagaya 先生

真得跟畫的一樣美！



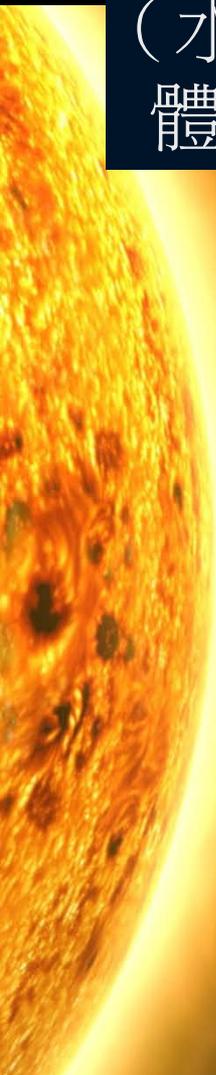
恆星誕生

CFHT J.-C. Cuillandre & G. Anselmi

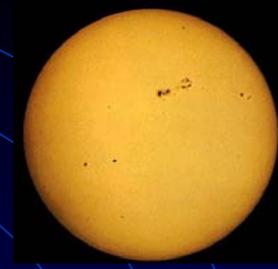
# 太陽系家族之「巨口名簿」

靠內部的行星  
(水、金、地、火)  
體積小、岩石質

靠外部的行星  
(木、土、天王、海王)  
體積大、氣體、冰體



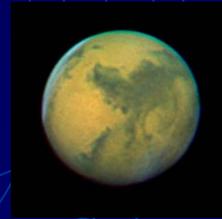
# 太陽系中的各式天體



雲氣收縮、中央溫度升高、點燃核子反應 → 太陽

雲氣縮成扁盤狀、盤中灰塵凝集 → 小行星

繼續凝集 → 行星



◆ 旁邊扁盤中的灰塵凝集 → 衛星

◆ 不成形的 → 外行星的環

不成形的 → 留在原地，例如小行星帶

→ 被拋到遠方 → 歐特雲中的彗星核

不小心進入太陽系內圍 → 彗星



# 鹿林彗星



# 鹿林彗星



那，剩下的東西呢？

太空中充滿了大大小小的碎渣

到處遊走

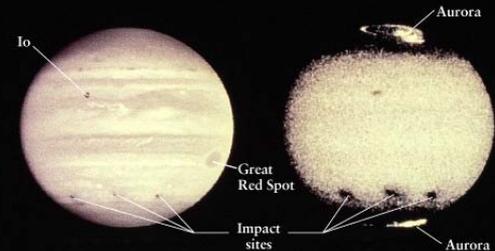
太空處處「槍林彈雨」



月球表面有大量  
撞擊的痕跡



Gaspa 小行星的表面也有  
很多撞擊的證據



木星也曾被撞得鼻  
青臉腫

# 槍林彈雨的太空

- 剩下的大小碎渣在太空中遊走，四處亂撞，地球也不倖免
- 萬一撞到了...

