

# 尋找天外天、人外人 談外星世界



陳文屏

中央大學天文所、物理系

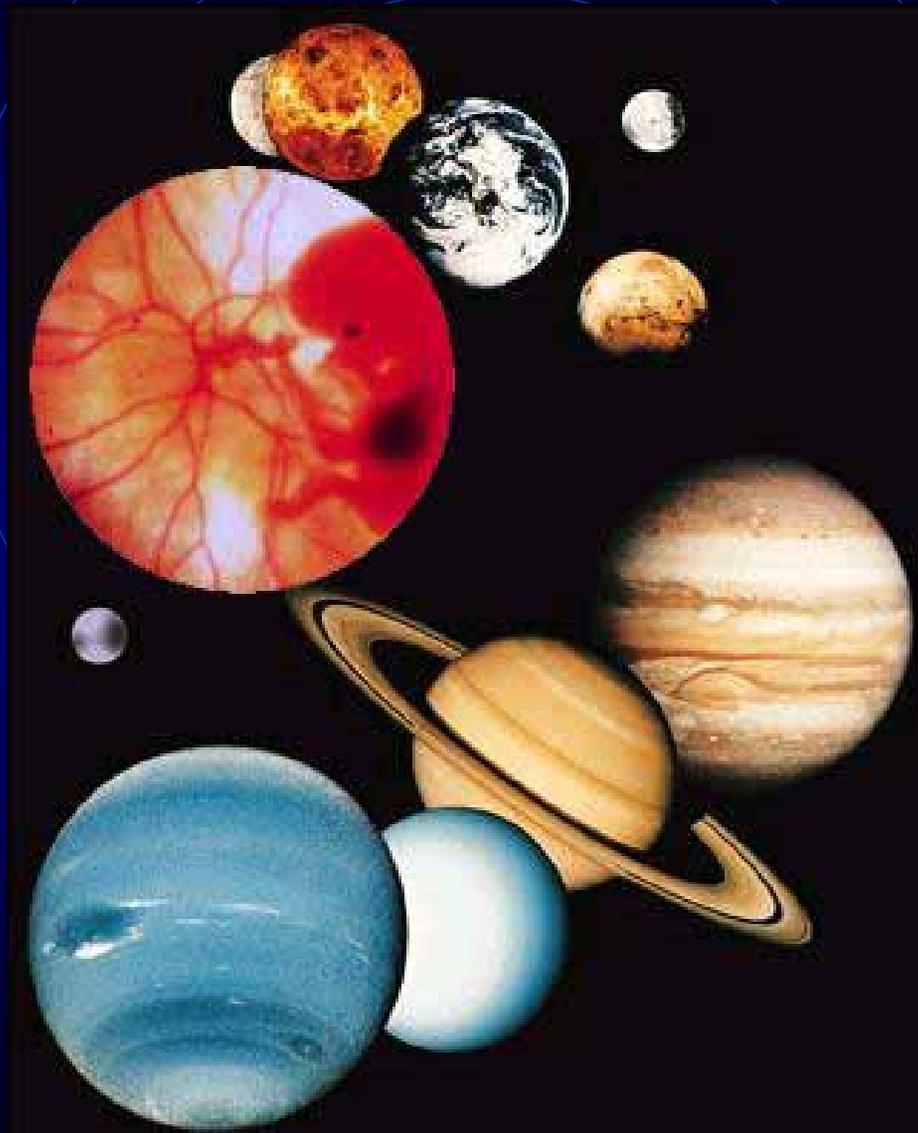




放眼望去，一半是天！



天地輪遞，一半是夜！



事實：地球是目前太陽系中唯一已知有（智慧）生命存在的天體會是宇宙中唯一的嗎？

應該不會吧？

但這「應該」兩個字說得多心虛！

你相信有外星人存在嗎？  
理由是什麼？



如果相信，你猜想有多少  
外星人呢？  
上億個？千百個？還是...  
只有一個？

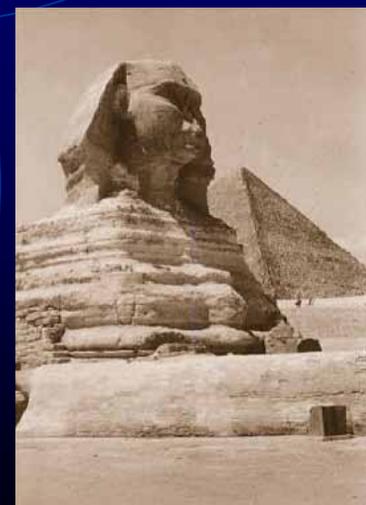
# 迷思：宇宙無窮大、歲月無限長 ...甚麼都有可能？

事實——宇宙年齡有限、大小有限  
並非甚麼都有可能

某件事：...很可能、可能、不太可能、絕無可能...

事實——有些事雖然不太可能，但  
未抵觸任何**已知**科學定律  
有些卻違背**現有**知識，因此  
**目前**絕無可能

事實——很難證明「沒有」

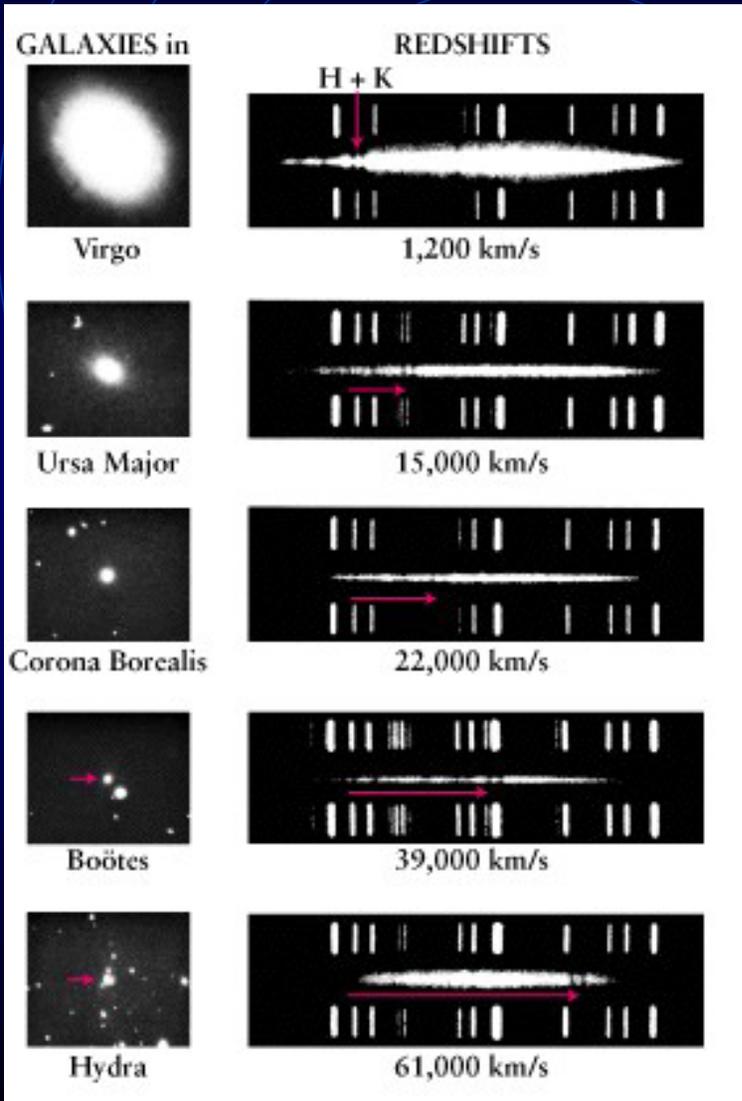


# 浩瀚的宇宙

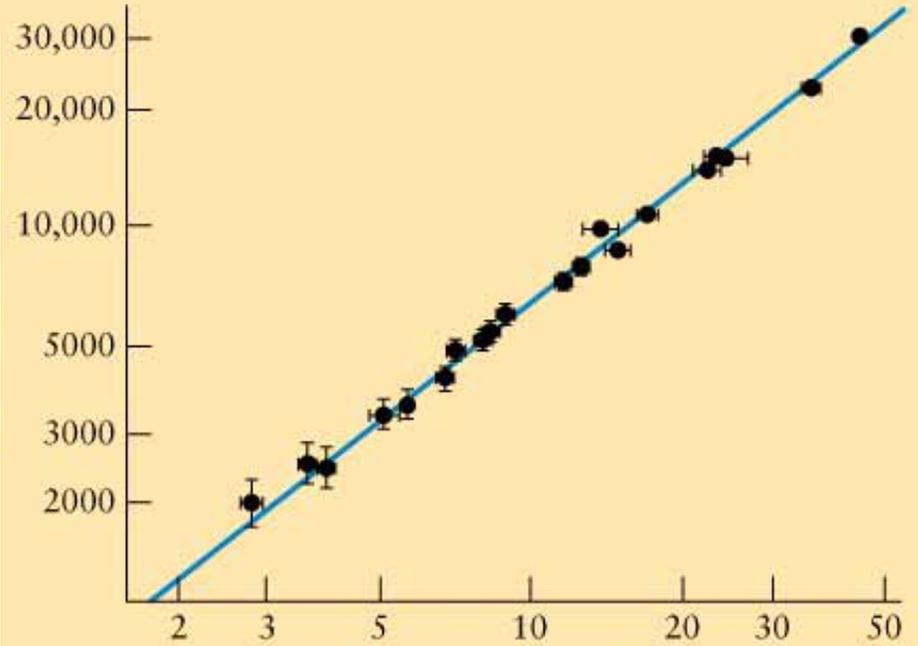
---

- ❖ 光在真空中速度為每秒300,000公里
  - ❖ 這樣的速度到月球只需1秒多 (眨眼時間)
  - ❖ 到到太陽需約500秒 (下課時間)
  - ❖ 到半人馬座  $\alpha$  星須 4.3 年 (讀大學時間)
  - ❖ 跨越銀河系約需 10 萬年 (人類演化時間)
  - ❖ 到鄰近星系費時數百萬年 (大地演化時間)
  - ❖ 而目前已知的銀河系超過數億個 ...
-

# 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



星系後退速度 (km/s)



星系的距離 (3百萬光年)

原來這上下古今稱做  
「宇宙」的東西有個起點！

# 星際旅行



✓ 以現有科技很困難

	速度	最近的恆星	最近的生命
噴射客機	1000 km/h	4百萬年	10倍? 1百萬倍?
夢幻火箭	10% c	> 40年	10倍? 1百萬倍?

