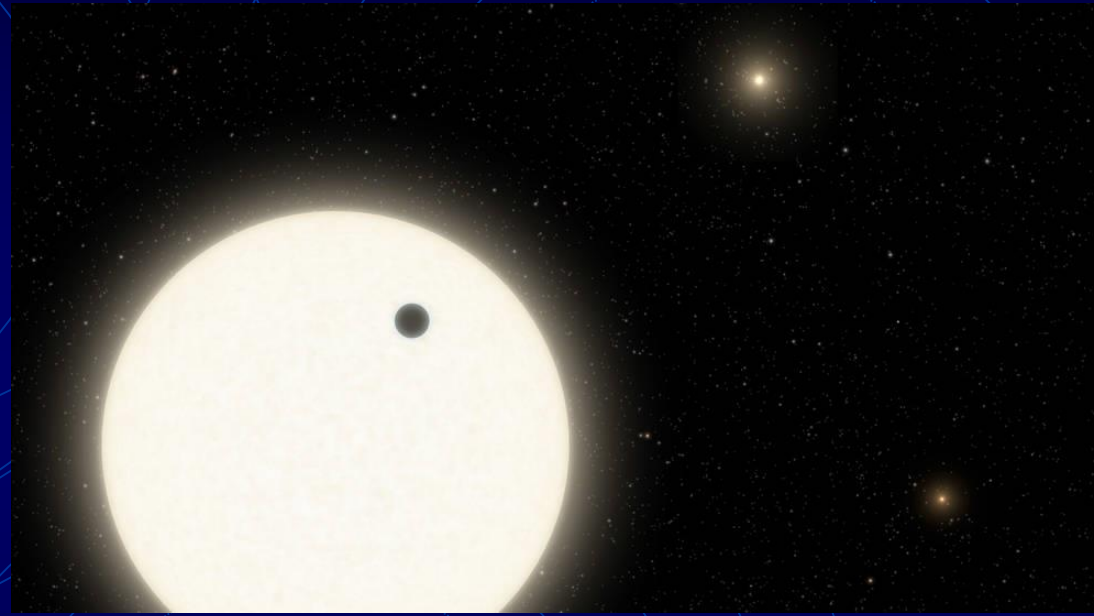
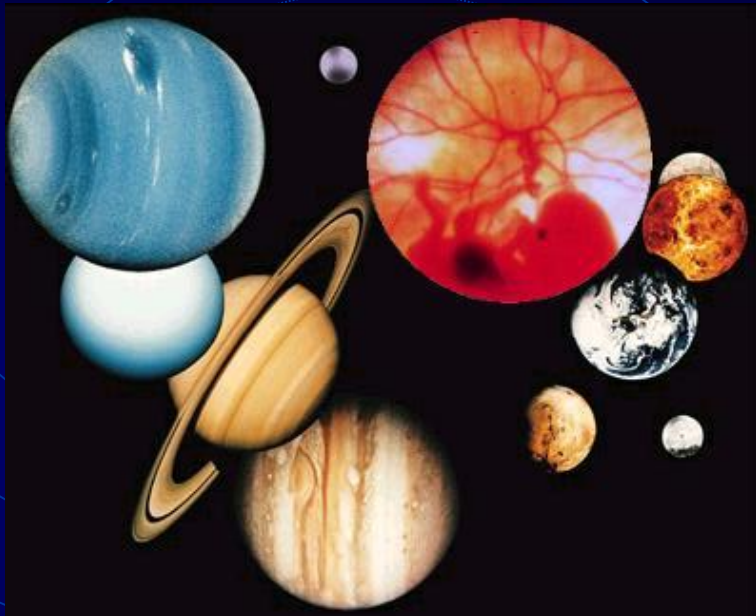


系外行星與地外生命

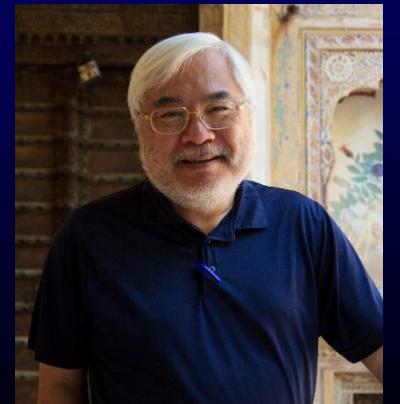


- ✓ 有關行星
- ✓ 有關生命
- ✓ 有關行星與生命
- ✓ 其他無關的事情

陳文屏

中央大學 天文所、物理系

2021.05.30 @台師大天文與重力中心 科普演講



地球是目前唯一發現有生命的天體

我們這種生命存在於行星表面，以特定的因果關係運作，而這些「定律」放諸宇宙皆準

□ 其他角落呢（太陽系內？哪裡機會大？）

□ 其他天體呢（恆星？行星？飄在太空？）

□ 其他種生命型態呢

（何謂生命？怎麼發現？摸得到？看得到？聽得到？）



我們這個家（太陽系）什麼樣子？

太陽系中各式天體

太空雲氣收縮、溫度升高、點燃核子反應 → 太陽

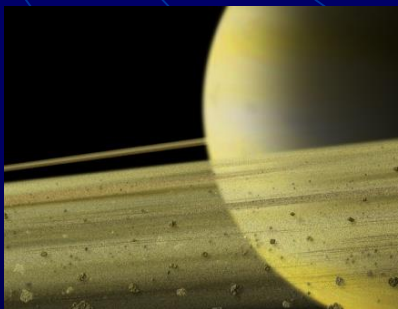
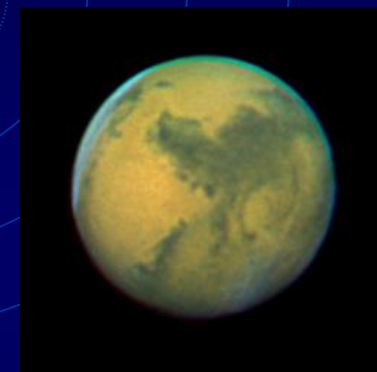
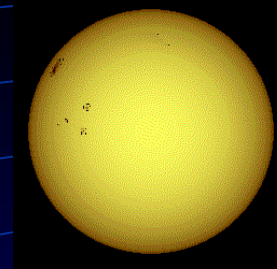
雲氣縮成扁盤狀、盤中灰塵凝集 → 小行星

✓ 繼續凝集 → 行星

◆ 旁邊扁盤中的灰塵凝集 → 衛星

◆ 不成形 → 外行星的環

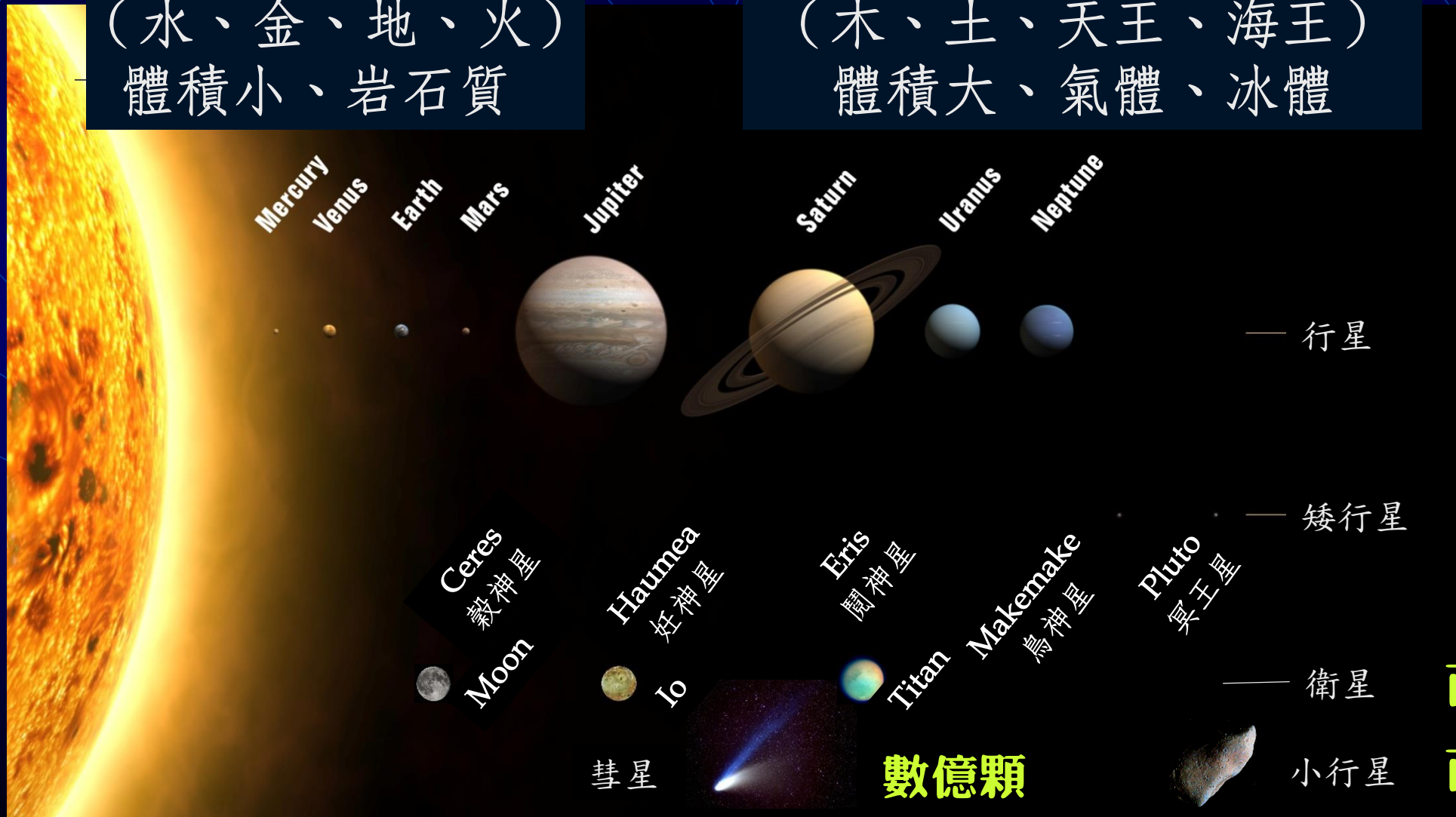
✓ 不成形 → 留在原地，小行星帶、古伯帶
→ 被拋到遠方 → 歐特雲中的彗星核
進入太陽系內圍 → 彗星



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



— 行星

八顆
(目前)

— 矮行星

五顆
(目前)

— 衛星

百來顆

彗星

數億顆

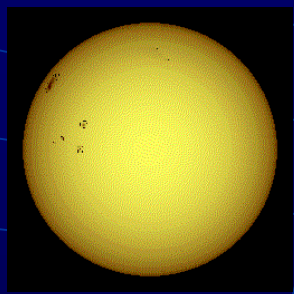
小行星

百萬顆

星星也有生、老、病、死：源於塵土、歸於塵土

星星之間極度空曠，但是 太空 ≠ 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 → 塵塊 → 小行星 → 行星



行星是恆星形成的副產品
系外行星應該無所不在

別人家 (太陽系外) 呢?