如沙粒般的碎渣掉入大氣 → **流星**

地球撞向彗星留在軌道上的殘渣 → **流星雨**

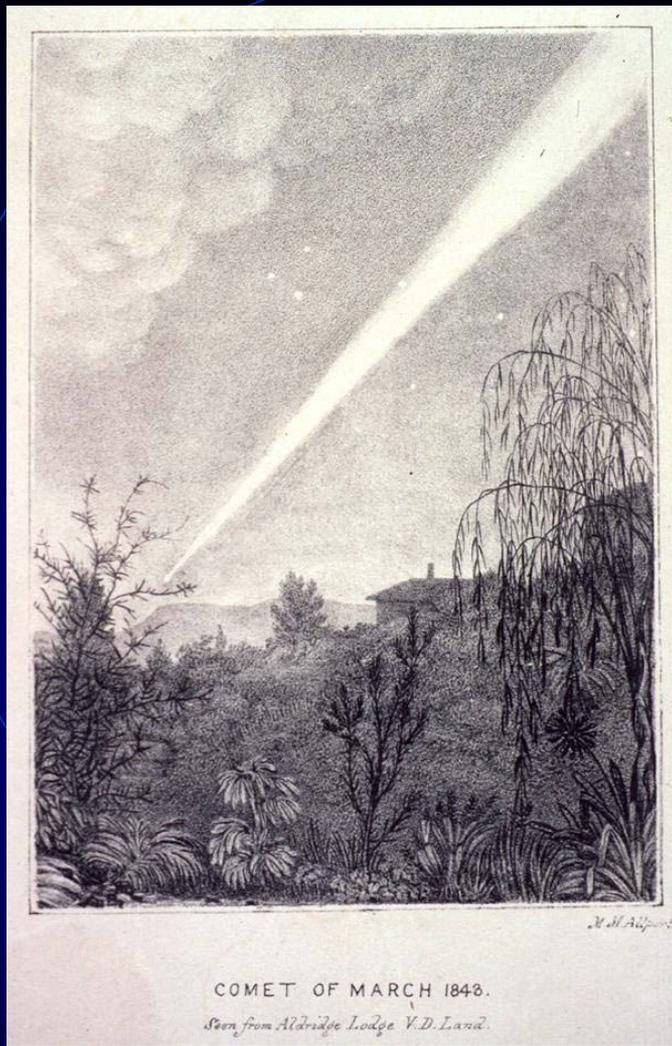
大一點的如小石，燃燒剩餘部分落到地面 → **隕石**

- 再大一點的，就不浪漫了



2010年8月英仙座流星雨@鹿林



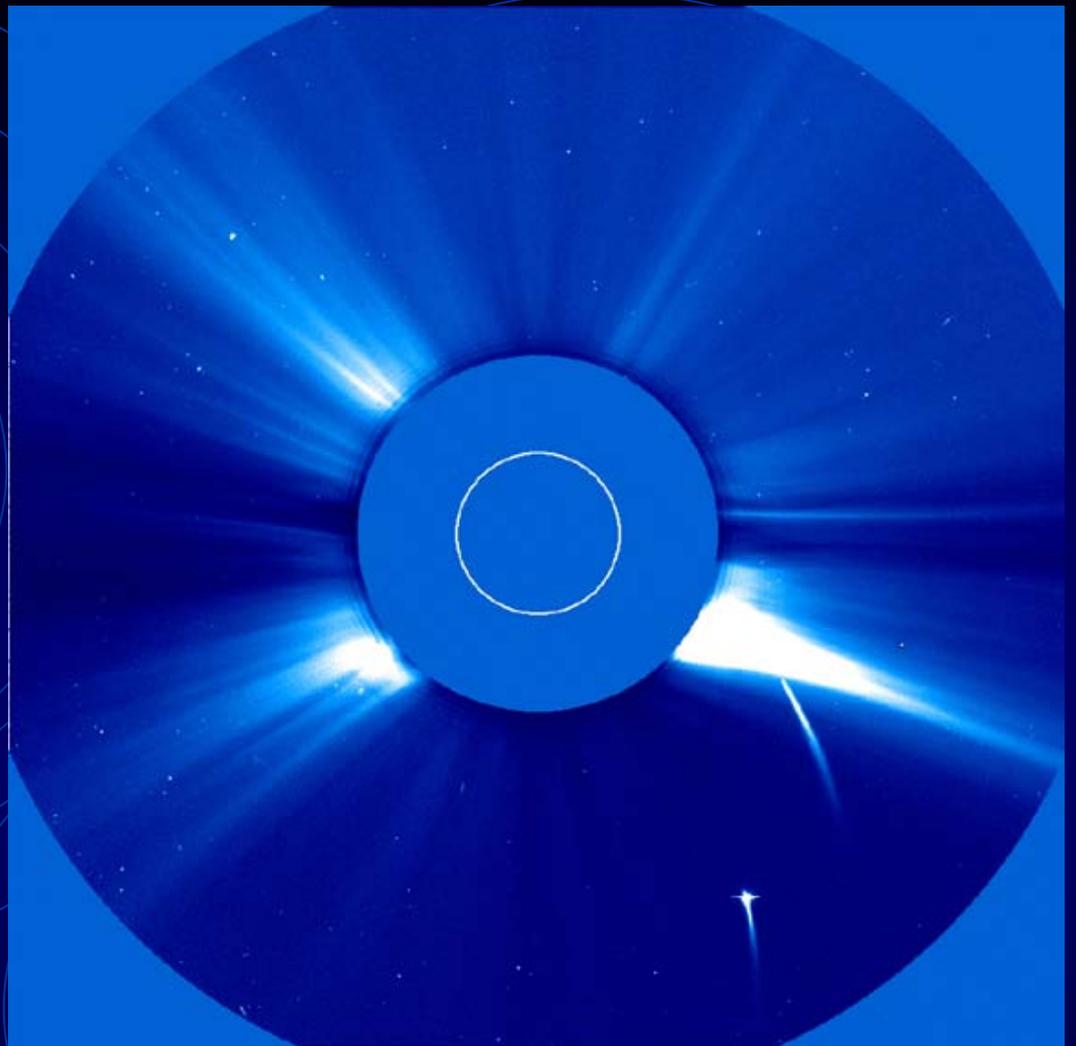


COMET OF MARCH 1843.

*Seen from Aldridge Lodge V.D. Lania.*

A painting of the sungrazing Great Comet of 1843, as seen from Tasmania

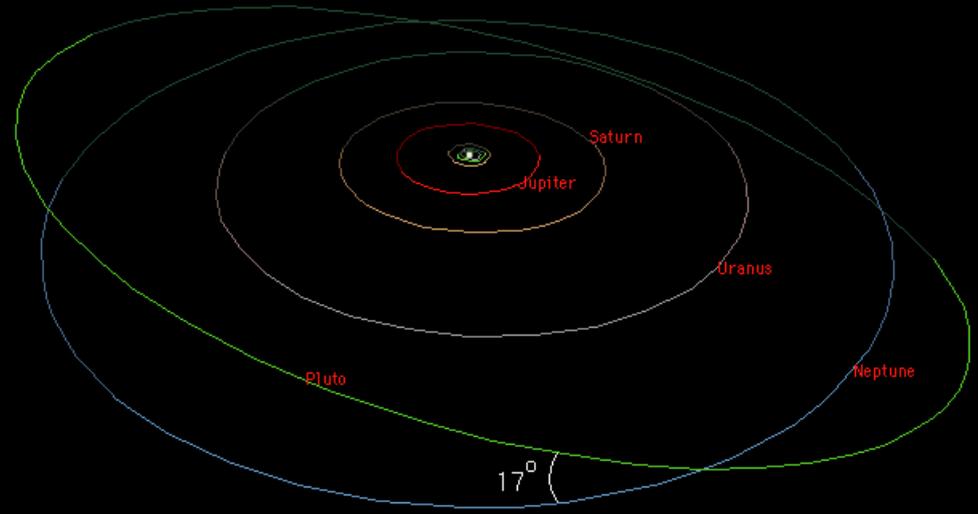
[http://en.wikipedia.org/wiki/Kreutz\\_Sungrazers](http://en.wikipedia.org/wiki/Kreutz_Sungrazers)



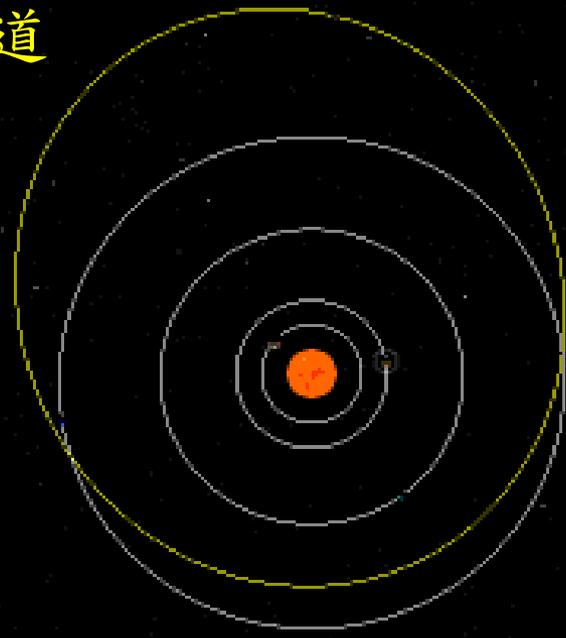
*SOHO* 太陽太空望遠鏡觀察到衝向太陽的兩顆彗星 (sungrazing comets)

1998 June 2

冥王星的橢圓軌道比其他行星狹長，且與黃道面傾角也較大(17度)。另外冥王星離太陽遠，其眾多性質卻不似其他距離遠的大型行星，是行星中的異類，故已經於2006夏天，從行星除名，現在歸類於「矮行星」。