速度快 → 所需時間短，且時間過得慢  
但同時質量（抗拒變動的趨勢）增大，加速  
困難 → 需要龐大能量

廣義相對論可以載舟 也可以覆舟

## ✓ 但星際旅行並非不可能

只要有方法取得能量，並且延長人類壽命；或是利用機器人

現有的太空技術已經快能夠太空旅行了，只是還不夠安全（也太寒酸）

據估計如果使用類似Von Neumann 機器，約200萬年可以「銀河系走透透」

✓ 何況還有（可見）未來（未知）的科技

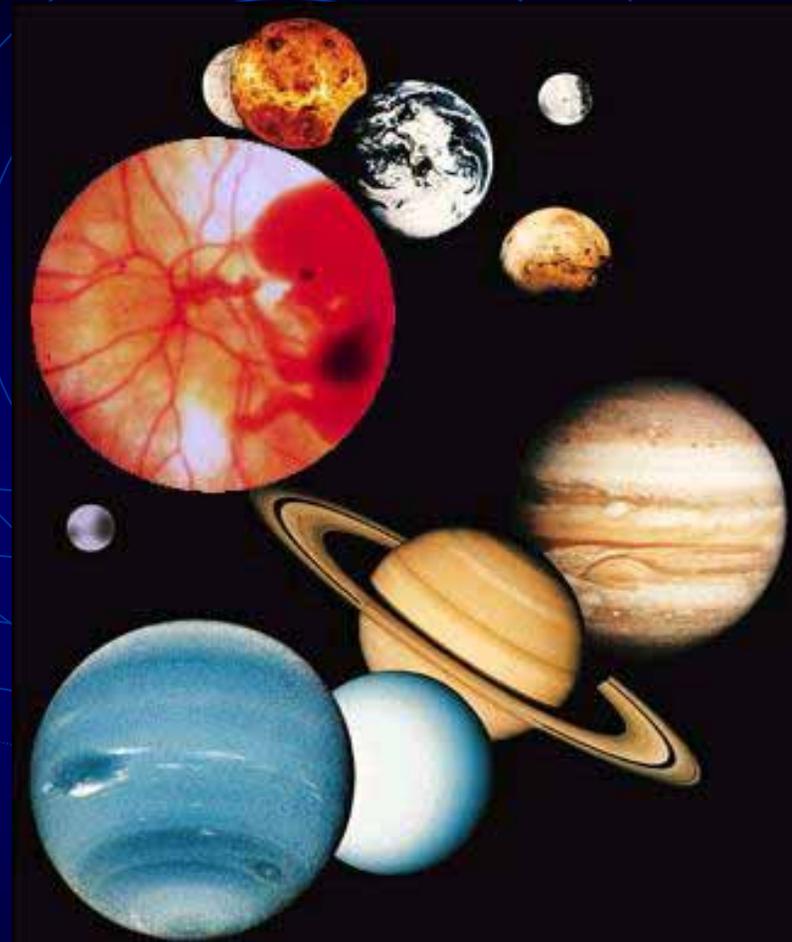
✓ 但是太空旅行到底要去哪？去幹嘛？  
（找救星還是找麻煩？）

- 物理學家費米 (Enrico Fermi) :  
「假如外星人存在的話，他們在哪呢？」  
 (“*Where are they?*”)
- Absence of Evidence  $\neq$  Evidence of Absence  
沒有證據並不表示沒有  
但也不表示「因此就應該有！」

- 我們真的要找嗎？
- 萬一真找著了呢？
- 我們準備好了嗎？
- 準備什麼呢？



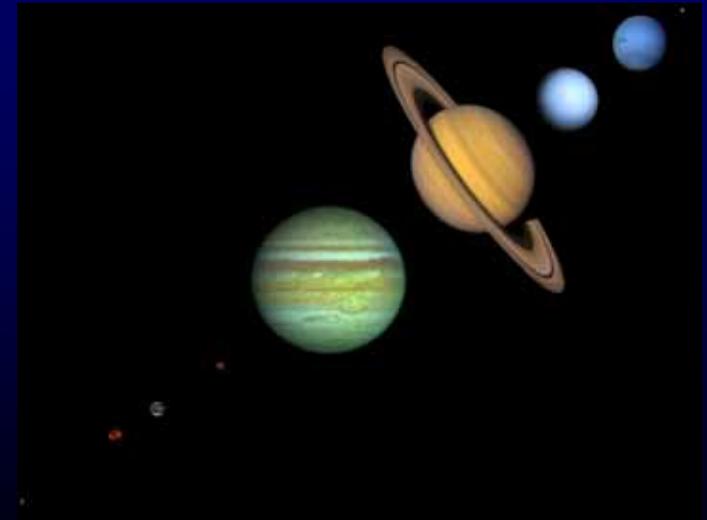
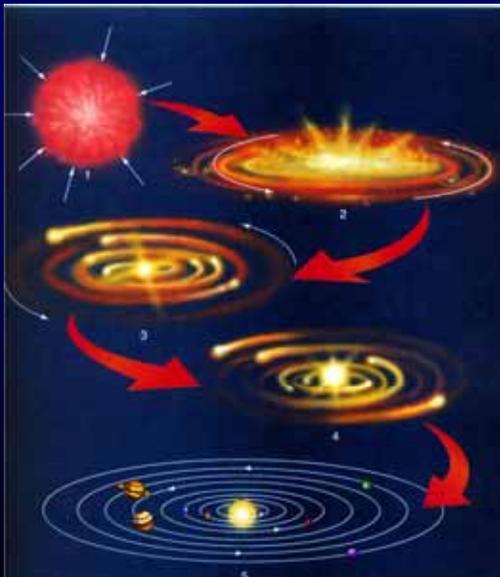
- 爲什麼要找？ 哲學
- 往哪找？ 天文學
- 找甚麼？ 生物學
- 怎麼找？ 工程技術
- 真要找嗎？ 萬一真找到了呢？ 社會心理學



外星文明是否在找我們呢？我們好找嗎？我們希望被找到嗎？

# 星星也有生、老、病、死 —— 源於塵土、歸於塵土

太陽（恆星）與行星從同一團雲氣中凝結而形成  
行星是恆星形成副產品 → 很多恆星周圍可能都有行星，這當中，有些可能適於生命發萌





暗雲與初生星團

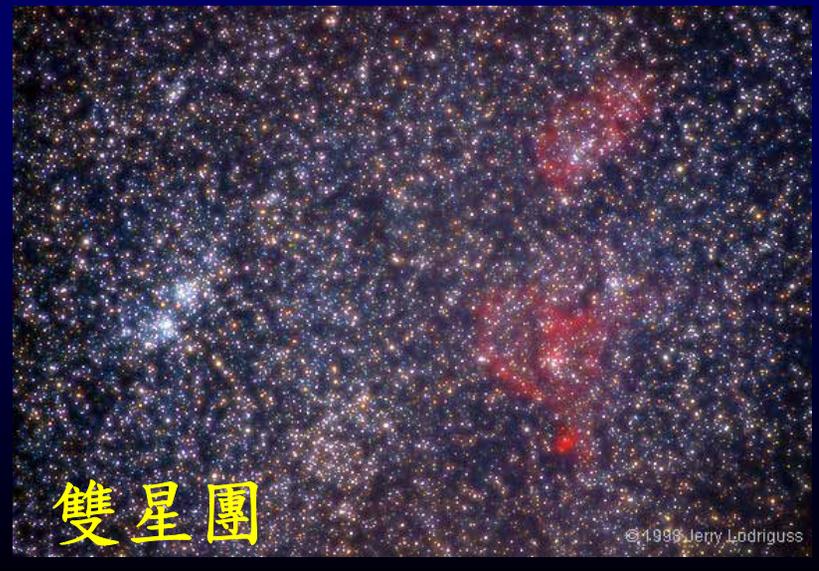


薔薇星雲



天鵝座

© 1998 Jerry Lodriguss



雙星團

© 1998 Jerry Lodriguss

# 恆星璀璨多姿的一生

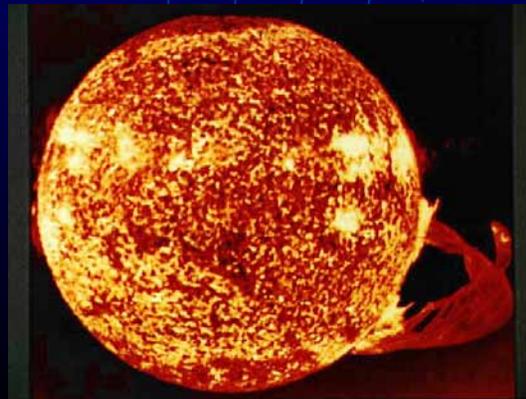
耀眼  
壽命短

雲氣收縮→分裂→各自  
形成恆星→星團

- 星球質量越大、越明亮、  
溫度越高、呈藍白色
- 星球質量越小、越微暗、  
溫度越低、呈橙紅色

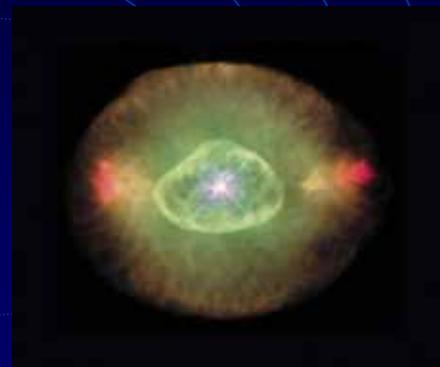
我們真  
該慶幸

平庸  
壽命長

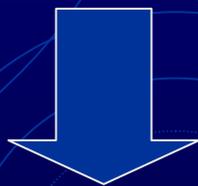


# 活生生的天體 — 恆星靠核反應發光， 並且製造複雜元素

有些星球在核燃料用罄後，  
將一生積蓄的複雜元素  
緩緩拋回太空



大型星球臨死前爆發，將豐富複雜  
元素回歸星際太空  
→ 下一代的星球



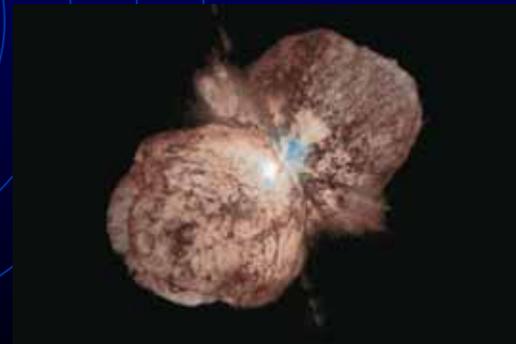
我們都是星  
星的後代



a



b



- ✓ 相信有「其他的世界」其實是順理成章的事情。近代科學不斷證明「我們很普通」
- ✓ 地球乃太陽系眾行星之一
- ✓ 恆星不過是宇宙其他角落的太陽罷了，其周圍可能也有行星繞行 現在已經發現百來個
- ✓ 連銀河系都不過是宇宙億萬星系之一
- ✓ 甚至宇宙本身都可能並非唯一（不再是 Universe，而是 multiverse
- ✓ 生命雖然複雜，但在物理、化學的基本層面來說，並不特殊

既然如此，宇宙應該充斥了生命才是

妳曾經對我說，妳永遠愛著我…

愛情這東西我明白，但永遠是什麼？

—— 羅大佑

地球是宇宙中唯一具有生命的天體嗎？

宇宙這東西我明白（！），

但生命是什麼？

- 你我和星星的關係比想像來得密切  
—— 我們都是星星的子民



- 「生命的意義在創造宇宙既起之生命」
- 宇宙別的角落也有生命嗎？咳，生命是什麼呢？
- 那裡生命也存在行星表面嗎？否則還能在哪裡？什麼生命型態都有可能嗎？
- 那裡生命演化出文明了嗎？咳，文明是什麼呢？
- 我們能夠和他們聯絡上嗎？
- 他們也和我們一般有這些疑問嗎？  
咳，這樣是很先進還是很落後？
- 宇宙是有目的的吗？

大自然充滿了答案，但問題是什麼？



# 生命的特徵



- 設想登陸某外星世界尋找繁衍與演化的證據呢？找什麼呢？
- 生命是一堆原子、分子 哪些原子、分子？只是物質形態的一種，以致在根本上可以用物理、化學 哪些化學反應來描述？還是得有「靈氣」才行？
- 生命的定義，一說就錯，卻看了就知道？
- 繁衍 (to reproduce) 與 演化 (to evolve)？



Corbis.com



# 不同環境裡的成分

太陽		地球		地殼	
氫	90.99%	氧	50%	氧	47%
氦	8.87	鐵	17	矽	28
氧	0.078	矽	14	鋁	8.1
碳	0.033	鎂	14	鐵	5.0
氖	0.011	硫	1.6	鈣	3.6
氮	0.010	鎳	1.1	鈉	2.8
地球大氣		細菌		人類	
氮	78%	氫	63%	氫	61%
氧	21	氧	29	氧	26
氫	0.93	碳	6.4	碳	10.5
碳	0.03	氮	1.4	氮	2.4
氖	0.0018	磷	0.12	鈣	0.23
氦	0.00052	硫	0.06	磷	0.13

# 不同環境裡的成分

太陽		地球		地殼	
氫	90.99%	氧	50%	氧	47%
氦	8.87	鐵	17	矽	28
氧	0.078	矽	14	鋁	8.1
碳	0.033	鎂	14	鐵	5.0
氖	0.011	硫	1.6	鈣	3.6
氮	0.010	鎳	1.1	鈉	2.8
地球大氣		細菌		人類	
氮	78%	氫	63%	氫	61%
氧	21	氧	29	氧	26
氫	0.93	碳	6.4	碳	10.5
碳	0.03	氮	1.4	氮	2.4
氖	0.0018	磷	0.12	鈣	0.23
氦	0.00052	硫	0.06	磷	0.13