平庸原理 (Mediocrity principle)

怎麼尋找行星

直接看



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 對恆星的影響

恆星太亮、太近

位置變化

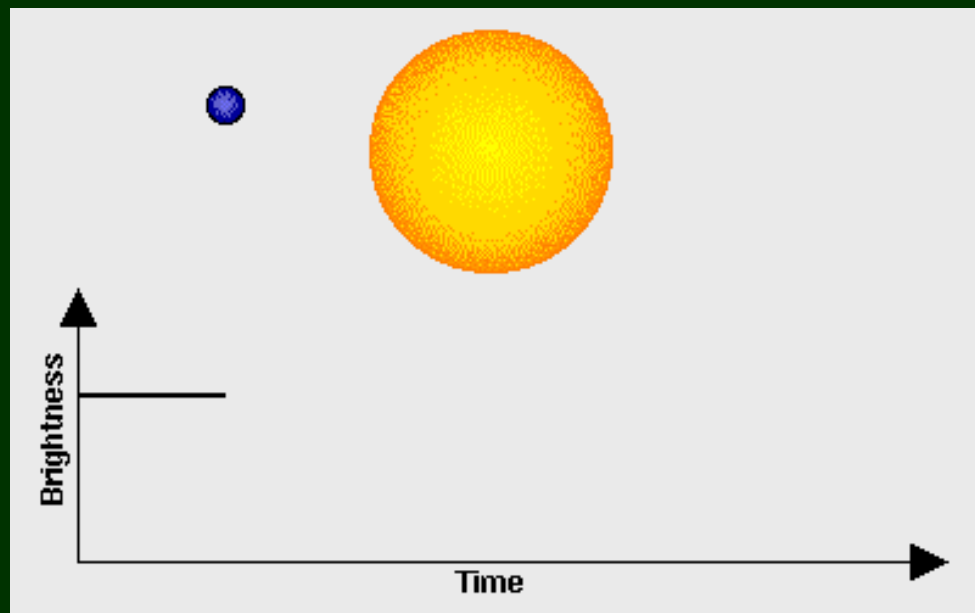
亮度變化



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），恆星的**亮度**會以特別的方式變化



自己不發光就借光
（反光、擋光）

偵測行星存在的方法

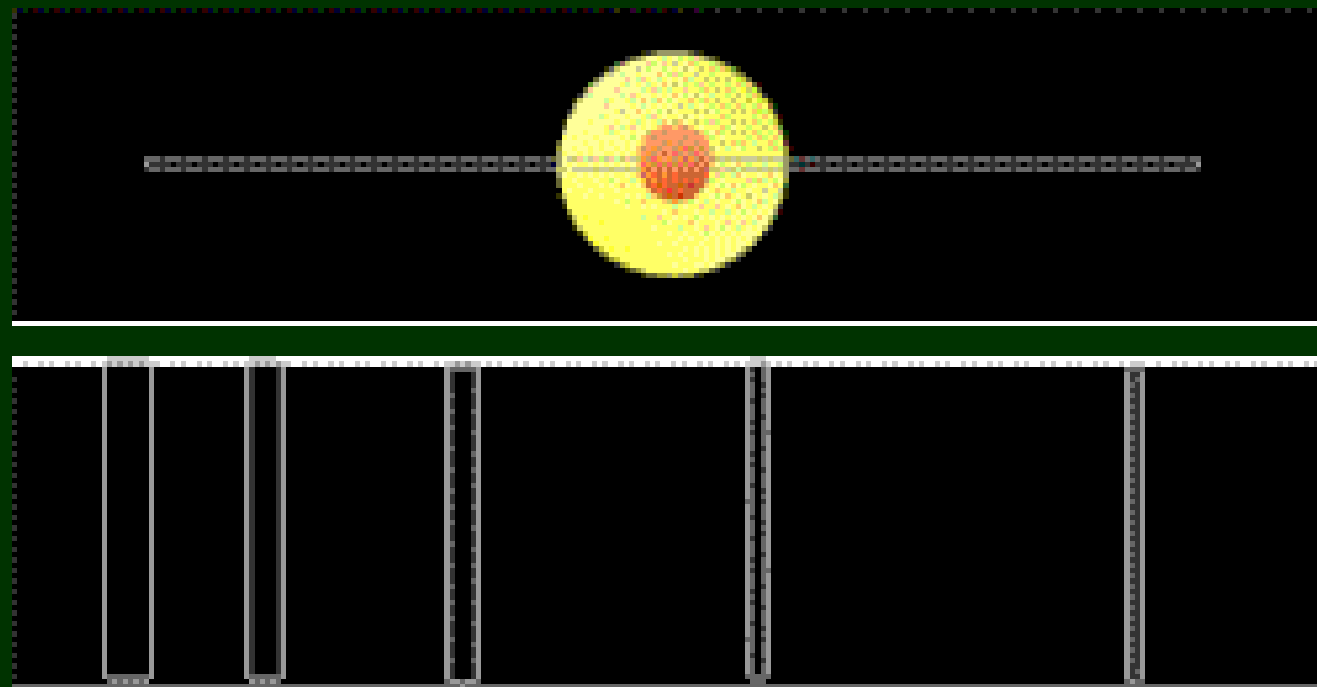
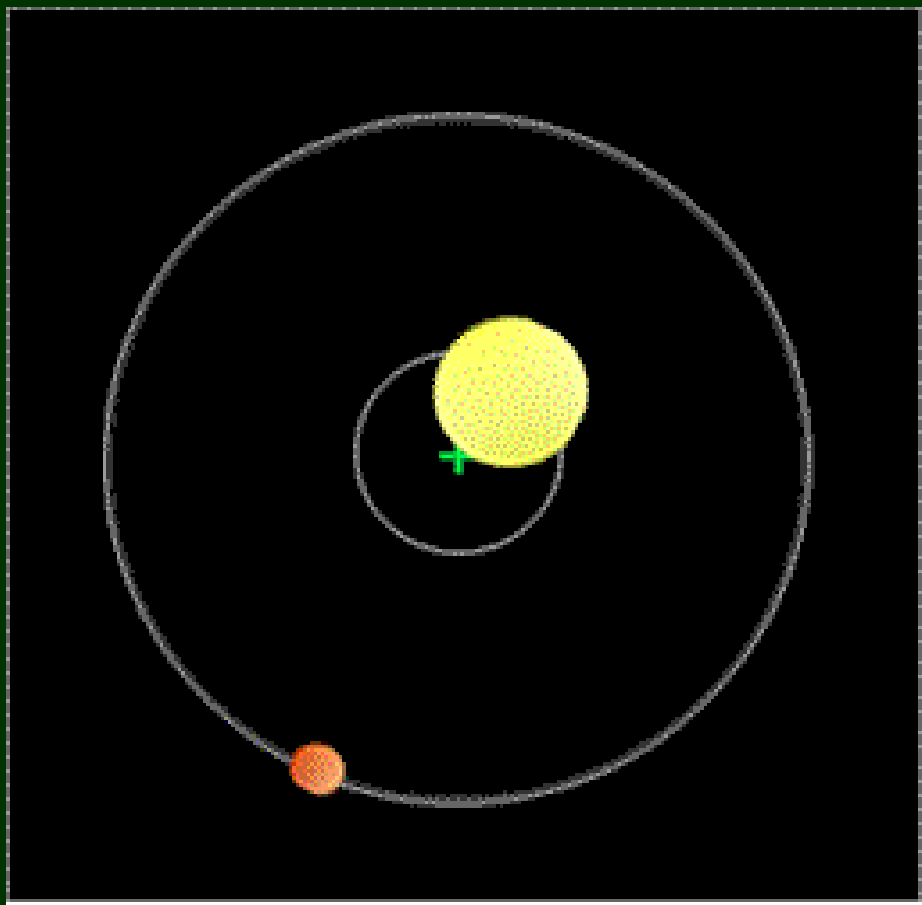
2 一若要人不知，除非己莫為

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



影響會發光的東西

都卜勒效應



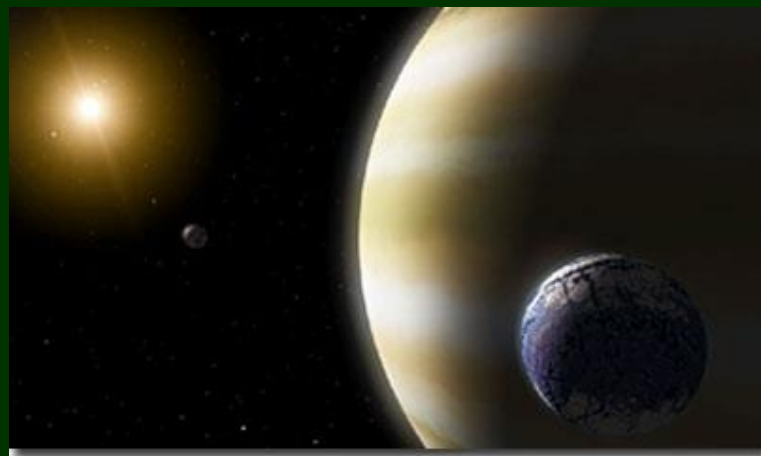
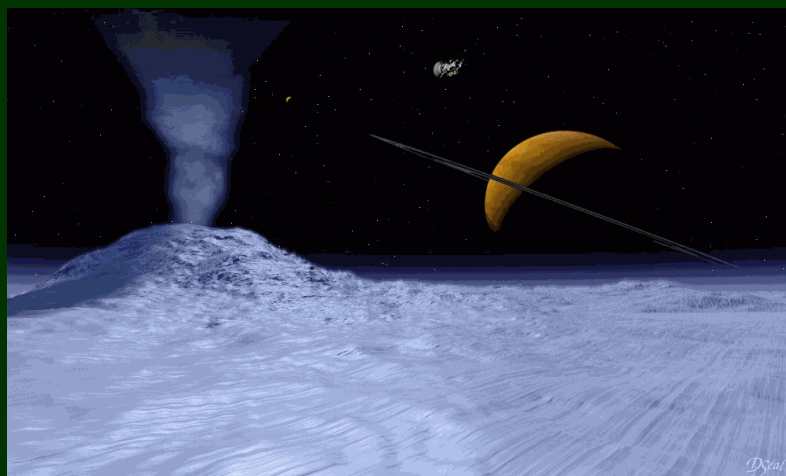
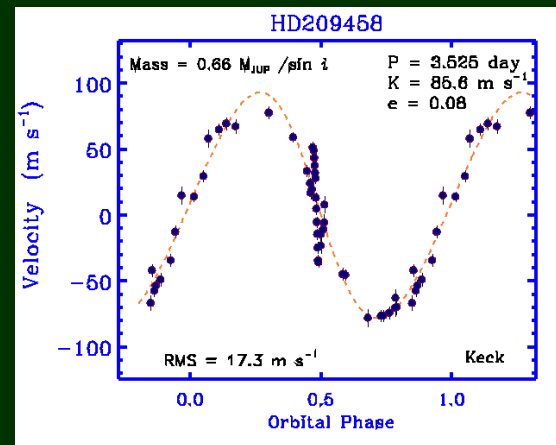
原本在太空中走直線的恆星，
因與行星互繞，而「走螺線」