冥王星軌道



海王星軌道



# 尋找其他的世界

如何知道恆星周圍有行星？

**困難**：行星不發光！

→ **擋光**或**反光** 或者 **對發光體的影響**



恆星太亮、  
太近

位置變化

亮度變化

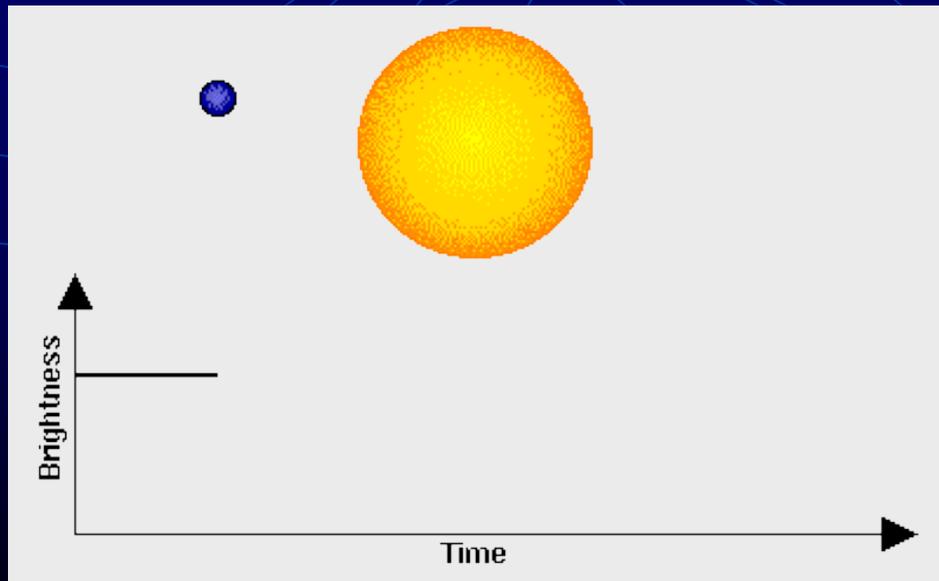
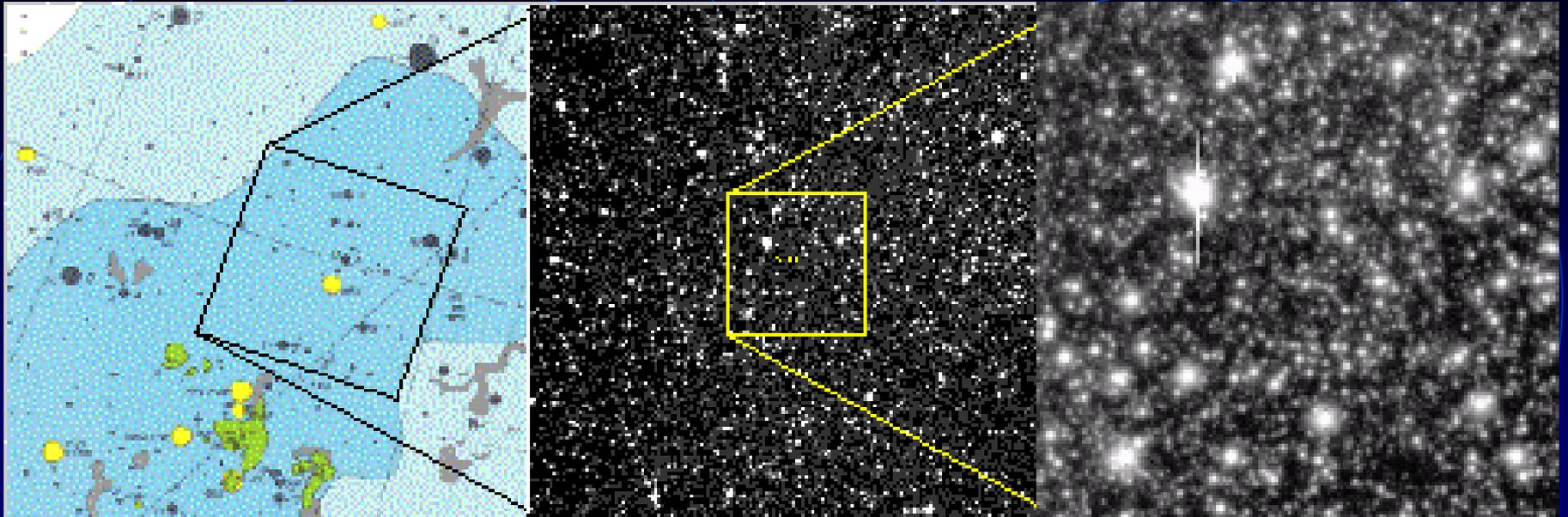
否則，直接看