# 以成分來說

- 生物與恆星相似的程度更甚於所在的地球！

**地球生命是由隨處可得的元素構成的**

- 就我們所知，宇宙其他地方的化學及物理和我們這裡是一樣的

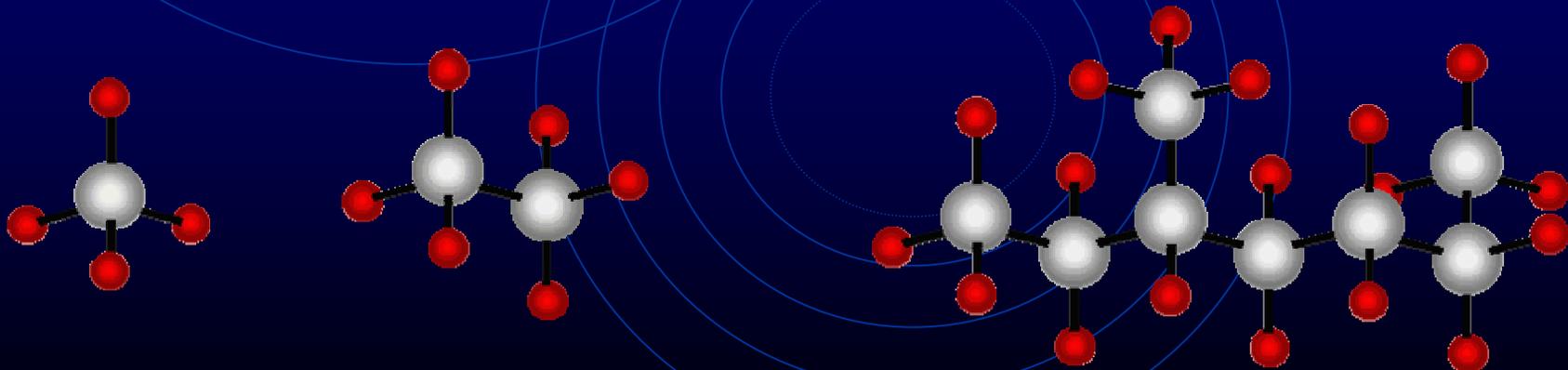
**宇宙別的地方要形成生命，  
起碼在材料上不虞匱乏**

- 絕大多數生命體由少數幾種簡單的分子構成
- 生命既簡單又複雜，但極度挑剔！



- 碳、氫、氧、氮主宰生物體組成不是偶然；是因為這些元素具有特殊性質。
- 例如碳是「四價元素」，可以和四個其他元素結合，綿延不斷，形成巨型化合物（cf 樂高積木），足以攜帶大量訊息

**生命的多樣性，來自碳元素的多樣性**



## 非碳不可嗎？

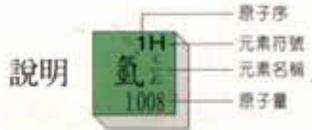
- 碳夠穩定，但又不致太「頑強」
  - 週期表其他元素呢？「矽」也很不錯  
但宇宙環境中含量比碳少 電腦算不算生命？
- ➔ 可能有以矽元素為基底的生命，但  
機率比較低

## 非水不可嗎？

生命三要素：陽光、空氣、水  
液體（化學）很重要，不一定非是水，但水  
很不錯！ 要是水結冰後不膨脹

# 四價元素

## 週期表



金屬										非金屬								情性氣體					
																		18					
																		VII A					
1	2	過渡元素										13	14	15	16	17	18						
I A	II A											III A	IV A	VA	VI A	VII A	VII A						
1 氫 1008														13 硼 1081	14 碳 1201	15 氮 1401	16 氧 1600	17 氟 1900	18 氦 4003				
2 鋰 6941	2 鈹 9012													5B 鋁 2698	6C 矽 2809	7N 磷 3097	8O 硫 3207	9F 氯 3545	10Ne 氖 2018				
3 鈉 2299	3 鎂 2431	3 III B	4 IV B	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB							13Al 鋁 2698	14Si 矽 2809	15P 磷 3097	16S 硫 3207	17Cl 氯 3545	18Ar 氬 3995
4 鉀 3910	4 鈣 4008	4 21Sc 4496	4 22Ti 4788	4 23V 5094	4 24Cr 5200	4 25Mn 5494	4 26Fe 5585	4 27Co 5893	4 28Ni 5869	4 29Cu 6355	4 30Zn 6539	4 31Ga 6972	4 32Ge 7259	4 33As 7492	4 34Se 7896	4 35Br 7990	4 36Kr 8380						
5 銣 8547	5 鐳 8762	5 39Y 8891	5 40Zr 9122	5 41Nb 9291	5 42Mo 9594	5 43Tc 9891	5 44Ru 1011	5 45Rh 1029	5 46Pd 1064	5 47Ag 1079	5 48Cd 1124	5 49In 1148	5 50Sn 1187	5 51Sb 1218	5 52Te 1276	5 53I 1269	5 54Xe 1313						
6 銻 1329	6 鋇 1373	6 57-71 鐳系元素	6 72Hf 1785	6 73Ta 1809	6 74W 1839	6 75Re 1862	6 76Os 1902	6 77Ir 1922	6 78Pt 1951	6 79Au 1970	6 80Hg 2006	6 81Tl 2044	6 82Pb 2072	6 83Bi 2090	6 84Po (210)	6 85At (210)	6 86Rn (222)						
7 銩 223	7 鐳 (226)	7 89-103 鐳系元素	7 104Unq (261)	7 105Unp (262)	7 106Unh (263)	7 107Uns (262)	7 108Uno (265)	7 109Une (266)															
鐳系元素		57La 1389	58Ce 1401	59Pr 1409	60Nd 1442	61Pm 1449	62Sm 1504	63Eu 1520	64Gd 1573	65Tb 1589	66Dy 1625	67Ho 1649	68Er 1673	69Tm 1689	70Yb 1730	71Lu 1750							
鐳系元素		89Ac (227)	90Th 2320	91Pa (231)	92U 2380	93Np (237)	94Pu 2391	95Am 2431	96Cm 2471	97Bk 2471	98Cf 2521	99Es 2521	100Fm 2571	101Md 2561	102No 2591	103Lr 2601							

# 以能量來說

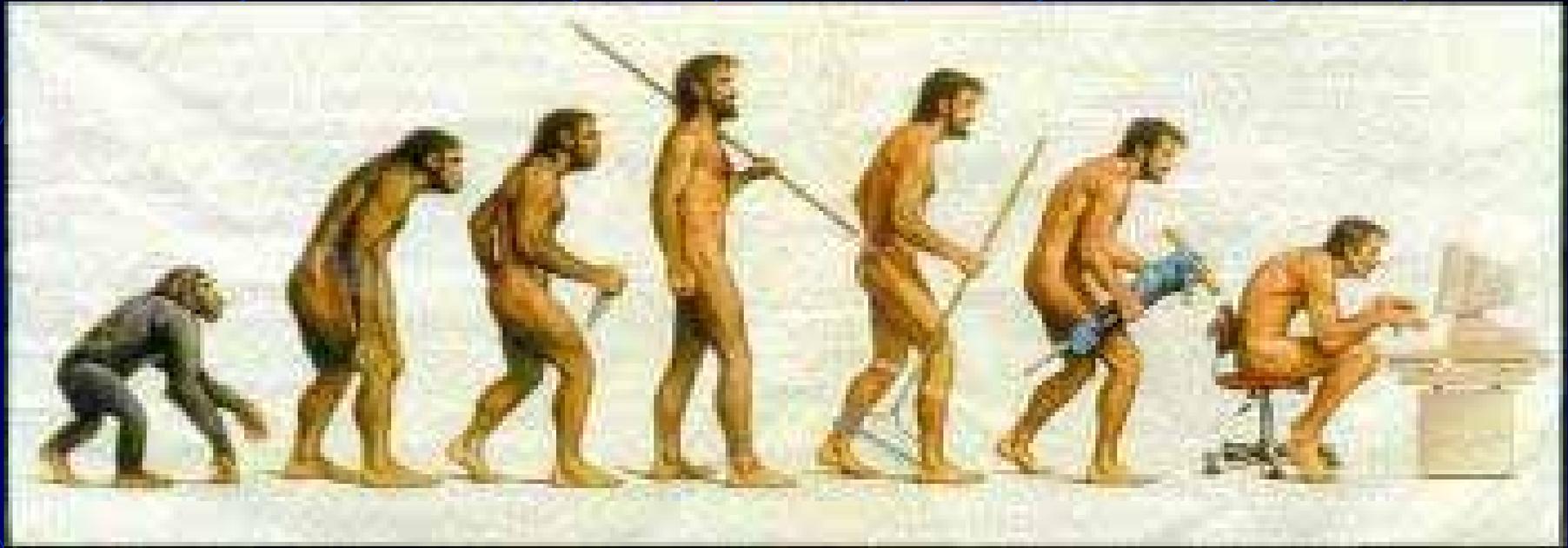
- ✓ 地球上所有能量來自太陽，太陽的能量則來自內部進行的核子反應
- ✓ 植物透過光合作用將能量儲存於複雜的化學鍵結中
- ✓ 逆反應就是氧化（燃燒、新陳代謝），儲存的能量又釋放出來
- ✓ 一些生物（例如人類及動物）取用儲存在植物中的能量
- ✓ 過程簡單，但使用複雜的結構  
我們吃東西，卻沒有變成那樣東西！



- ✓ 生命在極微觀的原子層面交換、運作  
塵歸塵、土歸土，在這個層面那有生死之別呢
- ✓ 生命很早就出現在地球  
超過35億年前，比很多恆星壽命都還長
- ✓ 能夠延續的動力在於源源不斷的能量供應
- ✓ 這歸因於光合作用，及生物巧妙地取自源自太陽的能量

**這使得生命得以宇宙  
的時間尺度延續**





地球形成後最初幾億年，仍處於  
熔融狀態，但不久生命就誕生  
了，隨後展開漫長演化

這一路走來好辛苦，但運氣真好！

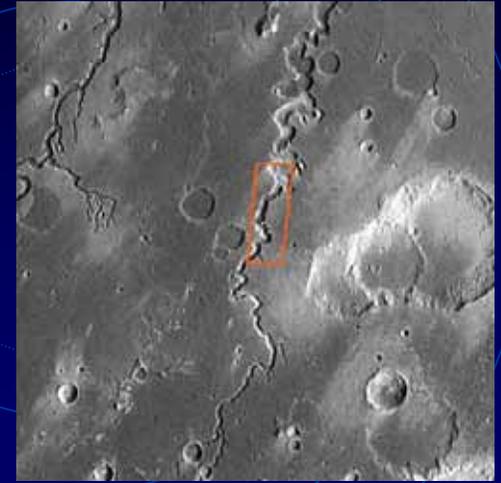
If we are alone in the Universe, then it is an awful  
waste of space. — Carl Sagan

要是宇宙中只有我們，那真是太浪費空間了。  
— 卡爾·沙岡



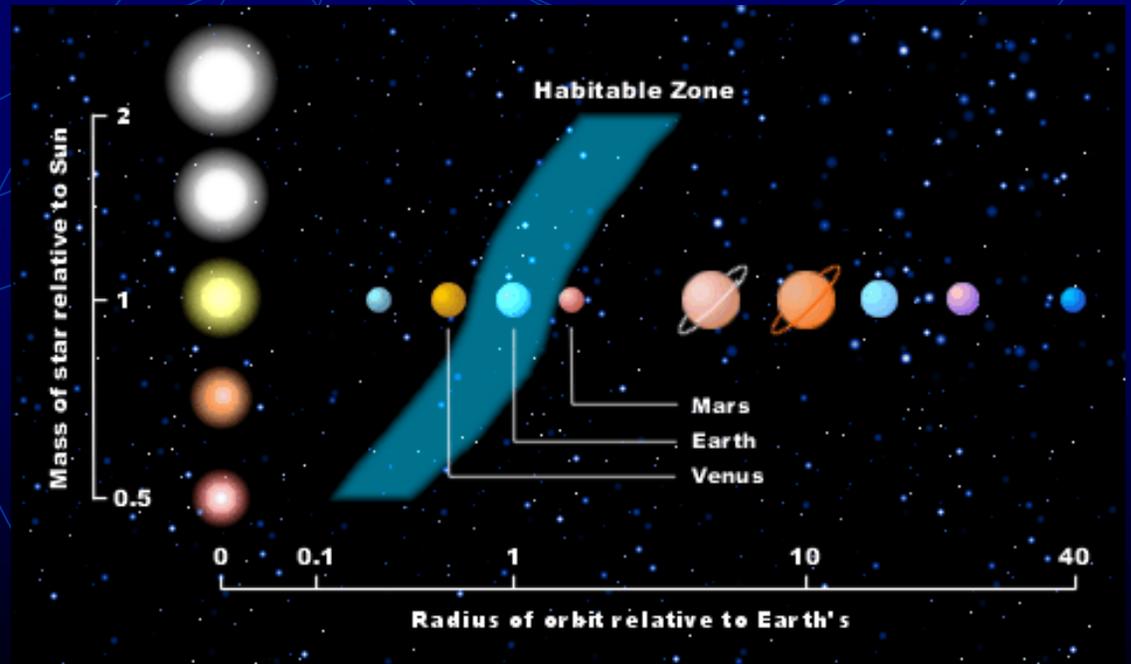
# 哪種恆星較能孕育高智慧生物？

- 行星與母恆星  
距離適中 → 液態水  
圓形軌道 → 溫度變化小
- 每顆恆星周圍可以定出  
「適居區」(habitable zone)，在這當中有某種液體存在（不一定非是水，但水很不錯！）



- 適居區範圍：  
大質量恆星→寬廣 小質量恆星→窄小

太陽適居區包含地球(及火星?)