恆星因為與行星互繞，而在沿
「視線」方向「前後擺動」

目前已經在太陽系以外發現了數千顆 恆星周圍有行星——**系外行星**

extrasolar planets; exoplanets

絕大多數利用「前後擺動」或「掩星」
的原理所發現



Super-earths
超級地球 → earths

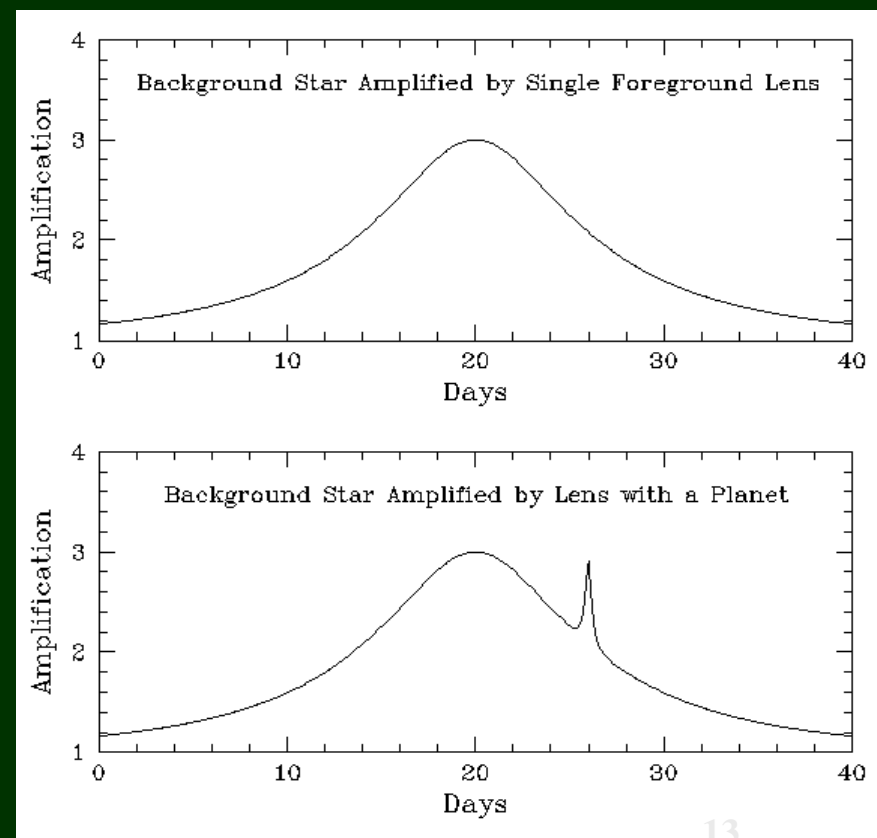
偵測行星存在的方法

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**

讓別人光芒更明亮

「重力透鏡」效應：造成行星增亮



其他偵測系外行星的方法

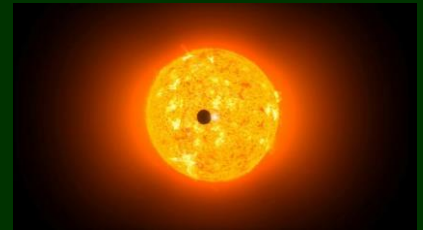
4 --- 脈衝星 (pulsar) 計時

第一顆系外行星利用此技術發現



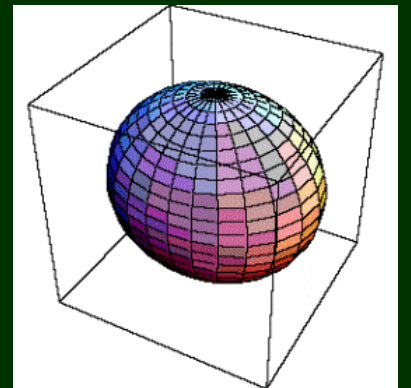
5 --- 已知行星掩星計時

其他行星所造成的擾動



6 --- 星震

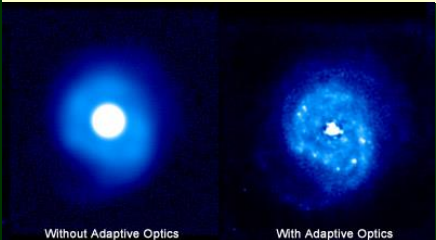
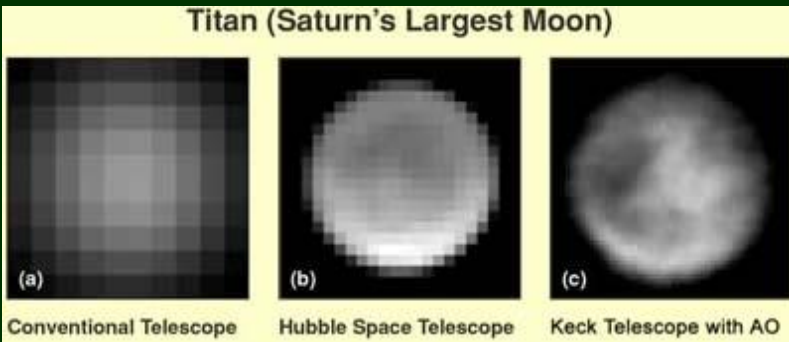
行星改變了星震模式



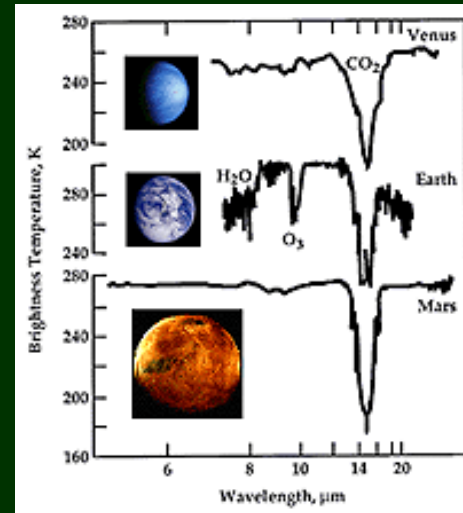
...



越來越大的
望遠鏡



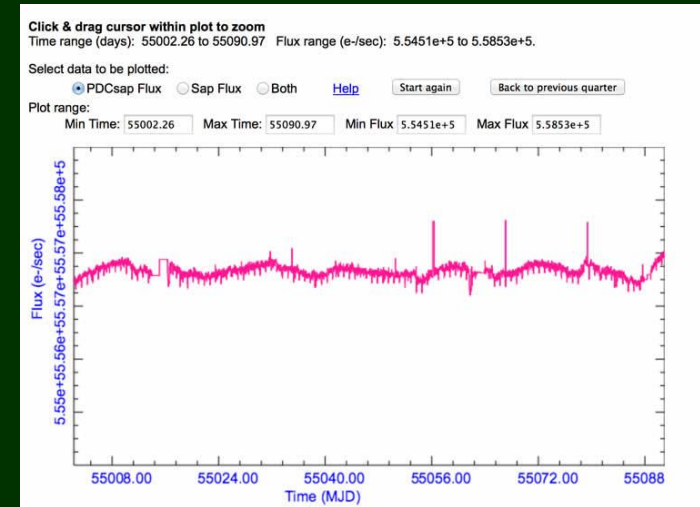
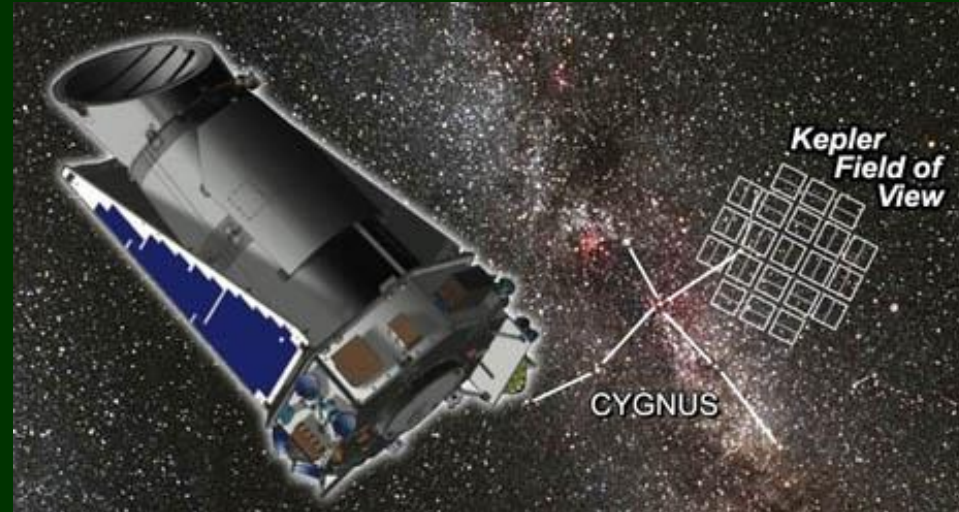
越來越看得清
楚的觀測技術



越來越靈敏
的偵測儀器

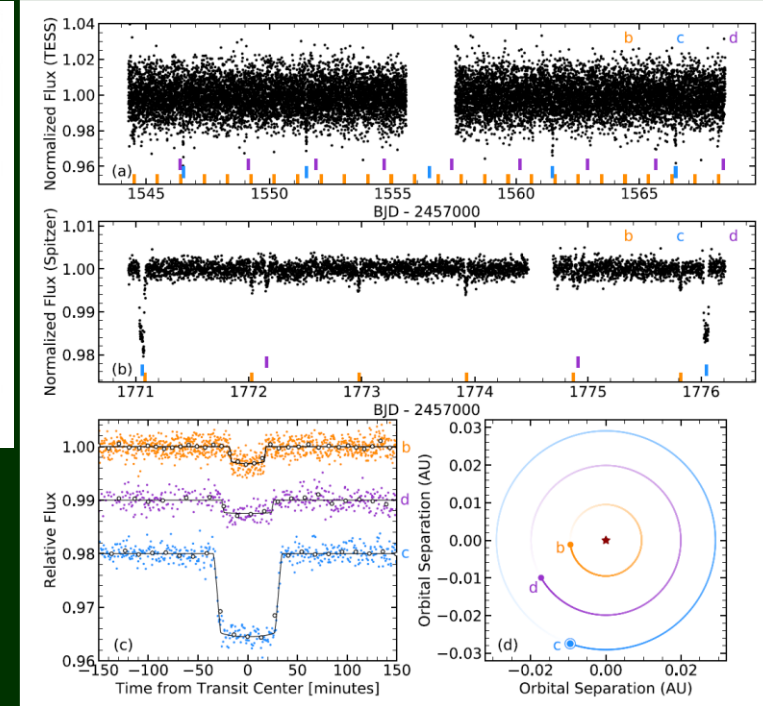
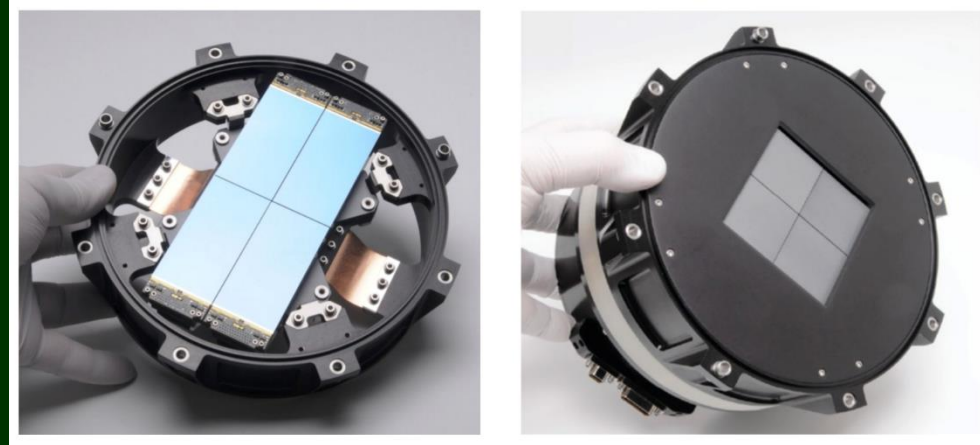