# 偵測行星存在的方法

## 1—凡走過必留下痕跡

若行星繞恆星時，恰巧擋住恆星的光（像日食般），那麼恆星的**亮度**會以特別的方式變化





# 偵測行星存在的方法

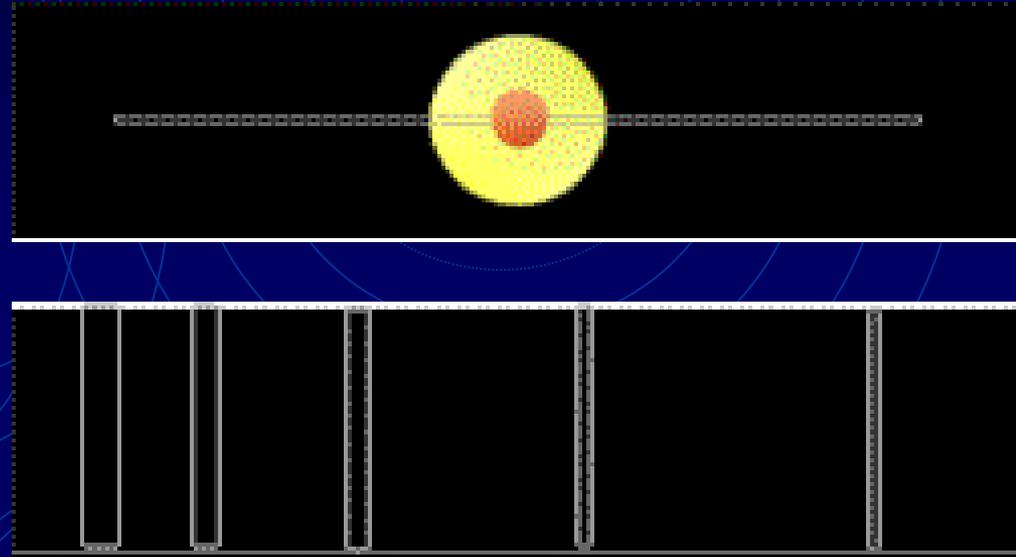
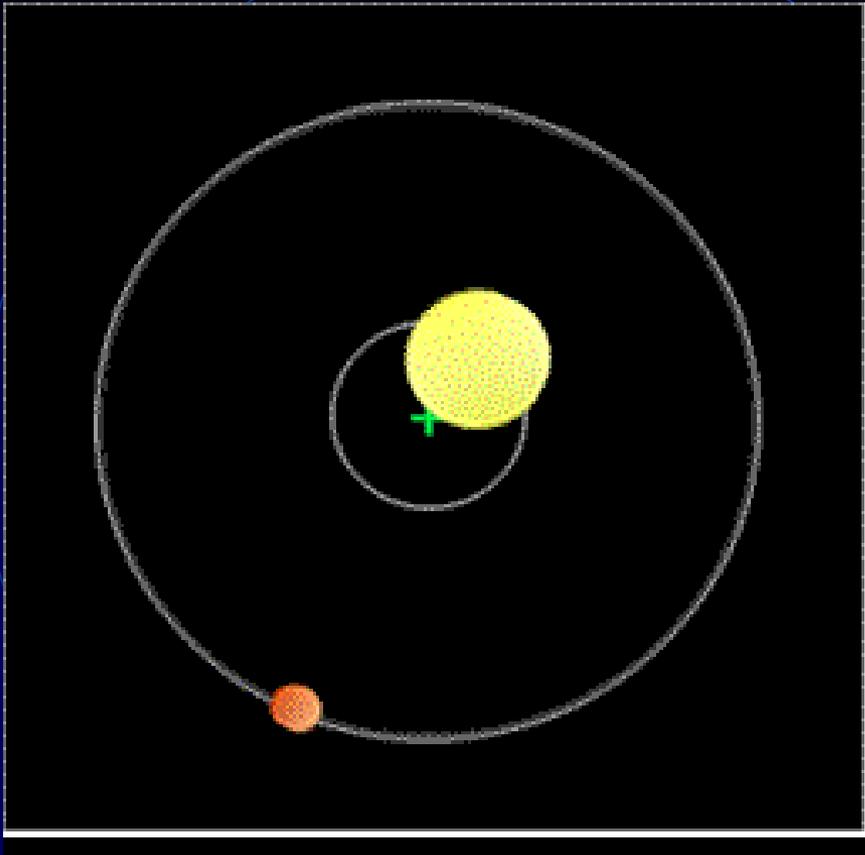
## 2—若要人不知，除非己莫為