- 若母恆星質量太小，適居區內恰好有行星的機會不大
- 若恆星質量太大 → 壽命太短  
地球上的生命花了35~40 億年才發展出現在的文明  
太陽可以活100億 ( $10^{10}$ ) 年，太空裡藍白色耀眼星星只能活千萬 ( $10^7$ ) 年
- 所以類似太陽的恆星機會比較大，它們供應光與熱的生命期夠長，適居帶也夠寬廣。圍繞在恆星周圍的行星，是生命誕生、演化的好地方 → 就先找行星吧

# 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

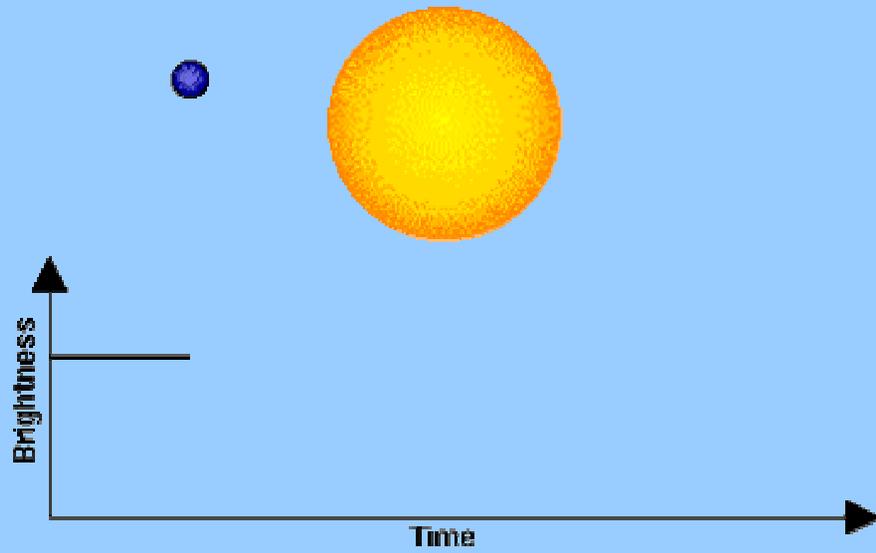
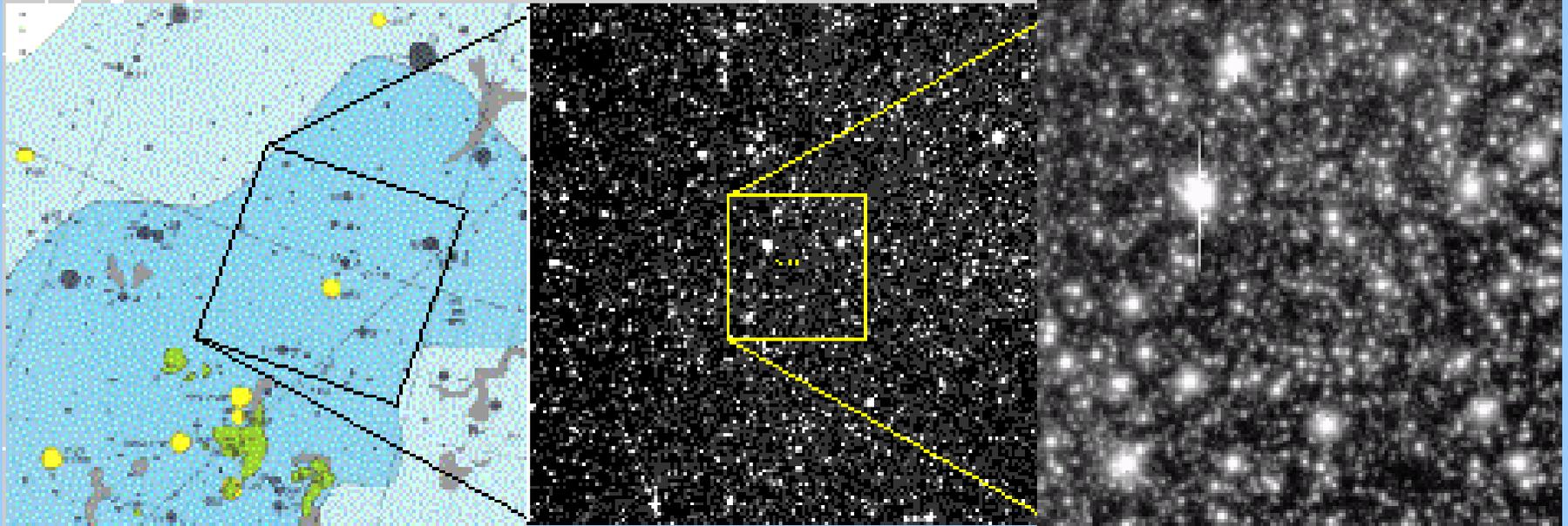
否則，直接看

# 偵測行星存在的方法

## 1 — 凡走過的必留下痕跡

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

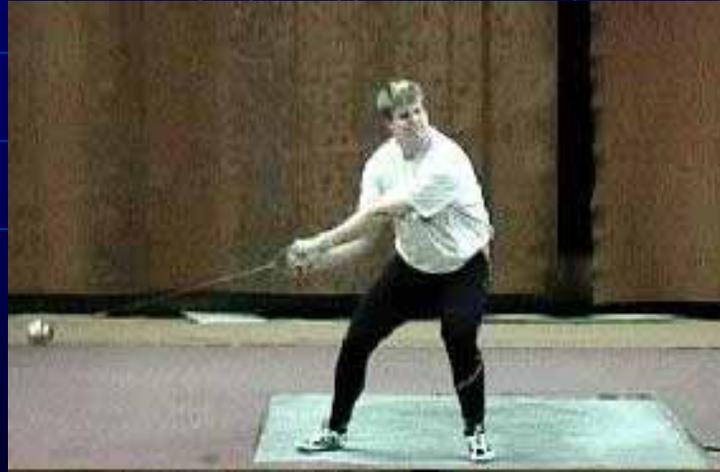




# 偵測行星存在的方法

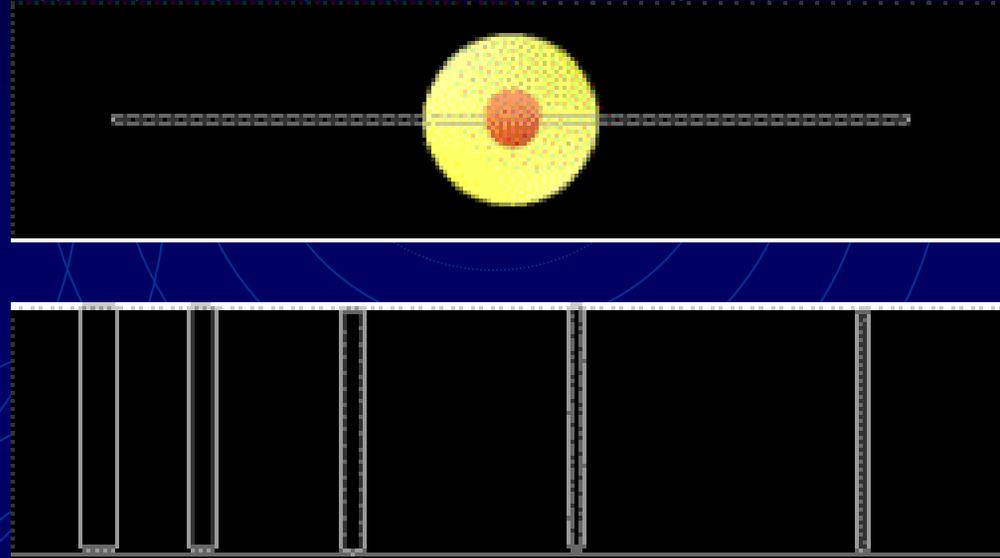
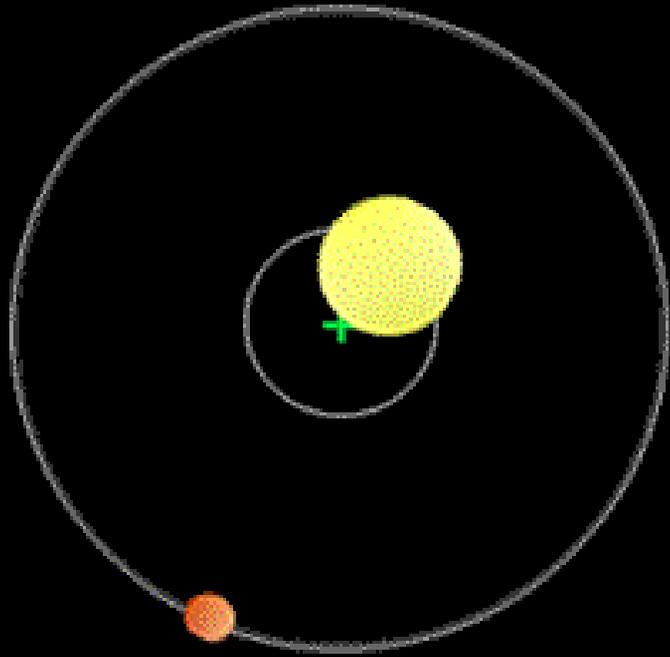
## 2 — 若要人不知，除非己莫為