克卜勒太空望遠鏡



- 利用掩星方式尋找（地球般大小）的系外行星
- 2009.3發射；監測特定天區約14萬顆恆星
- 望遠鏡口徑0.95 m；位於地球 L2 軌道
- 發現數千顆系外行星

TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite)



- 尋找M型恆星周圍的類地系外行星
- 2018.4發射；四個10.5 cm 鏡頭；視野 $24^\circ \times 96^\circ$ ，為Kepler太空望遠鏡的400倍
- 可監測85%天空，主要任務2年，監測 20萬顆恆星。
任務持續中

生命的特徵



- 找外星生命 ... 找什麼呢？
- 生命是一堆原子、分子（**哪些原子、分子呢？**）
只是物質形態的一種，以致在根本上可以用物理、
化學來描述（**哪些化學反應呢**）
還是得有「靈氣」才行？
- 生命是什麼？一說就錯，卻看了就知道？
- **繁衍** (to reproduce)
演化 (to evolve)？

充分 VS 必要 條件



不同環境的成分 (原子數目 %)

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
氬	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%	氮	63%	氮	61%
氧	21	氧	29	氧	26
氬	0.93	碳	6.4	碳	10.5
碳	0.03	氬	1.4	氬	2.4
氬	0.0018	磷	0.12	鈣	0.23
氮	0.00052	硫	0.06	磷	0.13

不同環境的成分 (原子數目 %)

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
氬	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%	氮	63%	氮	61%
氧	21	氧	29	氧	26
氬	0.93	碳	6.4	碳	10.5
碳	0.03	氬	1.4	氬	2.4
氬	0.0018	磷	0.12	鈣	0.23
氮	0.00052	硫	0.06	磷	0.13

生命無中生有？

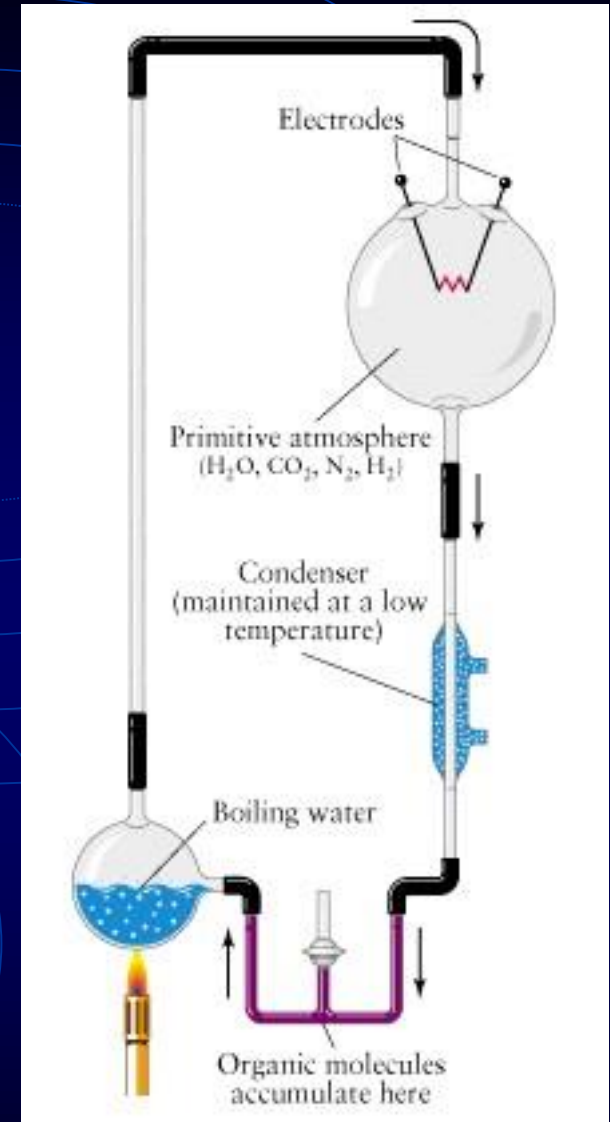
Miller-Urey 實驗 (1952年) ——

在地球早期環境中生命「出現」的可能

→ 模擬地球原始大氣 (甲烷、氫、阿摩尼亞、水蒸氣) + 模擬海洋 + 放電提供能量 + 電熱器促進循環 (有如天氣)

一週後發現15-20%的碳元素形成了有機物，2%的碳形成了胺基酸！

其中以 **glycine** ($\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ ；甘胺酸) 最多



墨其森隕石 (Murchison meteorite)

1969年9月28日上午11點墜落於
澳洲墨其森

只剩下 100 公斤，發現 90 種
胺機酸，其中19種地球上也有！

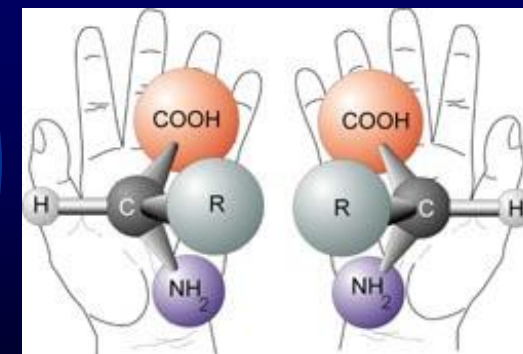


早期地球與彗星、小行星、隕石等小型天體相似，如果
胺機酸在外太空惡劣的環境下能存在，那麼在早期地球
也可能存在

地球上的胺基酸有可能是小型
天體撞擊而帶來



- 胺基酸當然還不是生命，但是由胺基酸所構成的蛋白質是地球生命的主要活動來源
- 米勒·尤瑞實驗結果表示組成生命的基本物質，可以在原始的環境中生成材料、技術上都沒有困難，即使是惡劣環境也無妨
- 組成地球生命的胺基酸全都是左（手）旋結構
組合簡單，但排列複雜（生命很挑剔！）
- 隕石中也發現關鍵的有機物（例如胺基酸）存在，左、右旋相當（L多些？）



生命源於外太空？

Panspermia 學說：20世紀初瑞典化學家 Svente Arrhenius 主張地球上的細胞生物來自外太空，藏身於隕石當中而來地球，這樣可以倖免於太空的惡劣環境，甚至進入地球時受到的衝擊。太空裡可能很多這種 germs（細菌）、spores（孢子）

若真如此，太空生命無所不在



事情有其道理，機率高低、期望值大小而已

樂透總有人中？ 買一次 vs 買1000萬次 vs 一次買1000萬張

你我這種生命，以普通的成分組成

宇宙其他角落，生命材料不虞匱乏

以複雜的過程進行

需有「恰當」的環境，機會才大。怎麼樣算恰當？

生命活動：特定的液態化學

生命三要素：陽光、空氣、水，哪個最「要」？

為什麼碳元素很重要（矽可不可以？）不一定是水，但水很不錯

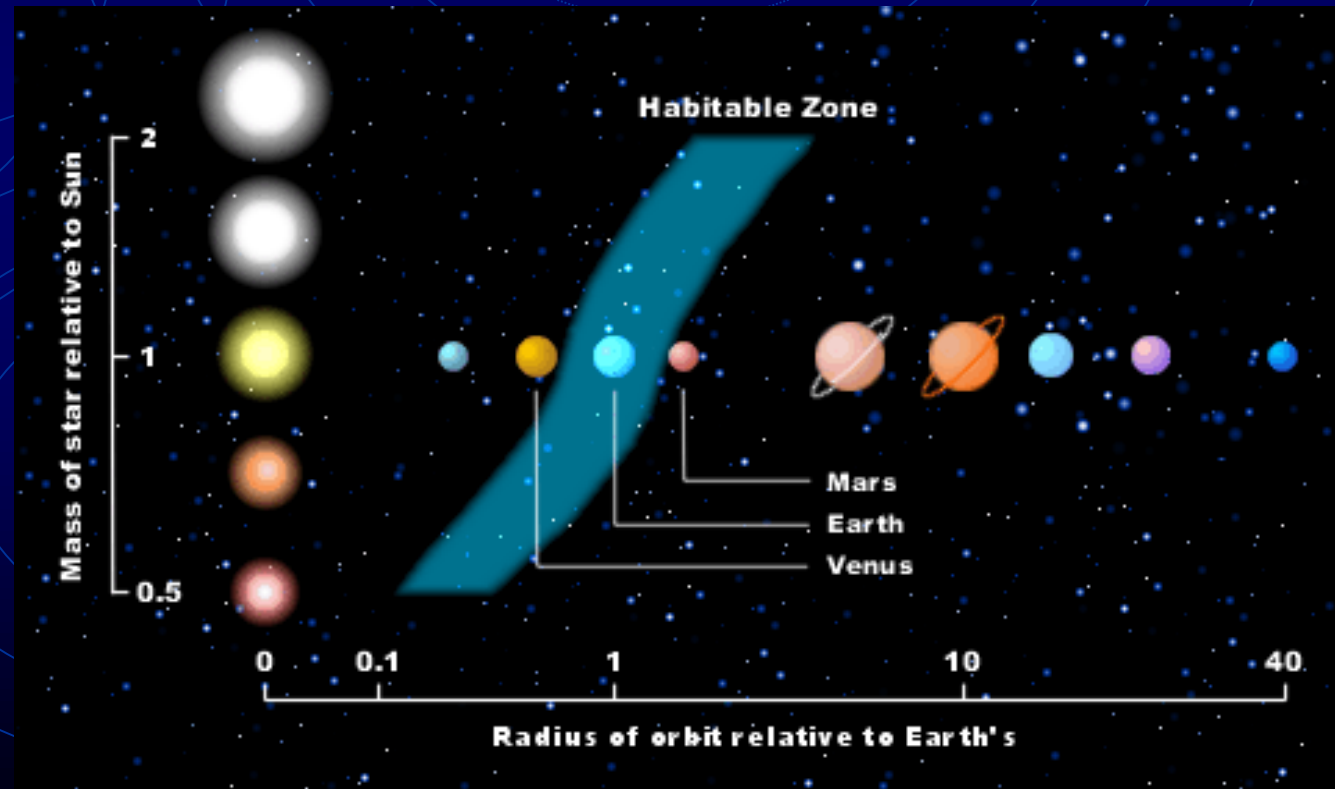
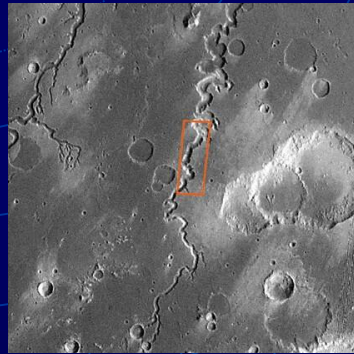
生命的化學活動需要某種液態物質，不一定是水，但水很不錯

溶劑	水 (H ₂ O)	阿摩尼亞 (NH ₃)	甲醇 (CH ₃ OH)
液態溫度 (°C)	0 ~ 100	-78 ~ -33	-94 ~ +65
溫度範圍 (°C)	100	45	159
比熱 (kJ/kg °C)	4.2	4.7	2.1
汽化熱 (kJ/kg)	2257	1369	1100

每顆恆星周圍可以定出個「**適居區**」(habitable zone)，
這當中存在某種液體

大質量恆星 → 寬廣
小質量恆星 → 窄小

太陽的適居區包含地球(及火星?)