如果恆星周圍有行星，那麼恆星的 **位置** (astrometry) 與 **運動** (radial velocity) 就會受到行星（萬有引力）的影響



Hammer throw

## 都卜勒效應



原本在太空中走直線的恆星，因為與行星互繞，而有「走螺線」的現象。

恆星因為與行星互繞，而在沿「視線」方向有「前後擺動」的運動。

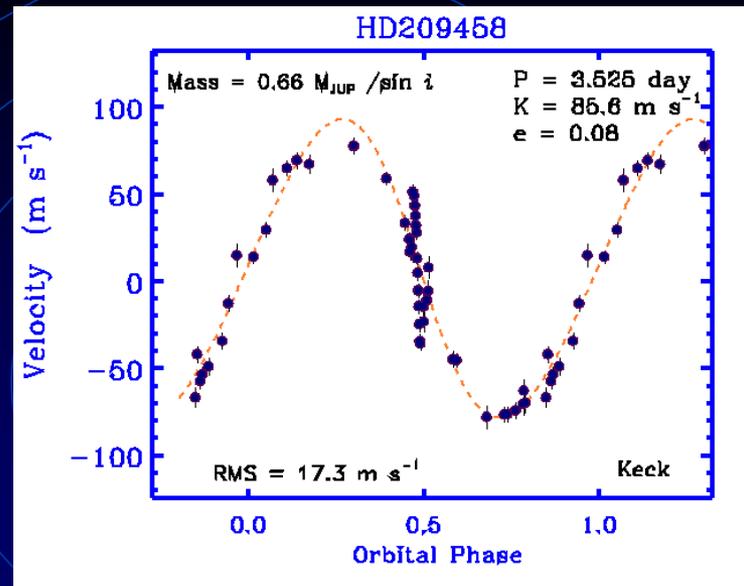
目前已經在太陽系以外發現  
了400多個恆星周圍有行星  
系外行星

extrasolar planets; exoplanets

絕大多數是利用「前後擺動」  
的原理所發現

→ 這些系外行星多半是鄰近  
母恆星的巨型行星

與太陽系行星迥然不同



**Super-earths → earths**



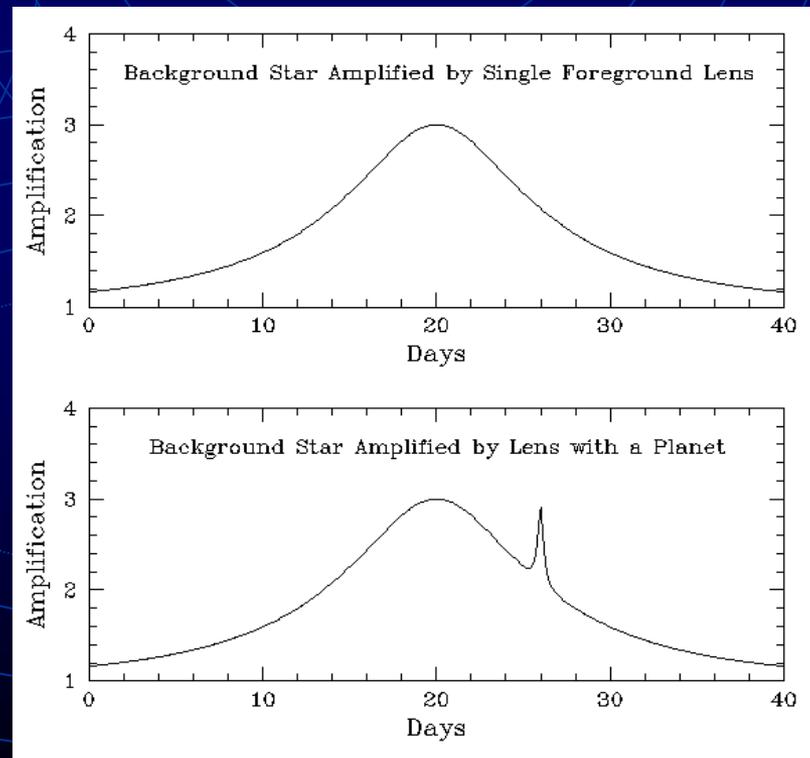
# 偵測行星存在的方法

3—擋住了，但更亮！

如果行星（前景）精準地正好位於我們和遙遠恆星（背景點光源）之間，那麼恆星的**亮度**會**增亮**

行星造成額外增亮

「重力透鏡」效應



# 偵測行星存在的方法

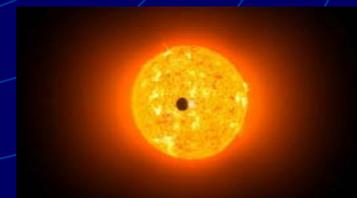
## 4 --- 脈衝星 (pulsar) 計時

第一顆系外行星利用此技術發現



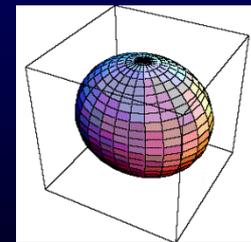
## 5 --- 已知行星掩星計時

其他行星所造成的擾動



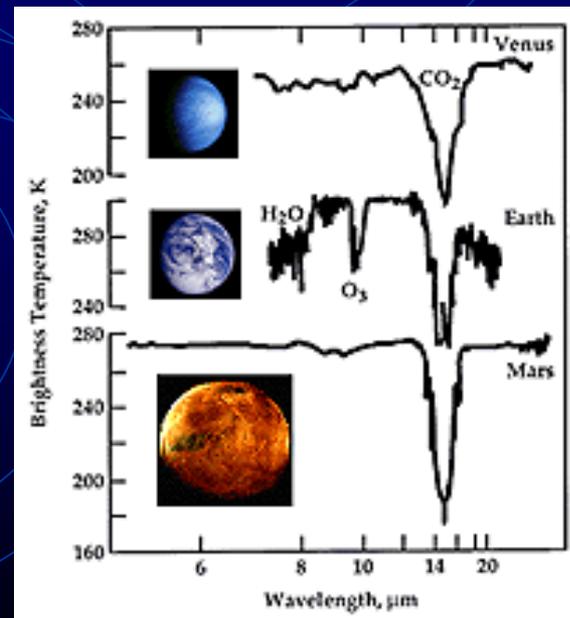
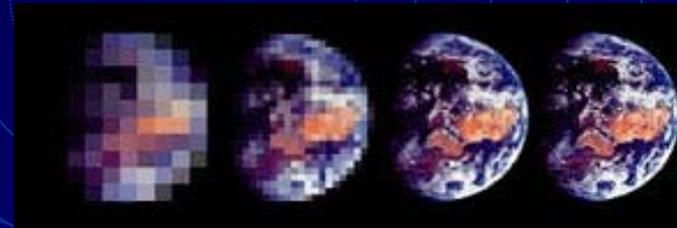
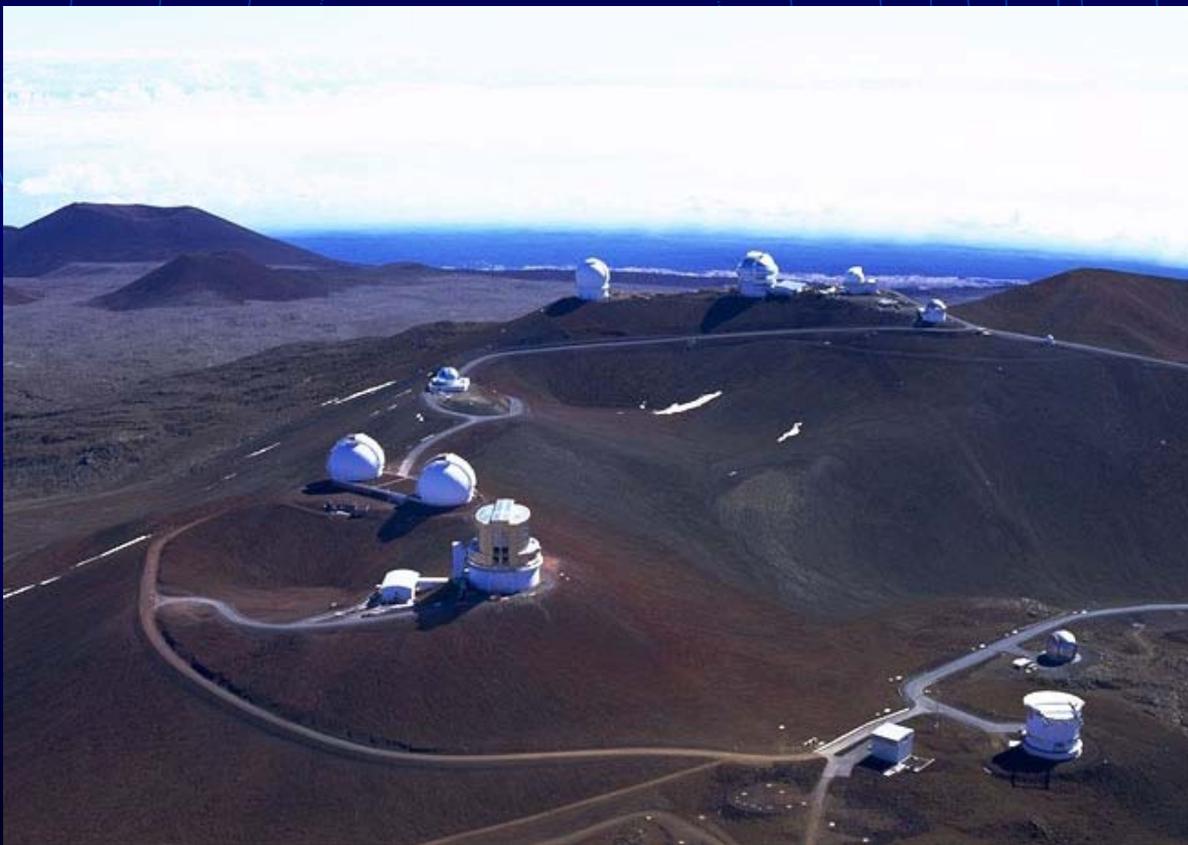
## 6 --- 星震

行星存在改變了星震模式



...