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



Hammer throw

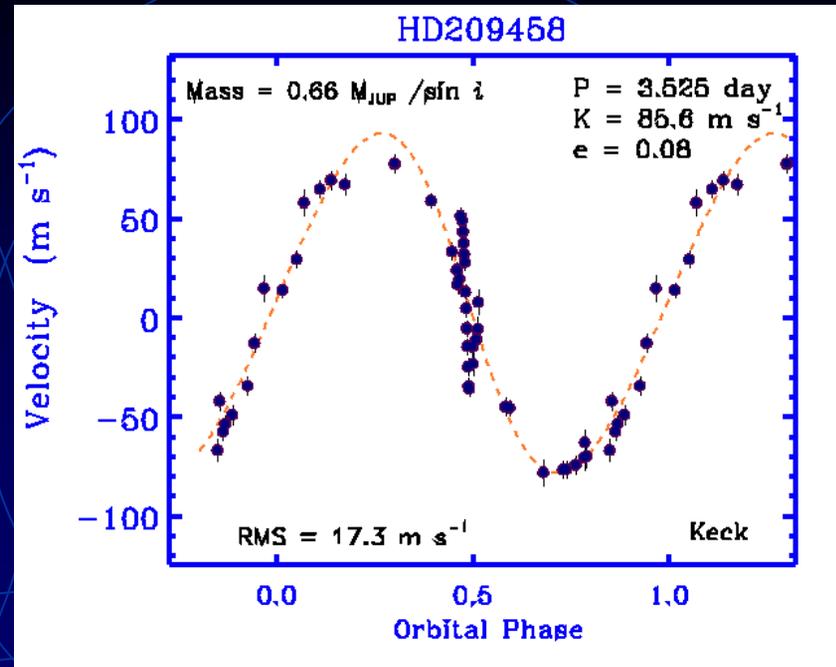
## 都卜勒效應



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。

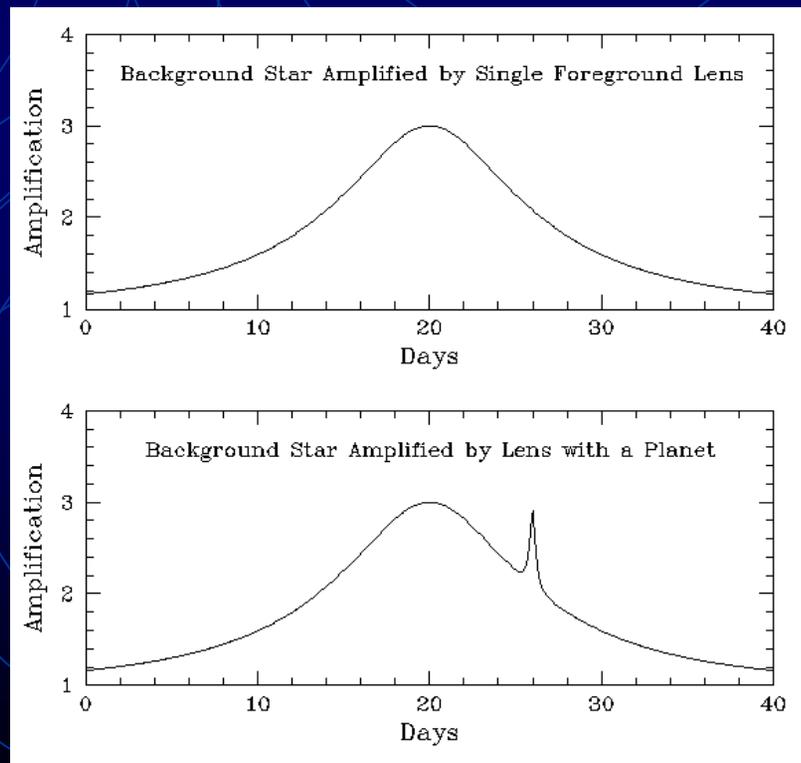
截至2003.09已經在太陽系以外共發現了110個恆星周圍有行星（系外行星 extrasolar planets; exoplanets），絕大多數是利用「前後擺動」的原理所發現（為什麼？）



# 偵測行星存在的方法

## 3 — 擋住了，但更亮！

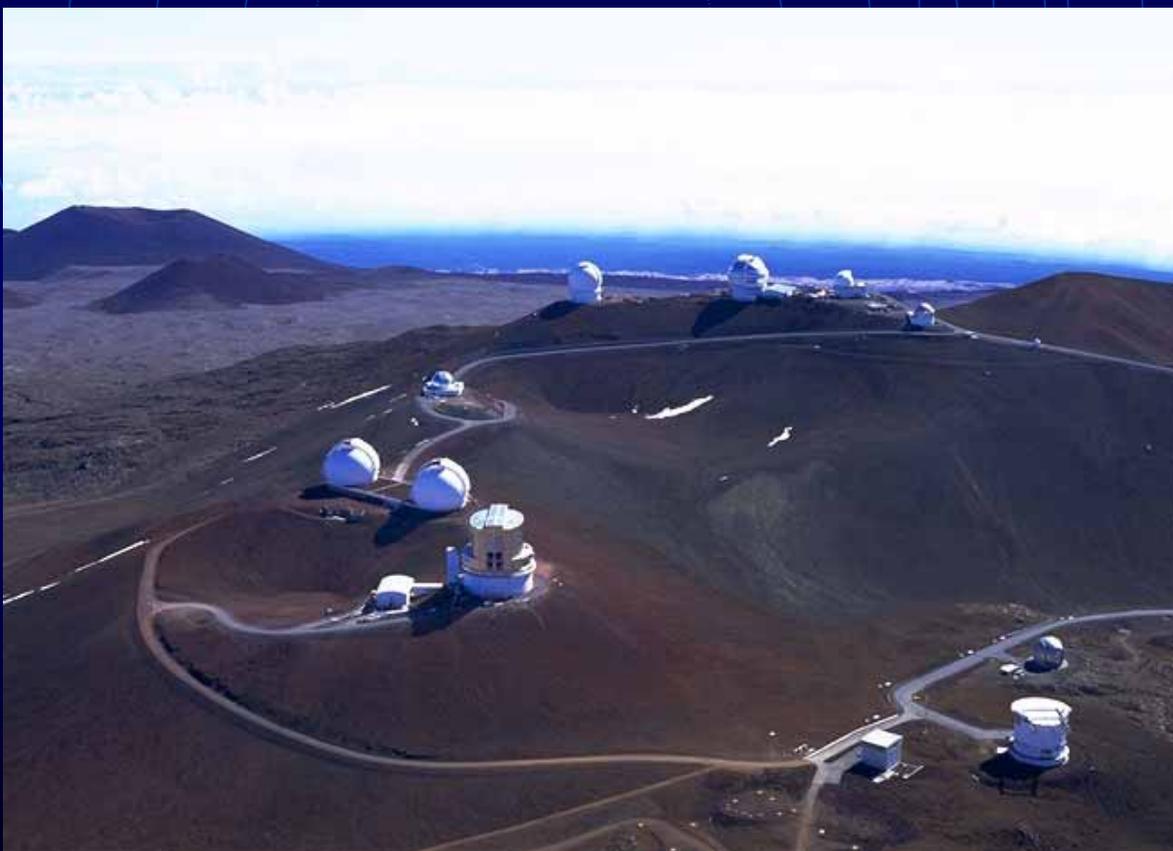
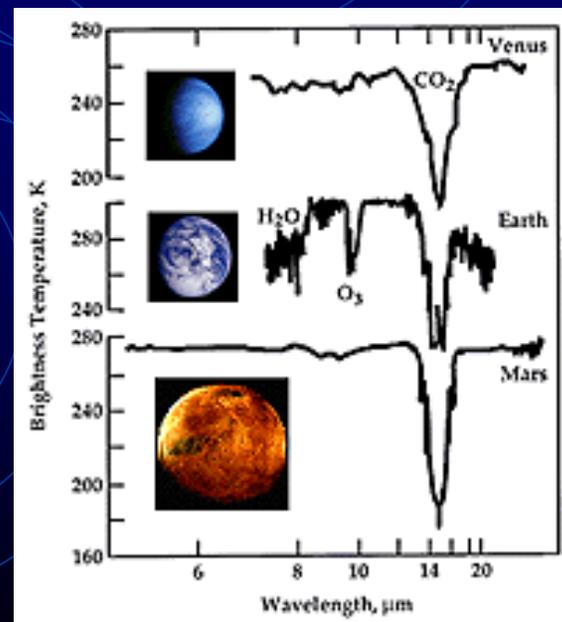
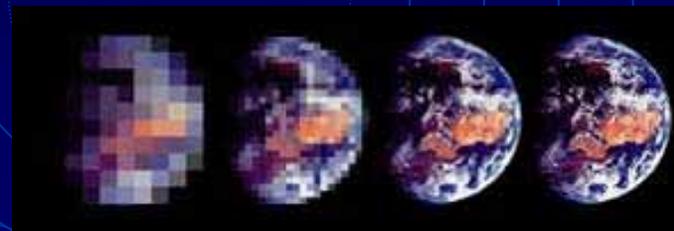
如果行星（前景）精準地正好在我們和遙遠恆星（背景點光源）之間，那麼恆星的**亮度會增亮**

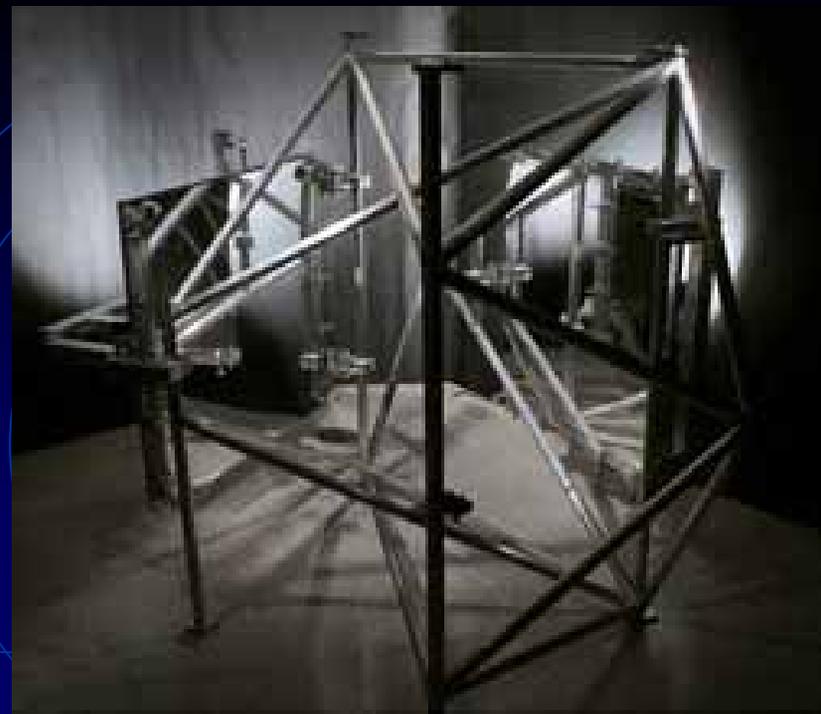


「重力透鏡」效應

鱗光片羽勝過千言萬語

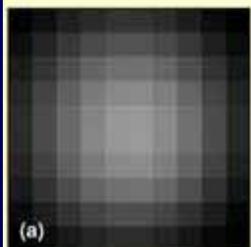
—— 要是能直接看到就更棒啦





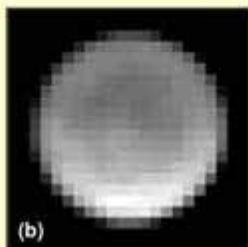
越來越大的望遠鏡

Titan (Saturn's Largest Moon)



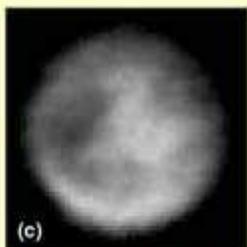
(a)

Conventional Telescope



(b)

Hubble Space Telescope



(c)