行星與母恆星

距離適中 → 液態水
圓形軌道 → 溫度變化小

那恆星呢？

- 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不到一億年 (10^8) 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
→ 要找我們所瞭解的生命，就先找行星吧
~~ 而現在發現行星無所不在

- 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，則壽命太短

地球生命花了 35~40 億年才發展出現存的文明

- 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
有效而穩定液態化學的「燒瓶」 某種薄膜
- 而行星無所不在，但每個行星不等價
容易找到的，都是又大、又近

生命活動為連串的化學反應

液態化學快速而穩定

行星地表提供穩定化學反應的環境

早年地球環境可以讓生命「土生土長」

所以，尋找外星生命，或是地球2.0，
目標是圍繞在恰當的恆星周圍的恰當行星

多半相信外星人存在，因為 ...



Jodie Foster as “Ellie” in
Contact (接觸未來，1997)



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

迷思：宇宙無窮大、歲月無限長

... 因此甚麼都有可能

事實——宇宙年齡有限（137億年）

並非甚麼都有可能

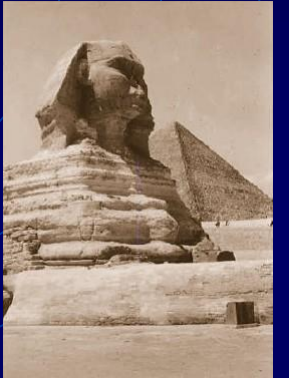
某件事...很可能、可能、不太可能、絕無可能...

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——如何證明「沒有」？



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

哈伯定律

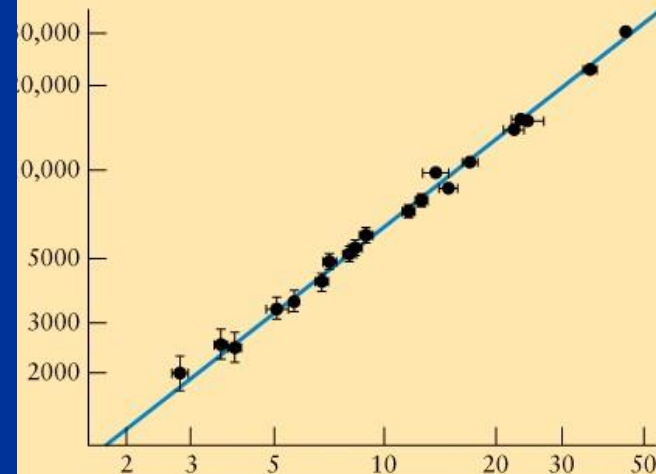
宇宙微波背景輻射 充斥在太空中，支持宇宙始於一團高熱
(大霹靂)

輕元素的宇宙含量 最老的天體氦元素仍占 25%

沒有發現「極其古老」的天體

原來這上下古今，稱做「宇宙」的東西居然有起點！

後退速度 (km/s)

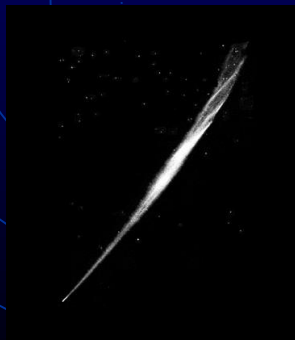
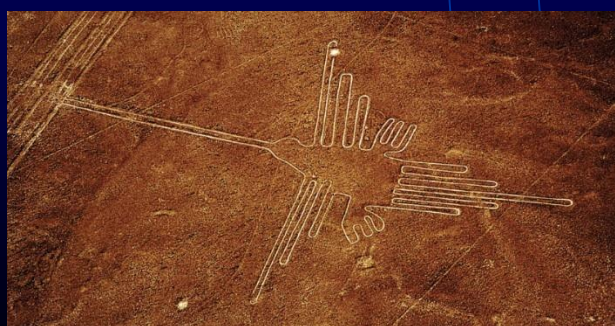
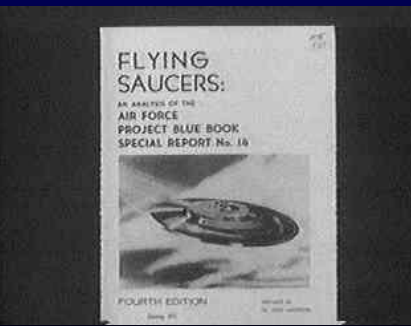


星系離我們距離 (3百萬光年)

他們已經來過了？還在這？



不明飛行物
(Unidentified Flying Objects)
空軍用語 UFOs → 幽浮



為什麼外星人這麼像人？
以「未知」解釋「未知」？

怎麼知道別的文明在發訊號呢？

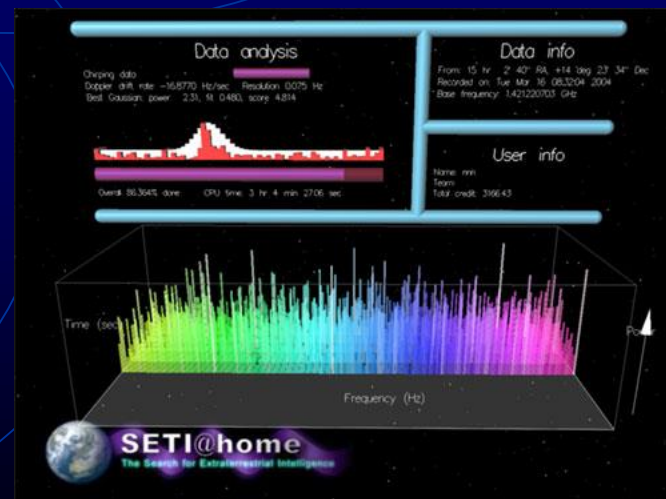
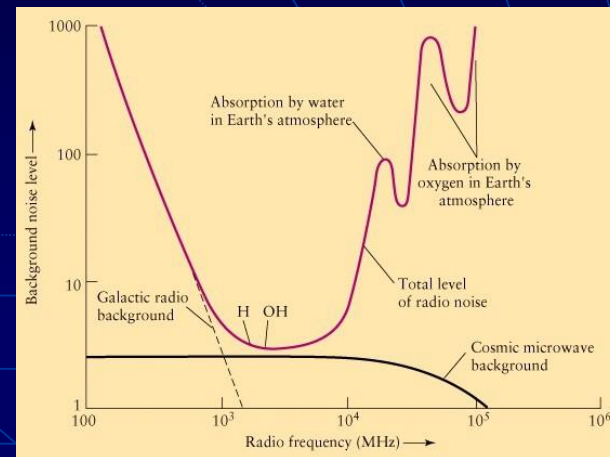
- SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) 計畫

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？

Eavesdropping

先要知道何謂「自然」訊號，才可能判斷是否「人為」訊號



到底聽到了什麼？

- 1977.08.15 --- The 'Wow!' signal 6EQUJ5
非自然、來自天外，但來源不明



Ohio State Univ. Big Ear Obs.

<http://www.bigear.org/6equj5.htm>

CH	ST	FREQ	SIG	P	CH	ST	FREQ	SIG	P	CH	ST	FREQ	SIG	P
----	----	------	-----	---	----	----	------	-----	---	----	----	------	-----	---

CH	ST	FREQ	SIG	P	CH	ST	FREQ	SIG	P	CH	ST	FREQ	SIG	P
1		05	1		1		05	1		1		05	1	
1		06	1		1		06	1		1		06	1	
1		07	1		1		07	1		1		07	1	
1		08	1		1		08	1		1		08	1	
1		09	1		1		09	1		1		09	1	
1		10	1		1		10	1		1		10	1	
1		11	1		1		11	1		1		11	1	
1		12	1		1		12	1		1		12	1	
1		13	1		1		13	1		1		13	1	
1		14	1		1		14	1		1		14	1	
1		15	1		1		15	1		1		15	1	
1		16	1		1		16	1		1		16	1	
1		17	1		1		17	1		1		17	1	
1		18	1		1		18	1		1		18	1	
1		19	1		1		19	1		1		19	1	
1		20	1		1		20	1		1		20	1	
1		21	1		1		21	1		1		21	1	
1		22	1		1		22	1		1		22	1	
1		23	1		1		23	1		1		23	1	
1		24	1		1		24	1		1		24	1	
1		25	1		1		25	1		1		25	1	
1		26	1		1		26	1		1		26	1	
1		27	1		1		27	1		1		27	1	
1		28	1		1		28	1		1		28	1	
1		29	1		1		29	1		1		29	1	
1		30	1		1		30	1		1		30	1	
1		31	1		1		31	1		1		31	1	
1		32	1		1		32	1		1		32	1	
1		33	1		1		33	1		1		33	1	
1		34	1		1		34	1		1		34	1	
1		35	1		1		35	1		1		35	1	
1		36	1		1		36	1		1		36	1	
1		37	1		1		37	1		1		37	1	
1		38	1		1		38	1		1		38	1	
1		39	1		1		39	1		1		39	1	
1		40	1		1		40	1		1		40	1	

Wow!

SCOMP

Aug 15, 1977

1977.08.15 @1420 MHz

30 times stronger than the cosmic background noise

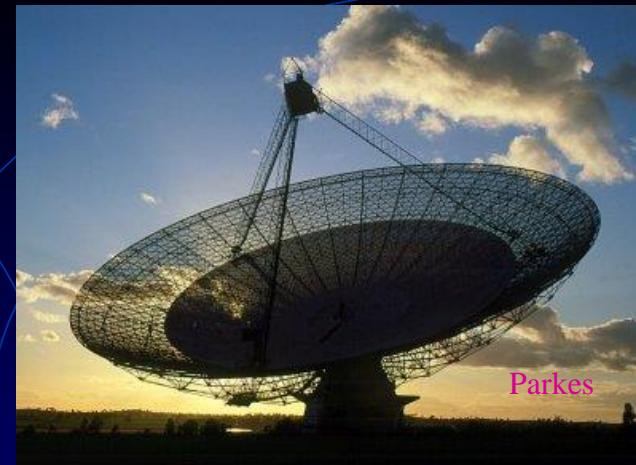
Wow!