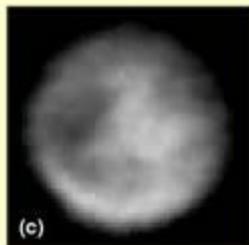
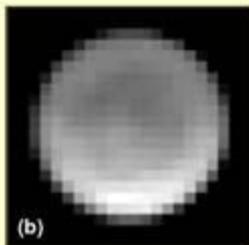
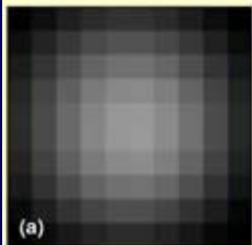
# 鱗光片羽勝過千言萬語 ——要是能直接看到就更棒啦





越來越大的望遠鏡

Titan (Saturn's Largest Moon)



Conventional Telescope

Hubble Space Telescope

Keck Telescope with AO



Without Adaptive Optics

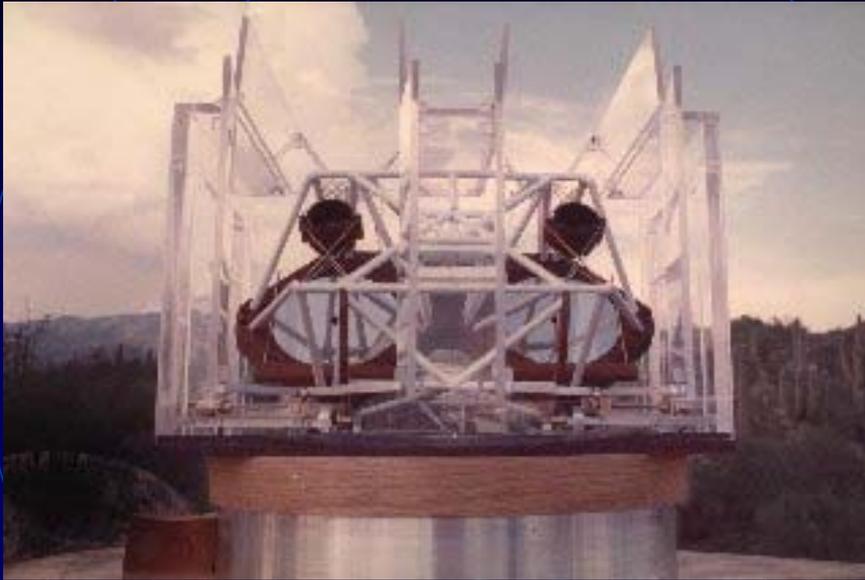
With Adaptive Optics

越來越看得清楚的觀測技術

越來越靈敏的偵測儀器



## LBT in Arizona, USA



## Keck in Hawaii, USA



Keck Telescopes as part of an interferometer

利用干涉技術把恆星的光減弱，增加看到行星的機會

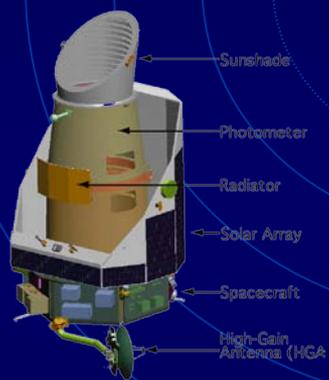
Light waves from star in different phases when they hit each telescope mirror.