Keck Telescope with AO



Without Adaptive Optics

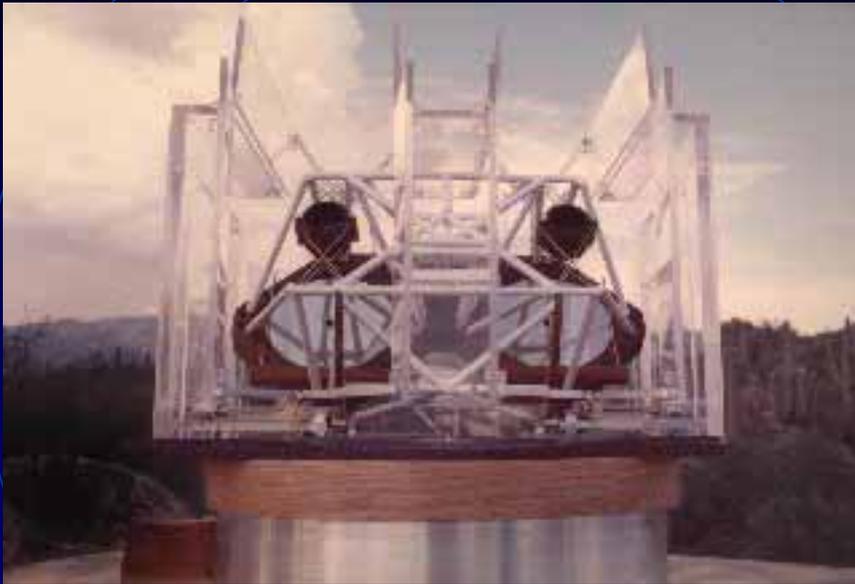
With Adaptive Optics

越來越看得清楚的  
觀測技術

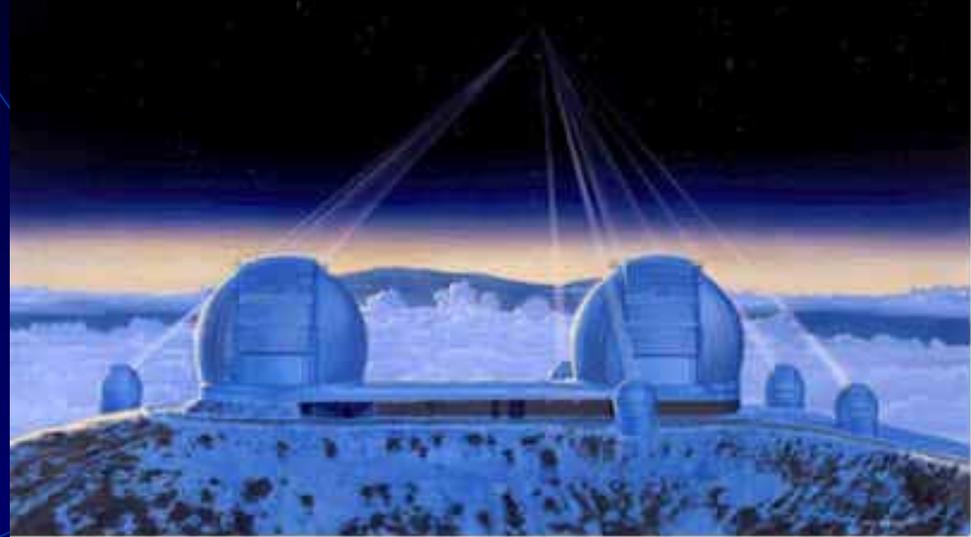
越來越靈敏的  
偵測儀器



## 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

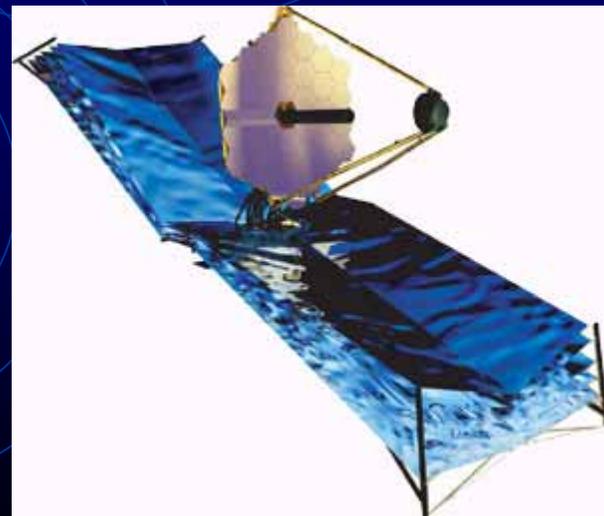
上太空去！  
前面說的都能做，  
而且做得更好得多



**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



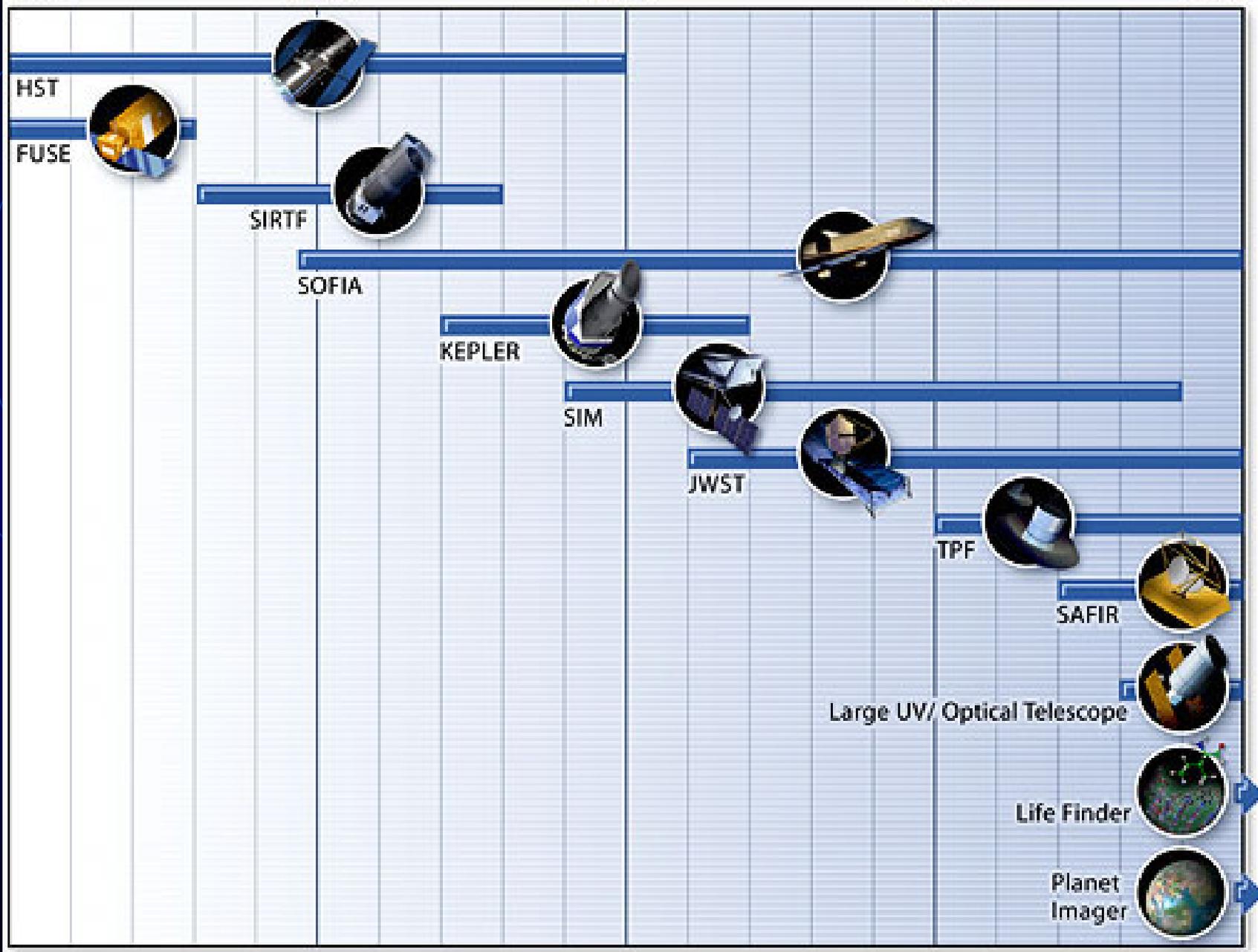
2000

2005

2010

2015

2020



- 銀河系中這樣的恆星超過600億顆，目前已知百來顆這種恆星周圍有行星

卻不知為何科幻故事中的「外星人」

總是對地球特別感興趣！

- 這樣就夠了嗎？有條件就可以發生（生命）嗎？發生了會持續（演化）嗎？持續了就會有結果（文明）嗎？

如果太陽不是大小適中... 如果地球不是距離適中

如果沒有月亮 ... 如果沒有木星 ...

**天生我才必有用，天體亦然！**

**生命中很多事情並非「理所當然」！**



# 有關「尋找」



- 最期望的當然是「登門拜訪」咳，是嗎？
- 就現有的知識、技術（及可見的未來），面對面的接觸不可能
  - 電訊接觸（一）「嘿，我們在這！」
  - （二）「喂，你們在哪？」



# 外星人來過（還在）地球嗎？

不明飛行物  
(Unidentified Flying Objects)

空軍用語

UFOs → 幽浮



事實——

天上有很多東西

.....

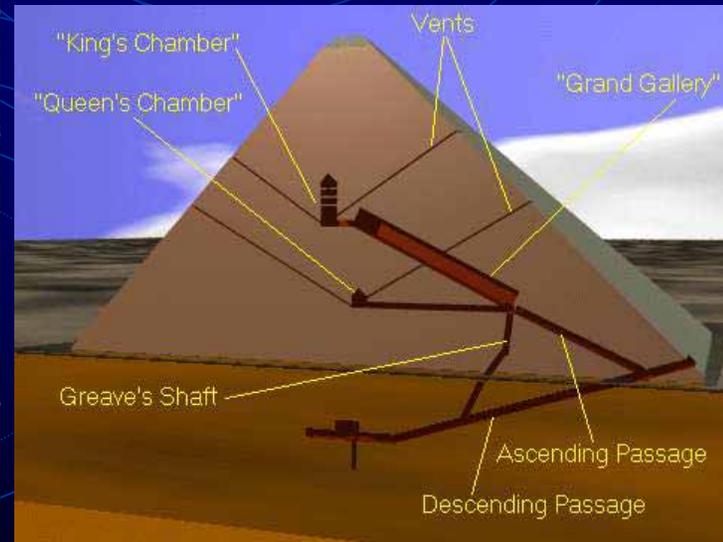
很多也會飛.....

有些無法一下認  
出來.....



# 埃及金字塔

到底有多難？  
有多神秘？  
古人蓋不出來嗎？非需要外星人嗎？  
科技先進的外星人就這麼點能耐嗎？



# 秘魯高原上的神秘線條



<http://unmuseum.mus.pa.us/nazca.htm>

畫線有那麼難嗎？為什麼非要從飛機（太空船）上面看，不是在高原嗎？



# 我們怎麼知道別的文明 在發訊號呢？

- SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) 計畫用聽的！聽他們有意或無意發出來的訊號在雜訊低的波段（例如在微波 H 以及 OH 譜線，所謂的「水洞」（‘water hole’）波段附近搜尋「可疑訊號」  
怎麼才算可疑？「嘿，嘿，嘿」算不算？  
先要知道何謂「自然」訊號，才可能判斷是否「人爲」訊號

# 我們也可以主動發訊號啊！

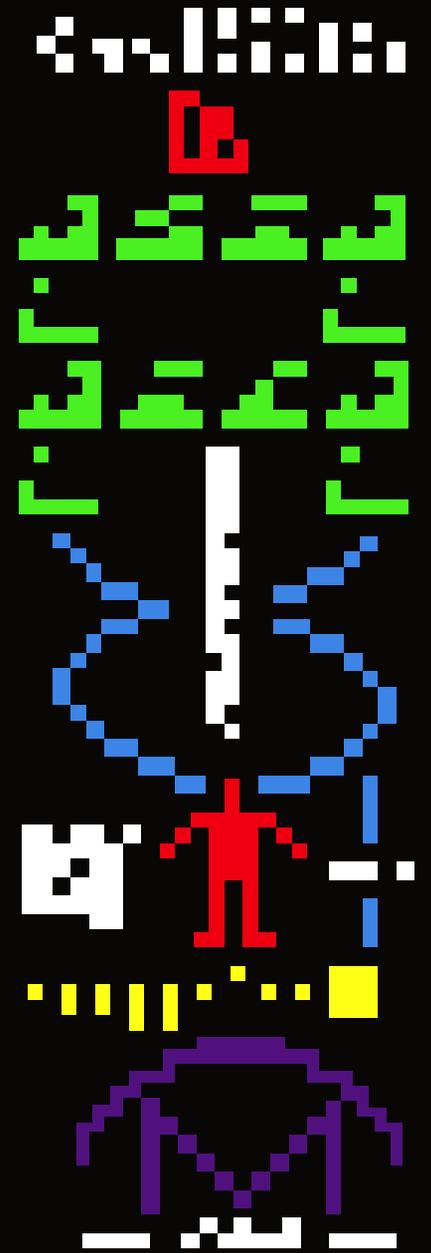
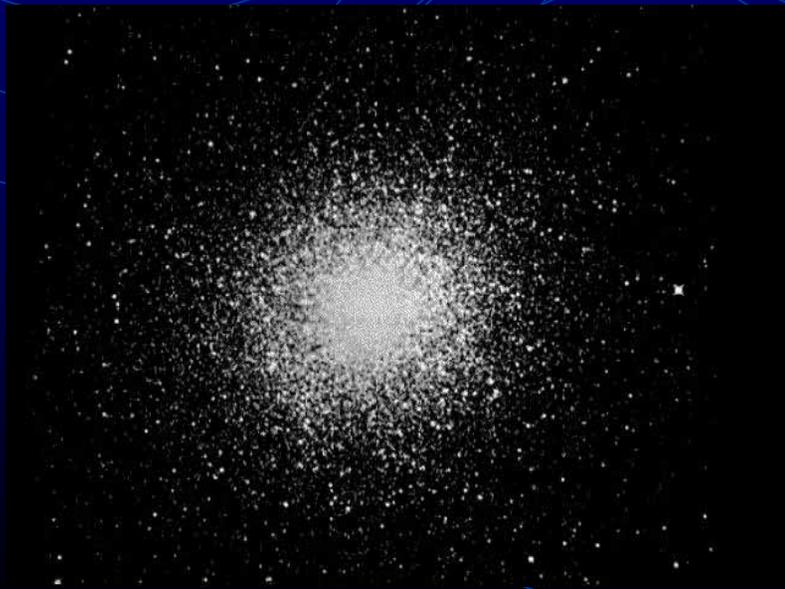
1974年11月16日 波多黎各的 Arecibo 天線（直徑 300公尺），在頻率 2.38 GHz，頻寬 10 Hz，發射了一個三兆瓦 ( $3 \times 10^{12}$  W) 的訊號——人類有史以來發射最強的訊號！