CH	ST	FREQ	SIG	P	CH	ST	FREQ	SIG	P
1		21	1		1		21	1	
1		16	1		1		16	1	
1		11	1		1		11	1	
1		6	1		1		6	1	
1		24	1		1		24	1	
1		10	1		1		10	1	
1		31	1		1		31	1	
1		14	1		1		14	1	
1		3	1		1		3	1	
1		4	1		1		4	1	
1		4	1		1		4	1	
1		1	1		1		1	1	
1		1	1		1		1	1	



Project Phoenix 鳳凰計畫

<http://www.seti.org/science/ph-bg.html>



MCSA complex amplitude
subband 2001 frame
BF -3 110419.5 Hz
right 1 Hz
mean pwr = -0.245613

MCSA superband	SCS 10 MHz	File
MCSA band	SCS 50 kHz	Help
MCSA complex	SCS 350 Hz	Print
MCSA waterfall	MCSA all subs	Quit

-30 dB

這是來自Pioneer 10的訊號
我們聽到了自己這個文明

- 1995.02 開始
- 南北半球天線定點監聽
- 還真聽到了！

2004.03 → 監測了鄰近太陽 (< 200光年) 800顆類似太陽的恆星，尚未發現ET訊號

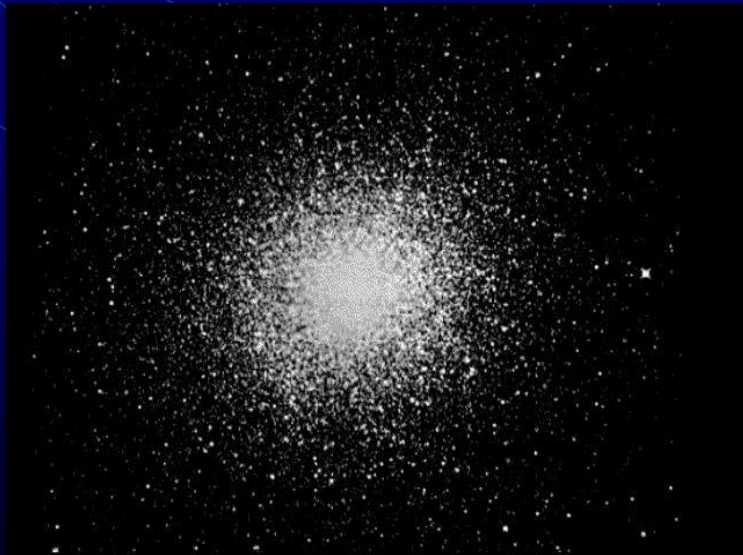
我們也可以 call 它們

1974.11.6

Arecibo antenna in Puerto Rico
($D = 300$ m)

10^6 W @ 2.38 GHz (width 10 Hz)

To globular cluster M13 25,000 ly
away, with 300,000 old stars



在問別人之前

What/who/where are you?

先問自己

What/who/where are we?

Arecibo message (by F. Drake, C. Sagan et al.)

1679 “zeros” and “ones”;
transmitted at 10 bits/s; duration < 3 min

1679: a semiprime = a prime number × a prime number

```
000000101010100000000000010100000101000000100100010001000100101100101010101010101010100100100
000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000000101010000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
111110111110111110111110000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000010000011000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000100000011000000010000000110000110000001000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000110001000011000000000110000110000001000000010000001000000000000000000000000000000000000000000
010000000011000000001000100000000010000000100000010000001000000010000000100000000000000000000000000
000011000000001100000000010001110101100000000000100000001000000000000000000000000000000000000000000
0010000101110100101101100000010011100100111111011100001110000011011100000000010100000111011
001000000101000001111110010000001010000011000000100000110110000000000000000000000000000000000000000
0011100000100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000001111100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
001101000000000101100000110011000000011001100001000101000001010001000010001001000100100010001000
000001000010000100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
```

Will they understand it?

If we receive this, will we understand it?

Numbers of 1 to 10

Atomic number of key biological elements

Formulas for sugars and bases in nucleotides of DNA

If ... civilization there

If equipment sensitive

ix of DNA.

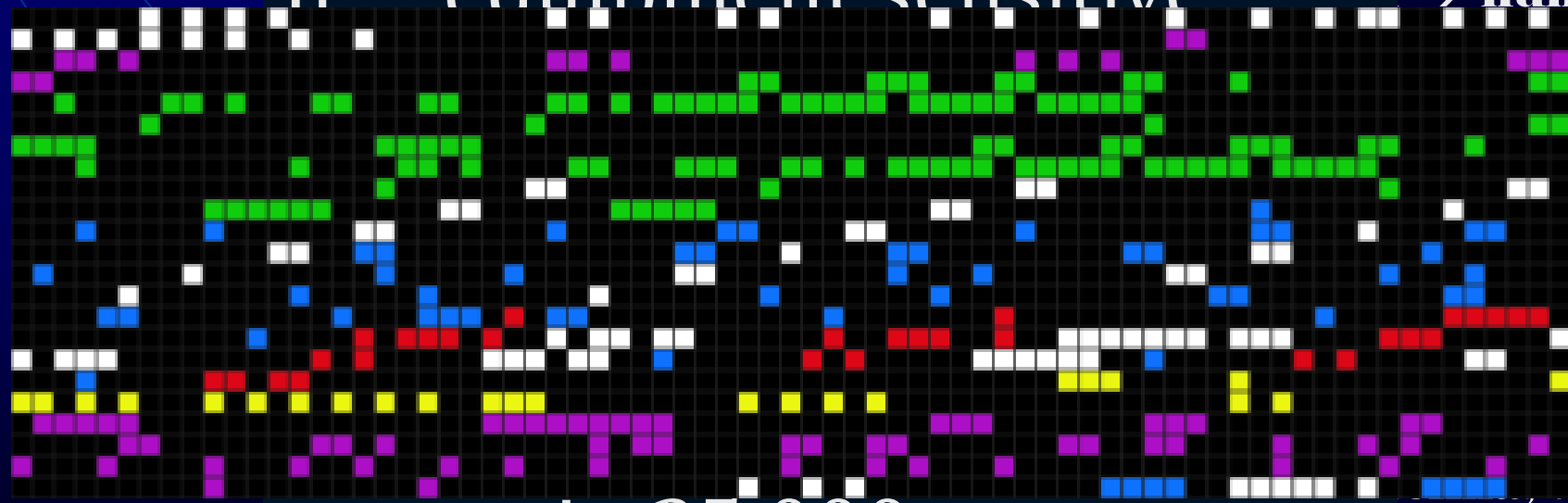
→ number of

A

ght of
pulation

Earth

with



if 23 × 73 ... scrabbling

in 25,000 years

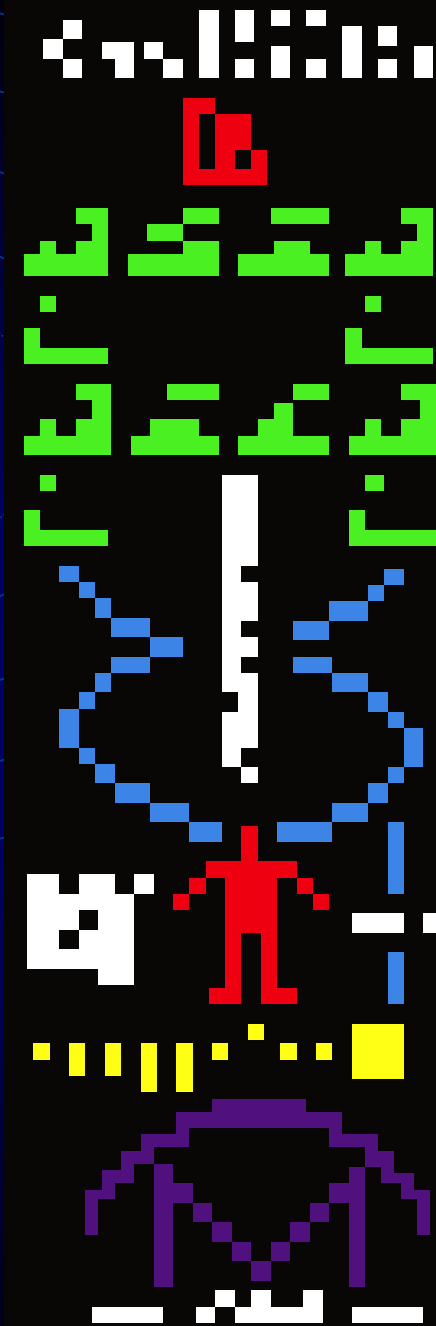
if 73 × 23

Making sense

Life

Space

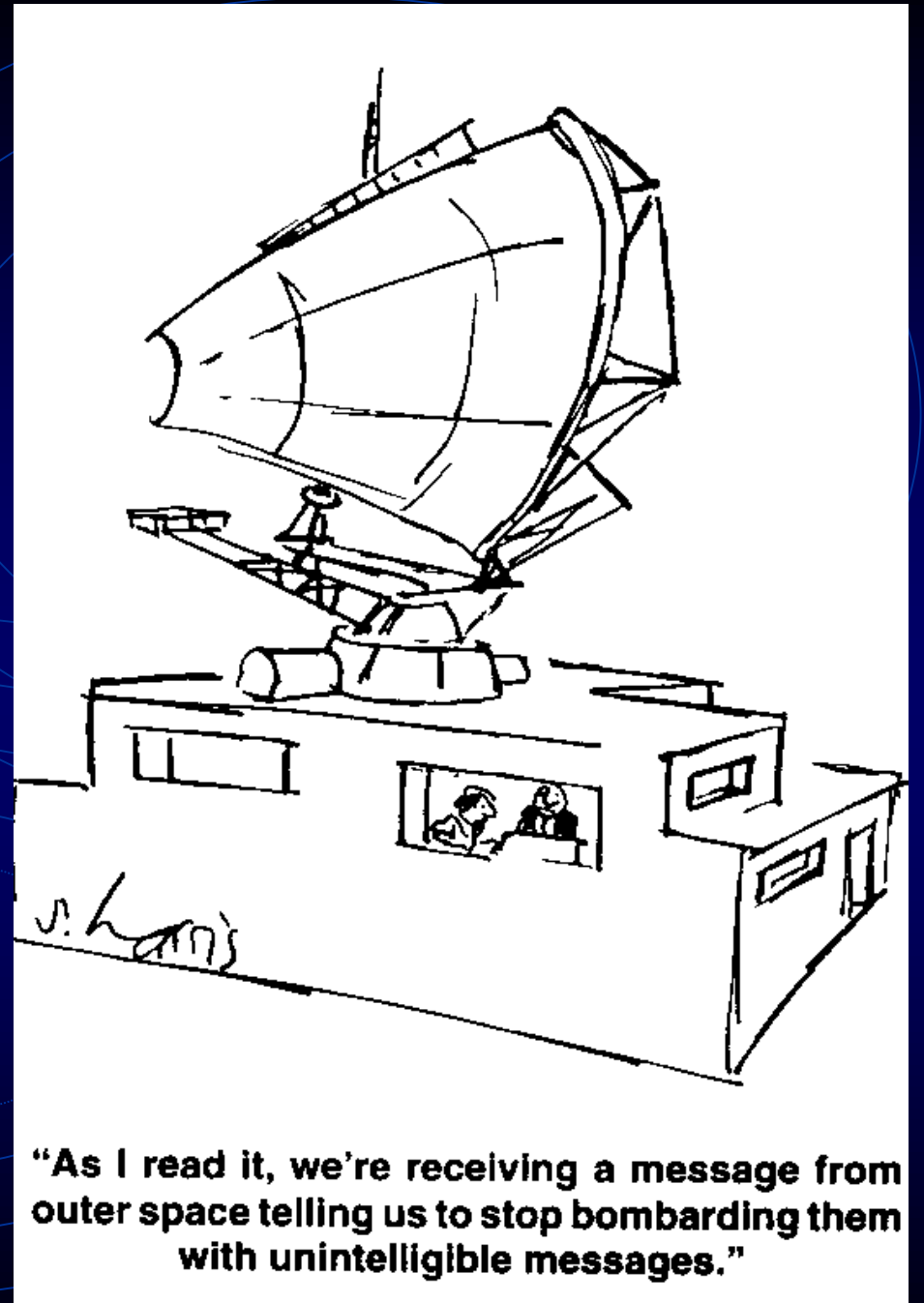
Search



地球文明的廣播、電視、 手機訊號已經出去了...