Keck I

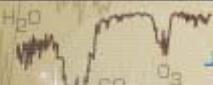
Keck II

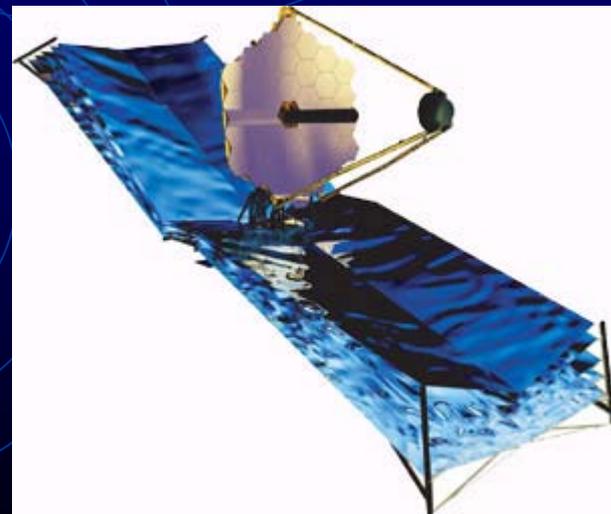
上太空去！  
前面說的都能做，  
而且做得更好得多



**Kepler**  
*A Search For Habitable Planets*

**NASA** *Space Interferometry Mission* Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology

**NASA** *Terrestrial Planet Finder*  Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology



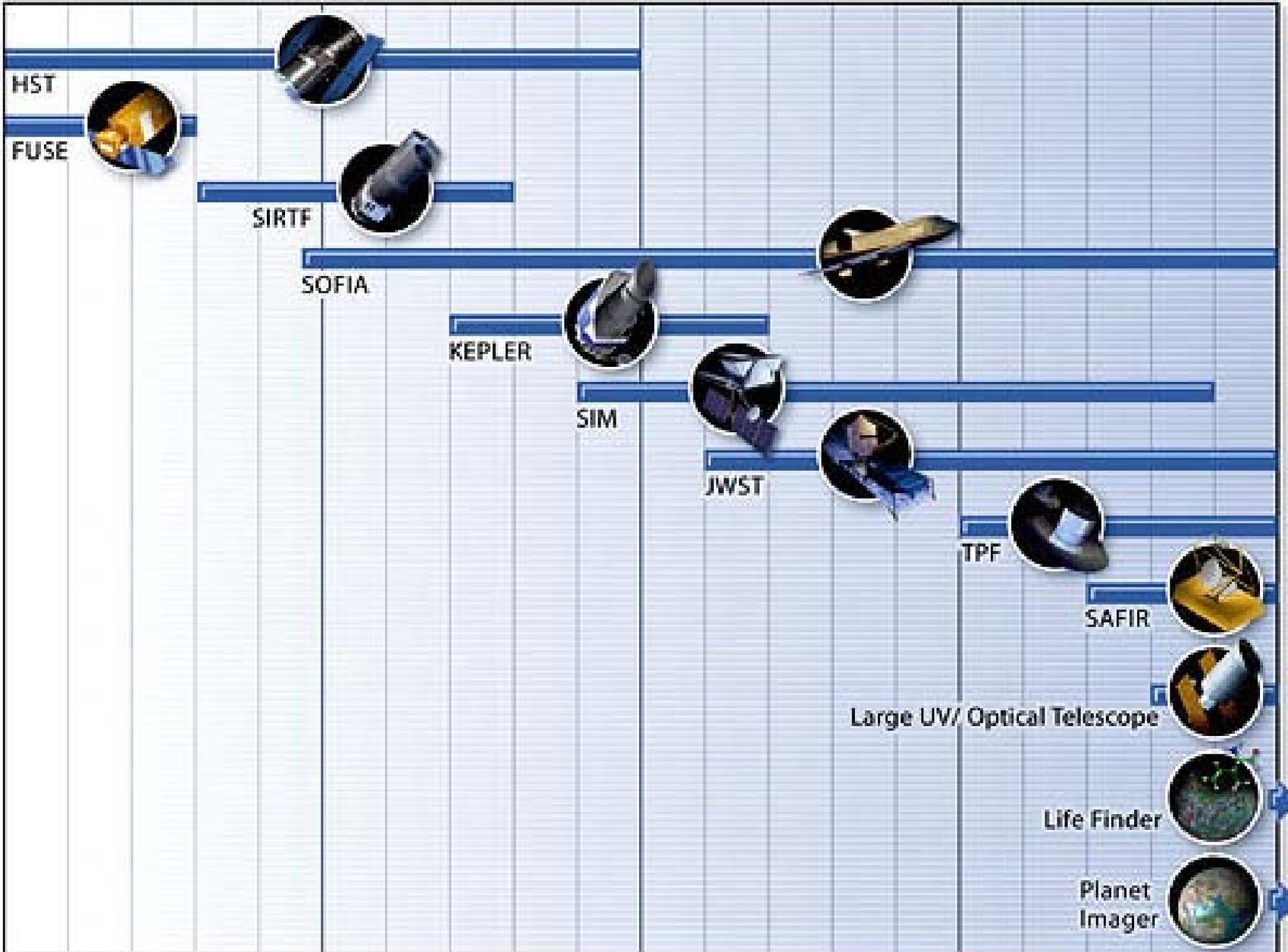
2000

2005

2010

2015

2020



# 恆星璀璨的一生

耀眼  
壽命短



星球質量大  
→ 明亮、溫度高、藍白色



只能活  
一億年

星球質量小  
→ 微暗、溫度低、橙紅色



我們真  
該慶幸

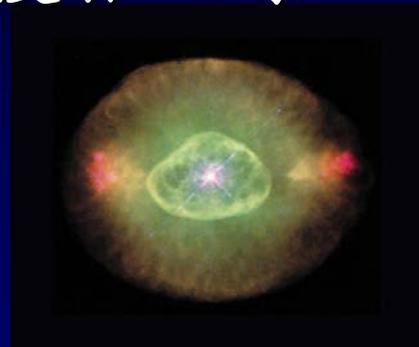
平庸  
壽命長

太陽已經活  
了50億年，  
還可以再活  
50億年

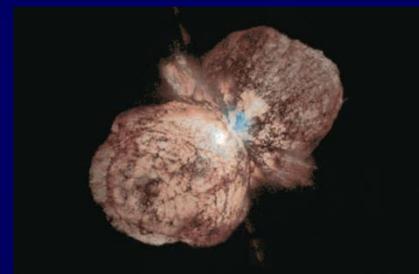


**活生生的天體** — 恆星中心進行核反應，  
發光發熱，並且製造複雜元素

有的星球在核燃料用罄後，將一  
生製造的複雜元素拋回太空



大型星球：臨死前爆發，將元素  
回歸星際空間 → 下一代星球



a



b



**你我和星星的關係，比想像來得密切！**

宇宙中的物質，  
有的發強光，有的  
發弱光，有的  
不發光...  
有些緊密有序，  
有些疏離分散...



星系團



鄰近的星系

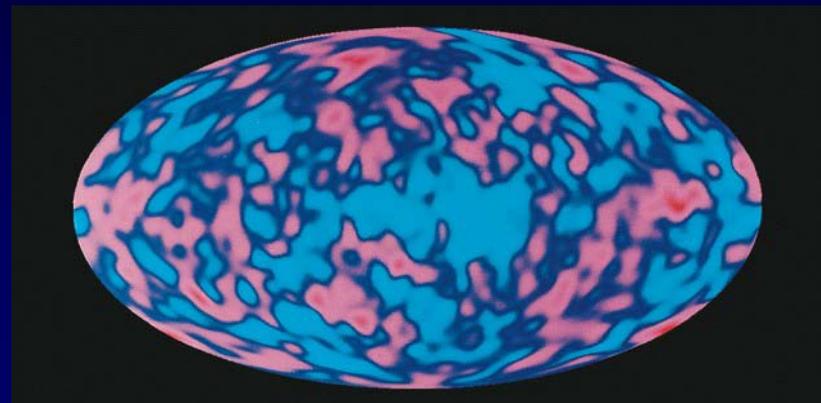


星系碰撞

# 宇宙是個甚麼東西？

宇：上下四方（空間）

宙：古往今來（時間）



太古之初，混沌一片

而後 輕者上浮為天 重者下沈為地

而後 天地之間有了萬物

而後 — 很久、很久以後 — 有了萬物之靈

# 接觸未來 vs 回到未來



時間似乎有個方向，過去在我們後面，已經無法改變，也無法聯絡，而未來則在我們前方 ...  
未來可以改變，可以聯絡嗎？

# 科學定律幾乎都沒有時間方向 (arrow of time) 的問題

少數例外：

- ✓ 熱力學第二定律  
(「事情總是越來越亂」)
- ✓ 宇宙有個起點
- ✓ 光線總是走向未來

如果宇宙裡沒有「東西」，時間還存在嗎？  
「**我思故我在**」，我不思了呢

# 時間逆轉的矛盾

## *Grandfather paradox* (祖父矛盾)

- 如果某人利用時光機回到過去，把他的祖母殺死了，當時她還沒有遇見你的祖父...
- 那，他根本就不可能存在，還坐時光機 ...