嗯，要送些甚麼呢？



目標 M13，位於武仙座

Hercules 方向的一個星團，  
距離我們 25,000 光年，包含  
約 300,000 顆星。發射的電  
波束到達時（也就是25,000  
年後）恰涵蓋整個星團



- 如果那兒有文明
  - 如果他們有夠靈敏的天線
  - 如果天線恰好打開了
  - 如果恰好朝我們這個方向聽
  - 如果恰好選對了頻率收聽
- 他們就**有可能**收到這個訊號

如果收到了，他們能懂嗎？

**我們要是收到這樣的訊號，我們懂嗎？**



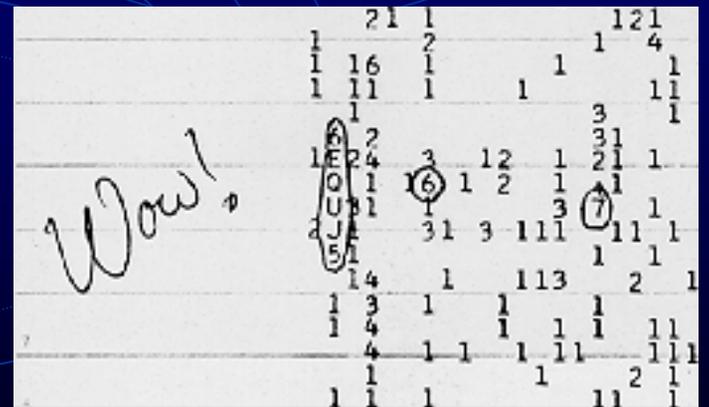
How did the glyph artists create "pixels" in a wheat field to produce this stunning photographic effect?



2001.08.21 英國 Chiboton 無線電望遠鏡附近的 glyph 「麥田圈」顯示「1974年 Arecibo Message」及「人臉」圖樣

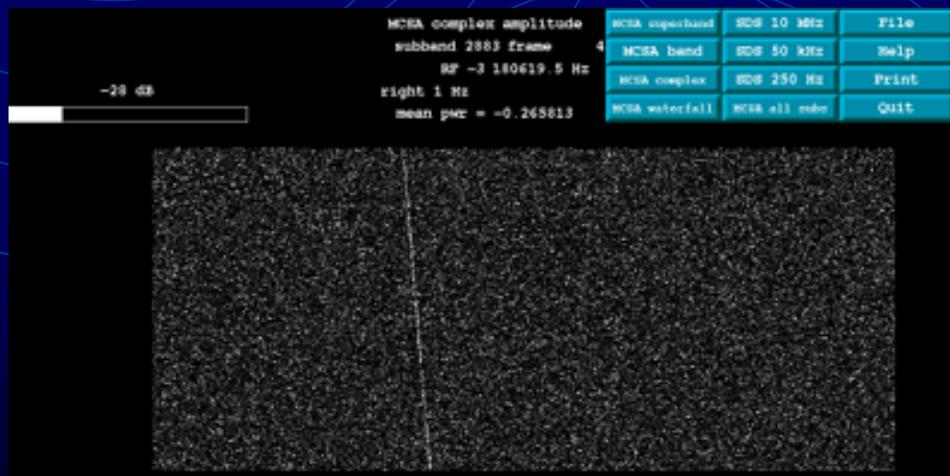
# 到底聽到了什麼？

- 1977年8月15日 --- ‘Wow!’ 訊號  
6EQUJ5  
非自然、來自天外，但來源不明



# Project Phoenix

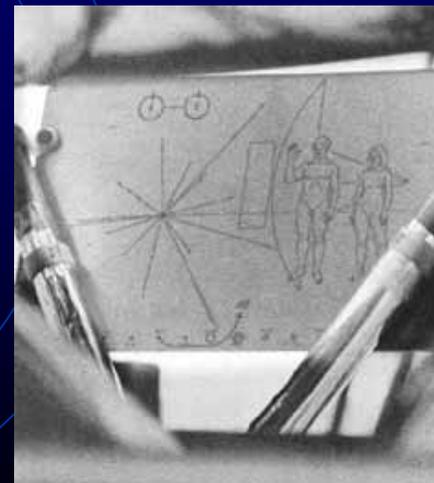
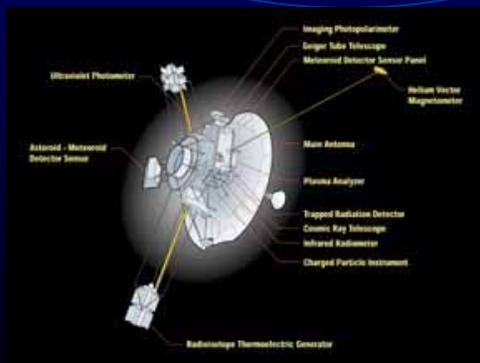
- 1995.02 開始，南北半球天線定點監聽  
<http://www.seti.org/science/ph-bg.html>
- 還真聽到了！！！！



這是先鋒10號 (Pioneer 10) 的訊號。我們聽到了自己！

# 人類的足跡 I

- 鑲在 Pioneer 10 (1972 年) 及 Pioneer 11 (1973) 太空船身上的訊息—— 6 吋 x 9 吋 (15.15 cm x 22.8 cm) 的鍍金鋁版，厚 0.127 公分，由 C. Sagan 及 F. Drake 設計
- 我們是誰、居住在哪個時間、哪個地方、我們懂多少