By Sydney Harris

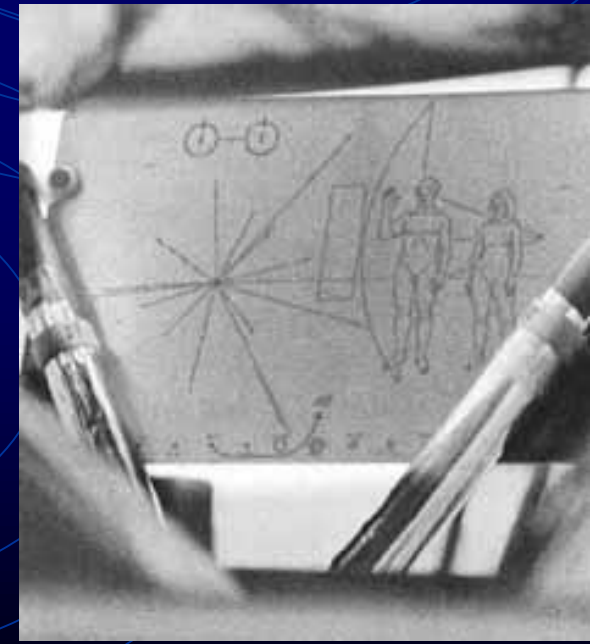
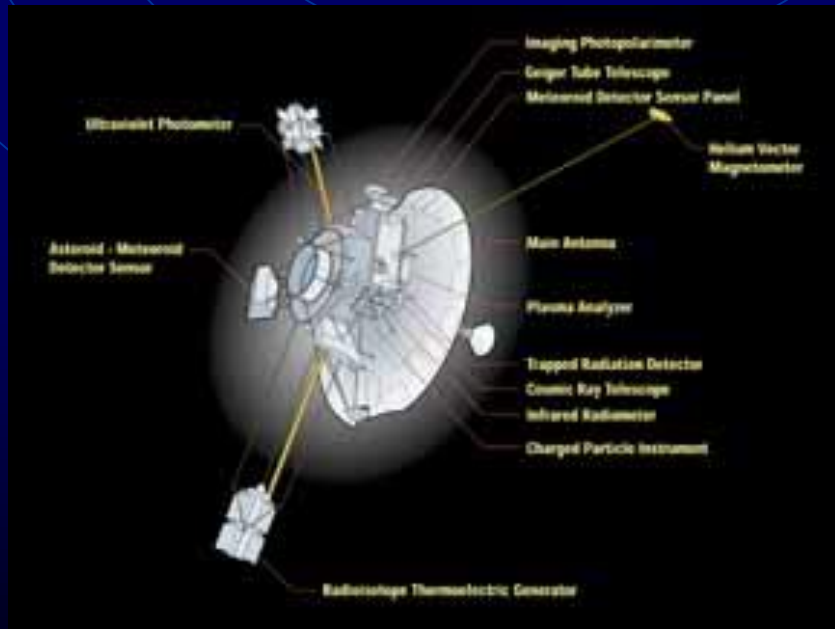


Message out in a bottle

瓶中信

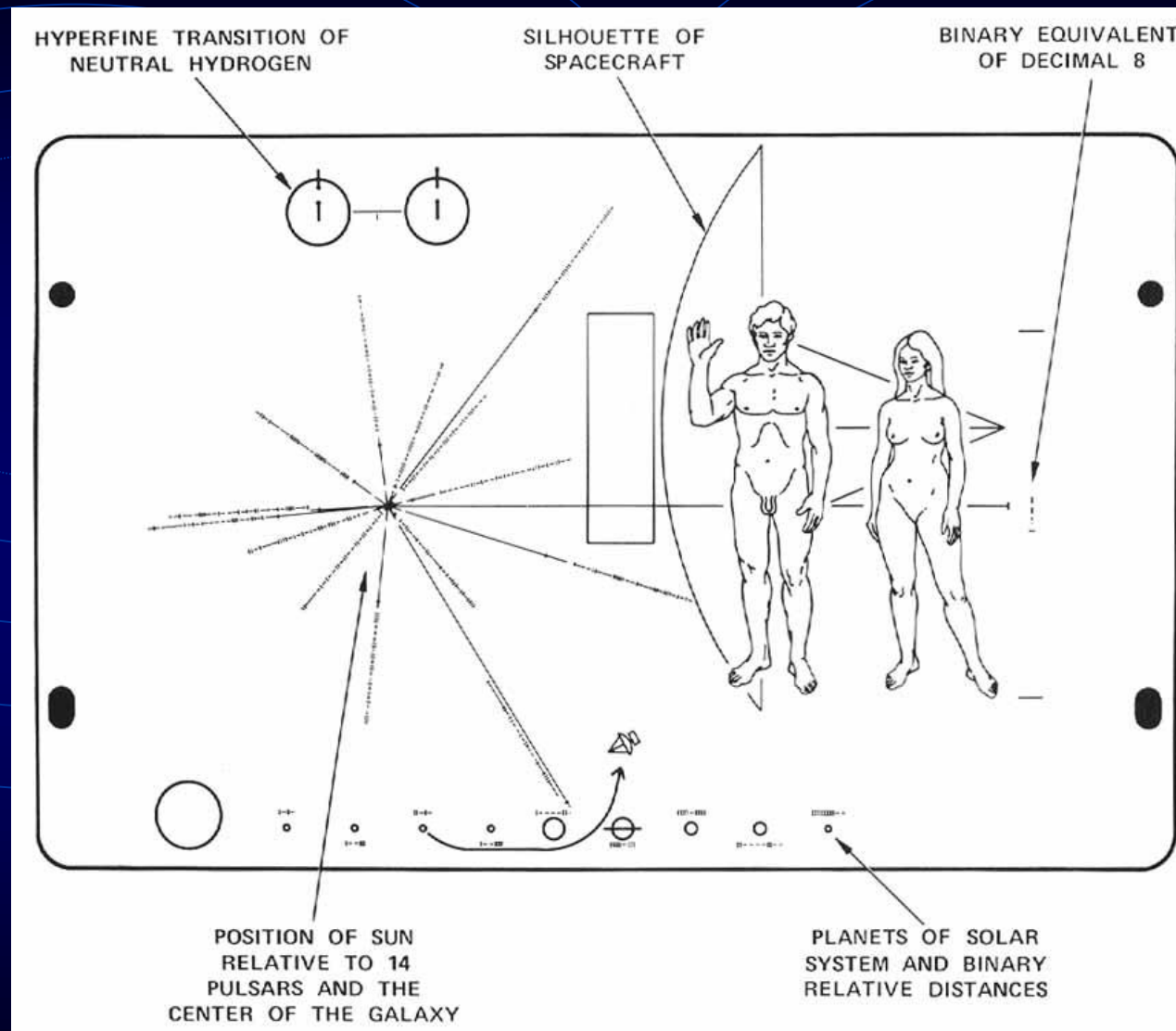
- Onboard *Pioneer 10* (1972) and *Pioneer 11* (1973) 6" × 9" (15.2 cm × 22.8 cm) plaques (0.13 cm thick), designed by C. Sagan & F. Drake

“Who we are, where we live, when we live, how much we know ...”



氫原子的超精細結構 觀景的太空船身 相當於8的二進位碼

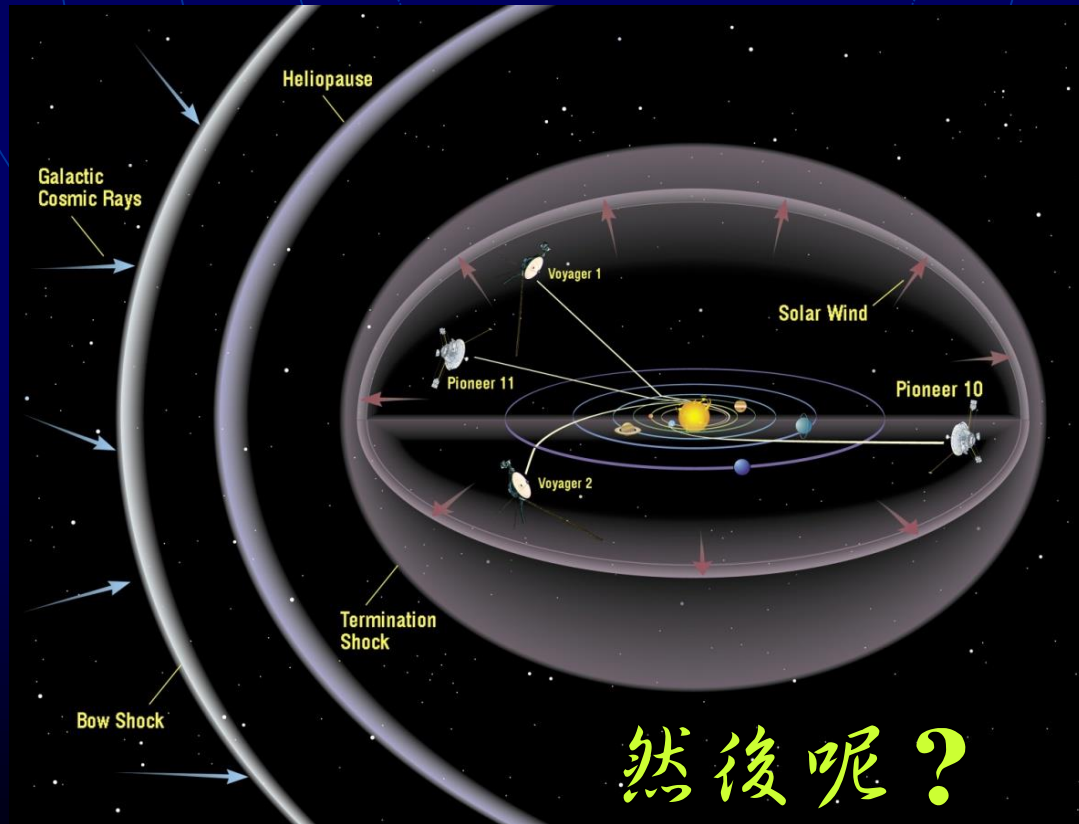
太陽相對於 14 顆
脈衝星及銀河系中
心的位置



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
- 億萬年後說不定會被外星文明找到（也就是「說不定不會」的意思）



- *Pioneer 10* was swung by Jupiter to fly outwards, and will reach a “nearby” star toward Taurus in 100,000 years
- Will it be picked up by a civilization? Will they understand our message? Will they look for us? Will we be around if and when they do?