## *Autoinfanticide / autofanticide* (自謀矛盾)

- 如果你回到過去，卻把嬰兒時期的自己殺死了

我們實在不太瞭解「時間」這個東西！

**哈柏定律** 描述宇宙現在處於**膨脹**狀態——越遠的星系，離我們遠去的速度越快

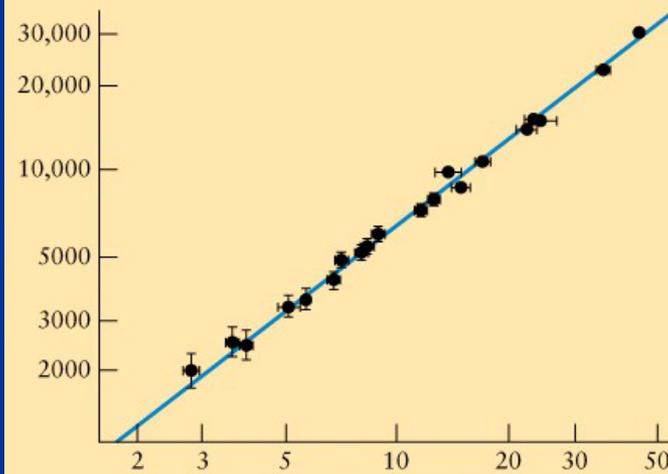
**宇宙微波背景輻射** 充斥以太空中，表示宇宙始於一團高熱（大霹靂）

**輕元素的宇宙含量** 最老的天體氦元素仍然 25%

**沒有發現「極其古老」的天體**

這上下古今，稱做「宇宙」的東西居然有個起點！

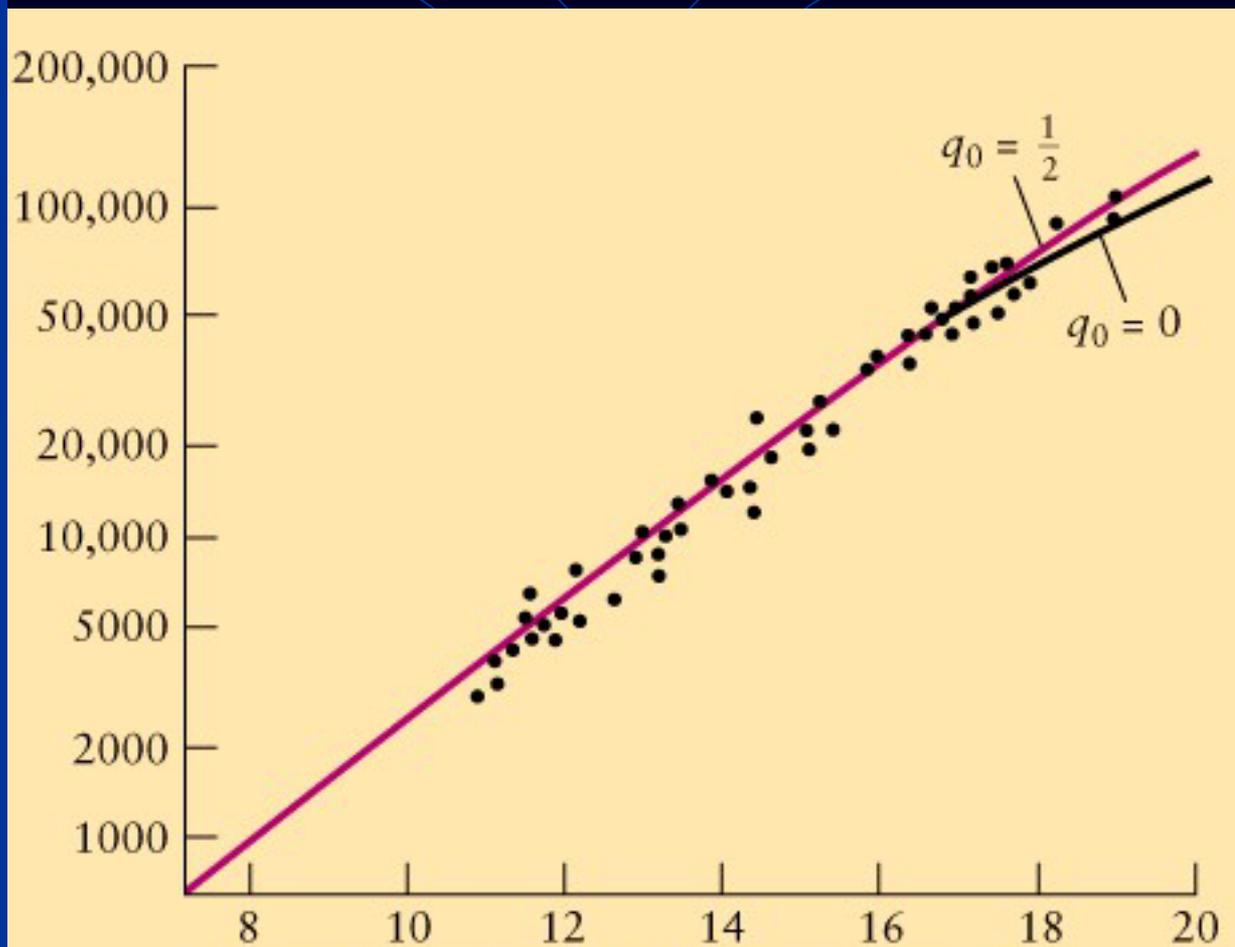
星系後退速度 (km/s)



星系的距離 (3百萬光年)

... 而且，好像以前的宇宙膨脹得比較慢

星系後退速度 (km/s)



星系團當中最明亮的成員星系

- 目前的觀測證據顯示，宇宙是開放的，也就是將會無限擴展下去
- 這幾年研究顯示宇宙在**加速膨脹** → **黑暗能量 (dark energy)**  
想像從地面向上拋銅板，不但不減速，反而向上加速！？
- 死寂宇宙將加速到來？

**我們以為比較瞭解「空間」，其實不然！**

宇宙：137億年前

太陽系：46億年前

類似人類的生物：3百萬年前

把地球四十六億年歷史製作成一年的電影。於元旦開演時地球剛形成，整個一、二月份地球仍遭受大量小行星轟擊而處於熔融狀態。終於海洋形成，最原始的生命大約在三、四月之際出現。之後生命展開漫長演化，一直到11月28日左右才有陸地生命。之後電影繼續放映，像是恐龍這樣的生物直到12月12日才出現，然後在聖誕夜滅絕，接著哺乳類動物及鳥類大量出現。

人類呢？



在這部電影中，直到除夕當天才出現類似人類的生物，而直到除夕傍晚他們才學到製作石器。秦始皇統一天下時，影片放映到最後14秒鐘，而滿清被推翻相當於元旦凌晨前0.6秒

上次何時跟男朋友鬧彆扭？這回考試第幾名？為什麼別人總有新手機？這些重要嗎？有多重要？

人類做為時空過客，實在應該珍惜這部影片的劇情與道具，努力成為影片續集的主角，讓世代子孫永續經營，向宇宙拜年！

# 結論

- 宇宙的歷史與地理 ——

宇宙最讓人無法理解之處，  
在於其居然可以理解！ 愛因斯坦

- 發現新世界 ——

除了太陽以外，銀河系處處是行星系統  
我們真的只是恆河中一粒細沙

- 宇宙新面貌 ——

還有很多我們不知道的事情

讓我們繼續開展宇宙新視野！