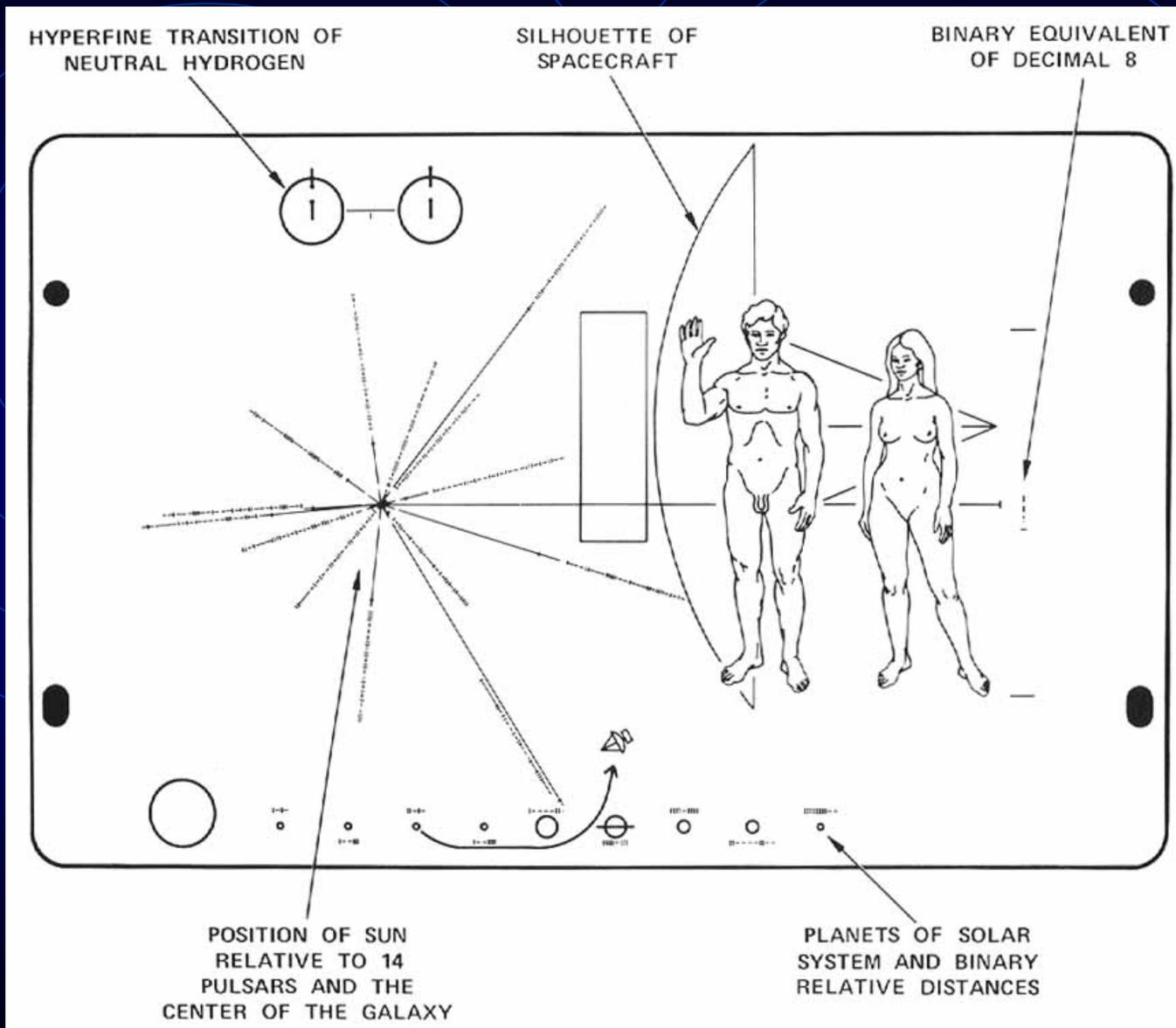
在我們問  
「你們是誰？」  
之前，

我們應該好好想想！  
「我們是誰？」

氫原子的超精細結構

視景的太空船身

相當於8的二進位碼

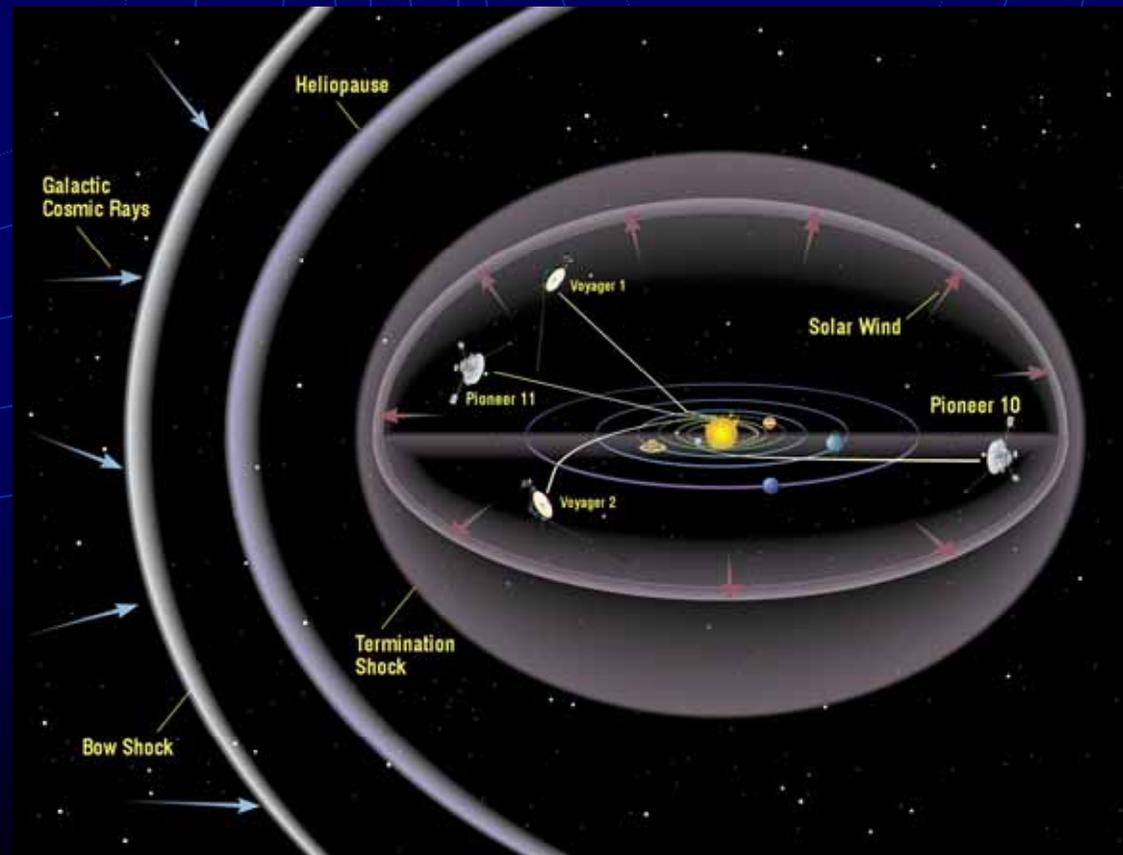


太陽相對於14顆脈衝星以及銀河系中心的位置

人類姿體與太空船大小相比

太陽系行星及相對距離的二進位碼

- 先鋒10號被木星甩了一下，10萬年後會到達金牛座方向的鄰近恆星
- 誰知到，億萬年後說不定會被外星文明找到

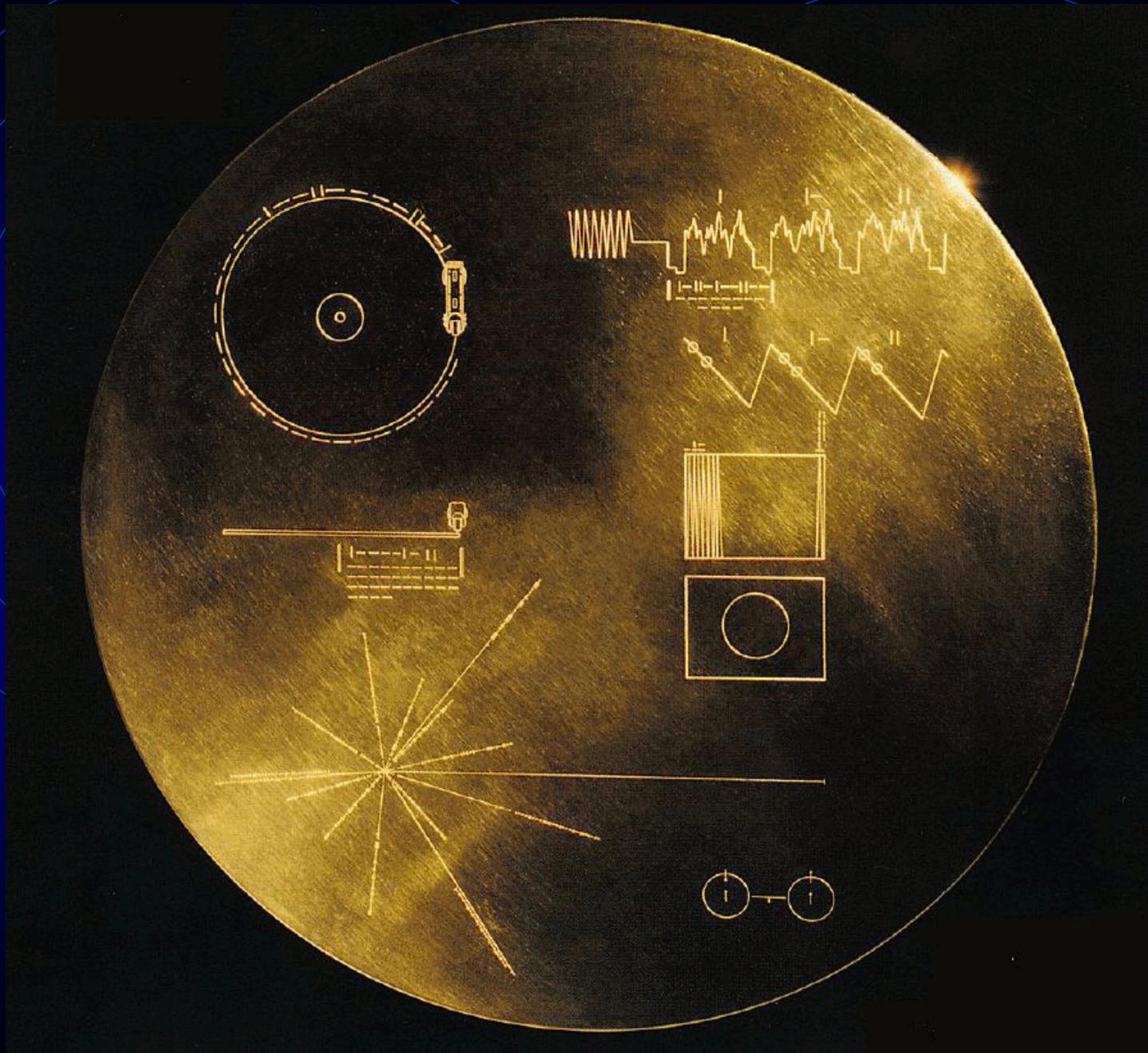


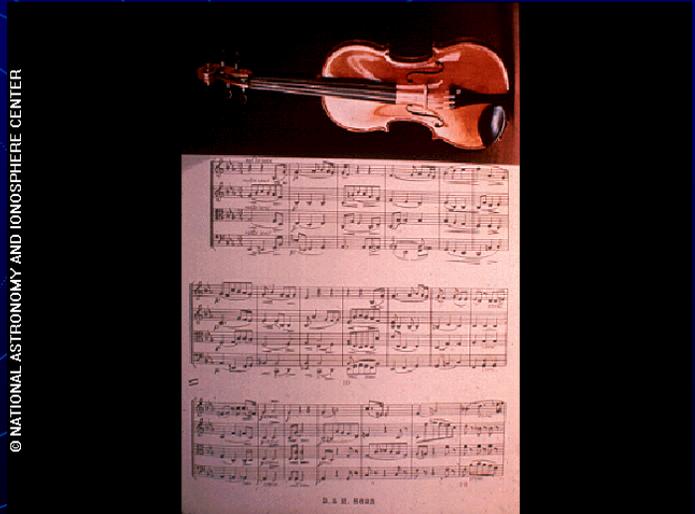
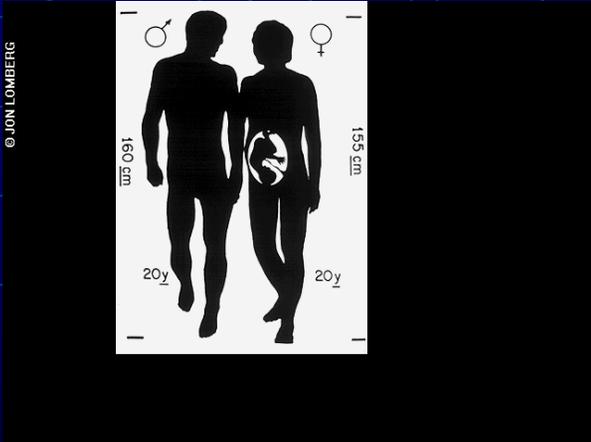
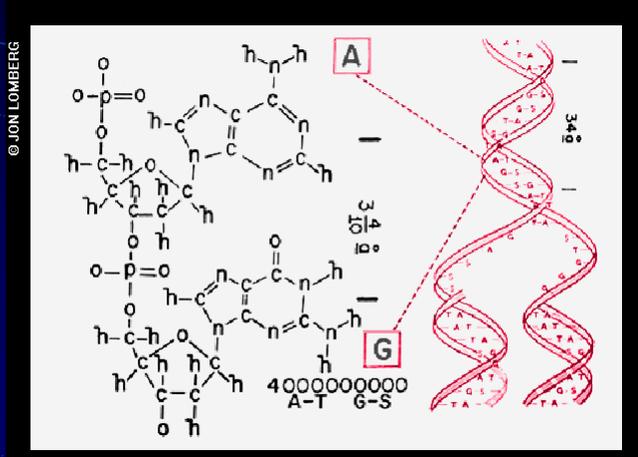
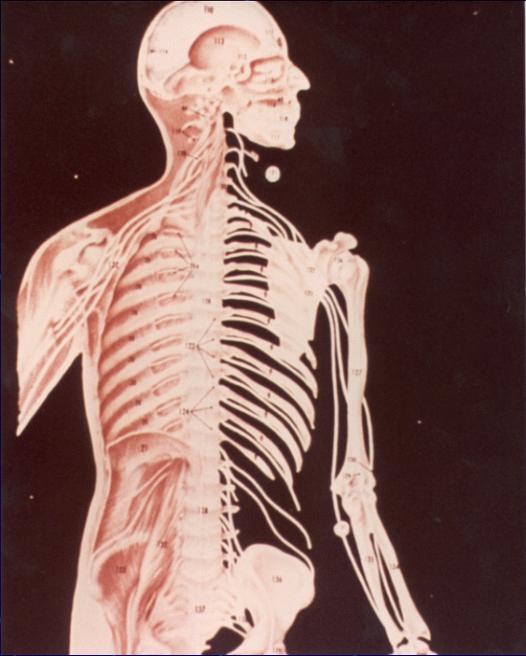
# 人類的足跡 II

- Voyager 1 及 Voyager 2 (late 1970s) 上的唱盤
- 2 吋直徑的銅盤，裝在鋁盒中，內有116張圖像；用 55 種語言問好；各種地球上的聲音（天然的或人工的）；27 種音樂（古典、搖滾、非洲土著民謠等）

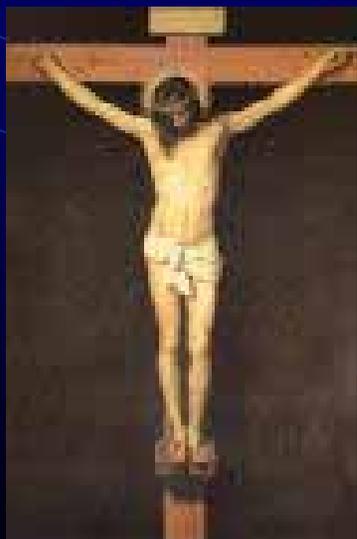
<http://re-lab.net/welcome/>

- 表面甚至電鍍了鈾238





要是外星人找到這些太空船，  
他們應該有能力檢視各種證據  
希望他們會同意 ... 你同意嗎？  
這東西來自有思想、文明的世界！  
值得他們聯絡



- 這些有如丟入汪洋中的「瓶中信」，攜帶了我們對自己的瞭解，也攜帶了盼望別人瞭解的期待

地球生命真是多樣呀！

- 只是宇宙這個汪洋大得多得多（得多）
- 象徵的意義大於實質意義，因為被找到的機會微乎其微

找了，不一定找得到，  
但不找絕對找不到！  
花多少資源找算是合理？



- 地球上最早的證據已不復尋 → 向外找
- 尋找外星生命不只是找高等文明
- 飛越其他行星時，看到  
「風吹草地見牛羊」的感動

**vs.**

接收到第一筆「外太空訊號」  
的震撼與恐懼

**其他世界上最原始的生命一樣動人！**

開始尋找吧！