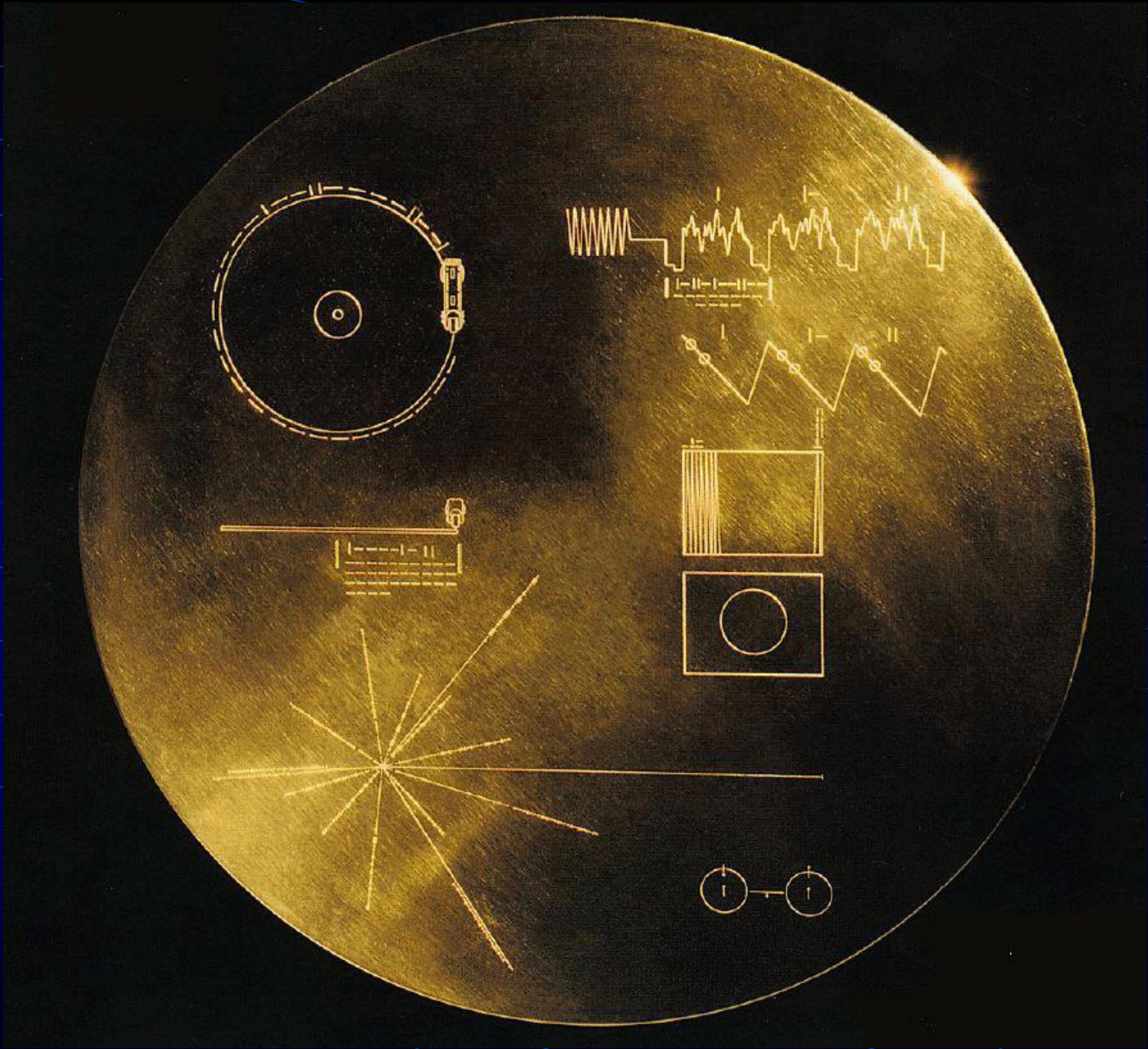
人類的足跡 II

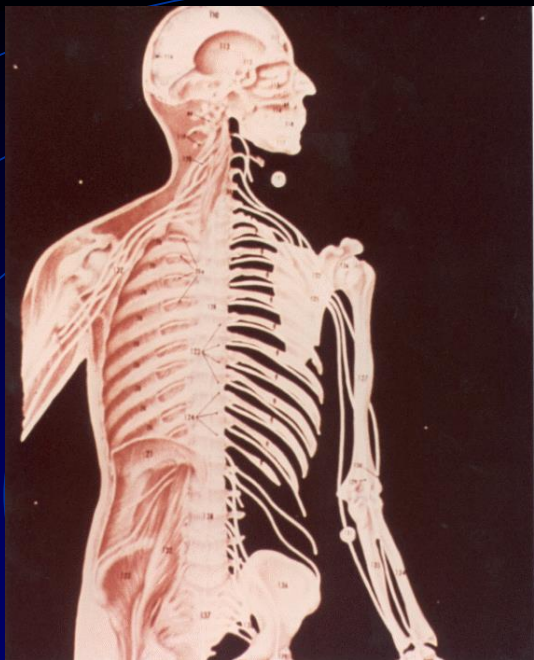
- Voyager 1 及 Voyager 2 (late 1970s) 上的唱盤
(正在離開太陽系~~)
- 2 吋直徑的銅盤，裝在鋁盒中，內有116 張圖像；用 55 種語言問好；各種地球上的聲音（天然的或人工的）；27 種音樂（古典、搖滾、非洲土著民謠等）

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

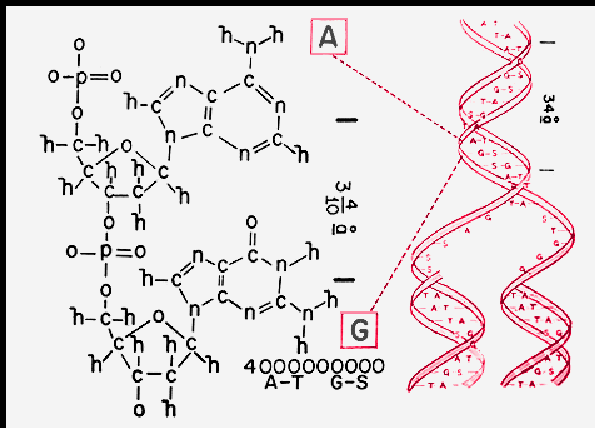
[in Chinese](#), [French](#), [English](#), [Spanish](#), [Japanese](#), [Korean](#) ...

- 表面甚至電鍍了鈾238

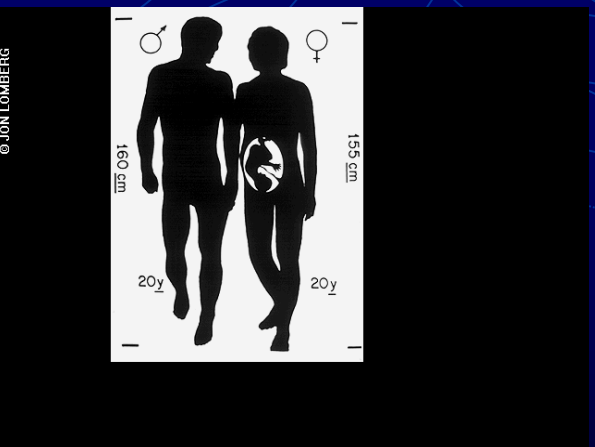




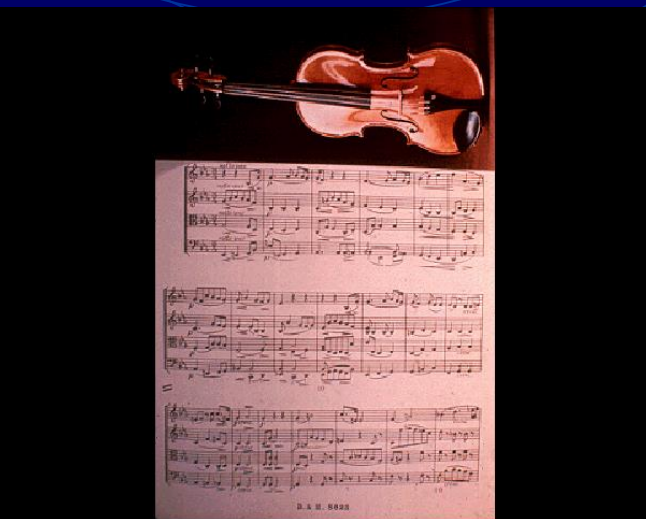
© JON LOMBERG



© JON LOMBERG



© NATIONAL ASTRONOMY AND IONOSPHERE CENTER



人類的足跡 III

◆ Breakthrough Listen

到2019年6月為止，在160光年之內（1,327顆星）沒有發現任何可能的訊號。
繼續10年，電波監測一百萬顆星，以及一百個星系，繼續找尋來自文明的訊息

◆ Breakthrough Watch

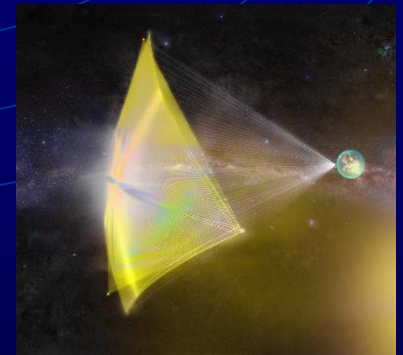
在地球周圍20光年內的恆星尋找有「生物標記」的類地行星

◆ Breakthrough Starshot

以雷射加速配有光帆的「超微太空船」，預期數十年內能夠以時速超過一億公里（光時速10億公里），前往南門二星（> 20年）

◆ Breakthrough Message

討論如何跟外星文明以數位資訊（數學、物理學、語言學、心理學）溝通（介紹地球、文明）。
真要嗎（科學、政治、社會、宗教）？



□ 完全沒有證據顯示外星人來過地球

「宇宙那麼大、時間那麼長」外星生物有很多種可能，
即使來了，我們多半認不出來 (生化) 機器人？

□ 不能把無法解釋的現象，都推給外星人來地球搞鬼

□ 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

□ 在其他天體看到「風吹草地見牛羊」的感動

VS

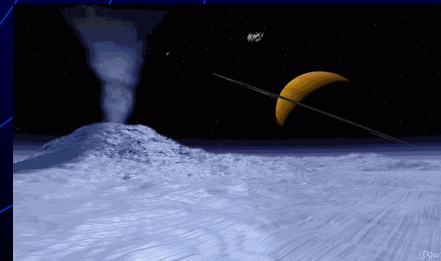
接收到第一筆「外太空訊號」的震撼與恐懼

其他世界最原始的生命一樣動人心弦！

外星生命當然存在，
我們就是～

結論

- ✓ 科學家從未停止想像，且盡力實踐想法（找了不少行星；了解生命）
科學家想辦法證明自己對 狂想者等着別人證明他錯
- ✓ 科學以嚴謹手段解決特定問題（哪些行星適合生命發展）
科學並非萬能，但是態度與方法很有用（看看四周）
- ✓ 追求科學真理的過程，其精彩程度絕不下於奇幻小說
- ✓ 連江湖郎中都必须多讀書、多思考！
- ✓ 有外星生物不奇怪；就是因為目前沒找到，才讓人納悶！
- ✓ 避免以「未知」解釋「未知」！
- ✓ 學而不思則罔；思而不學則殆



繼續尋找吧！

永保好奇的心 然後理性批判

繼續找吧 ~
找其他人 找下個家

找了
不見得找得到

但是不找
必定找不到

