

Welcome to the Universe!

课堂讨论：天文学的疆域 - 画示意图标明各级研究对象的空间尺度 2

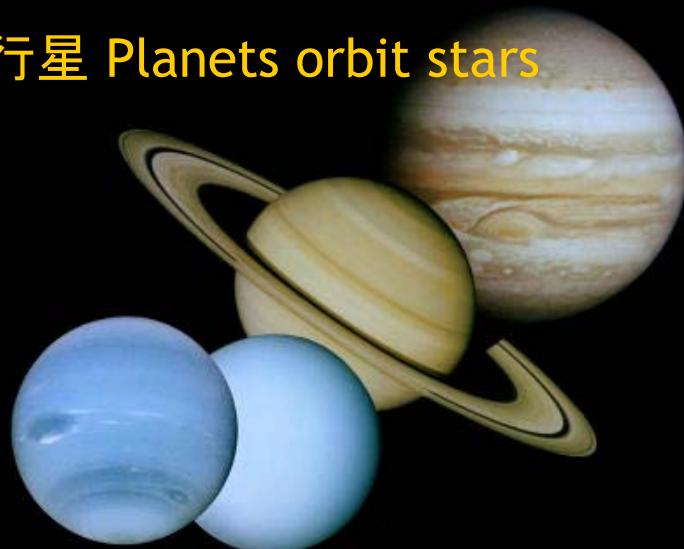


天文学的研究对象

3. 恒星 Stars and 恒星系统
star systems orbit the centers
of galaxies



2. 行星 Planets orbit stars



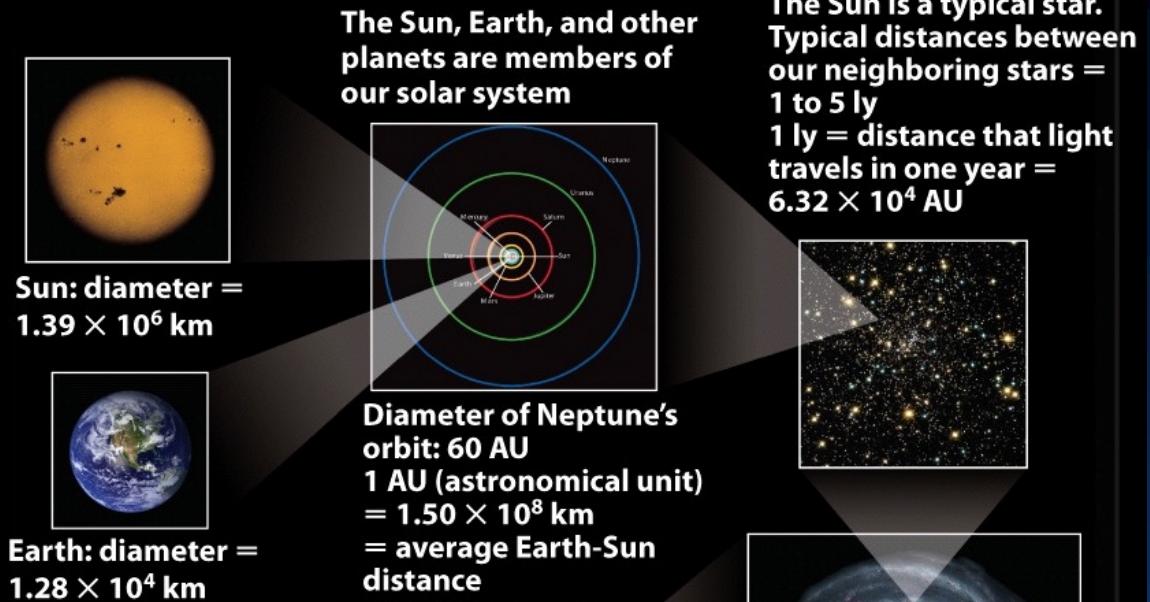
4. 星系 Galaxies orbit each
other in 星系团
clusters.



1. Moons 4
orbit planets



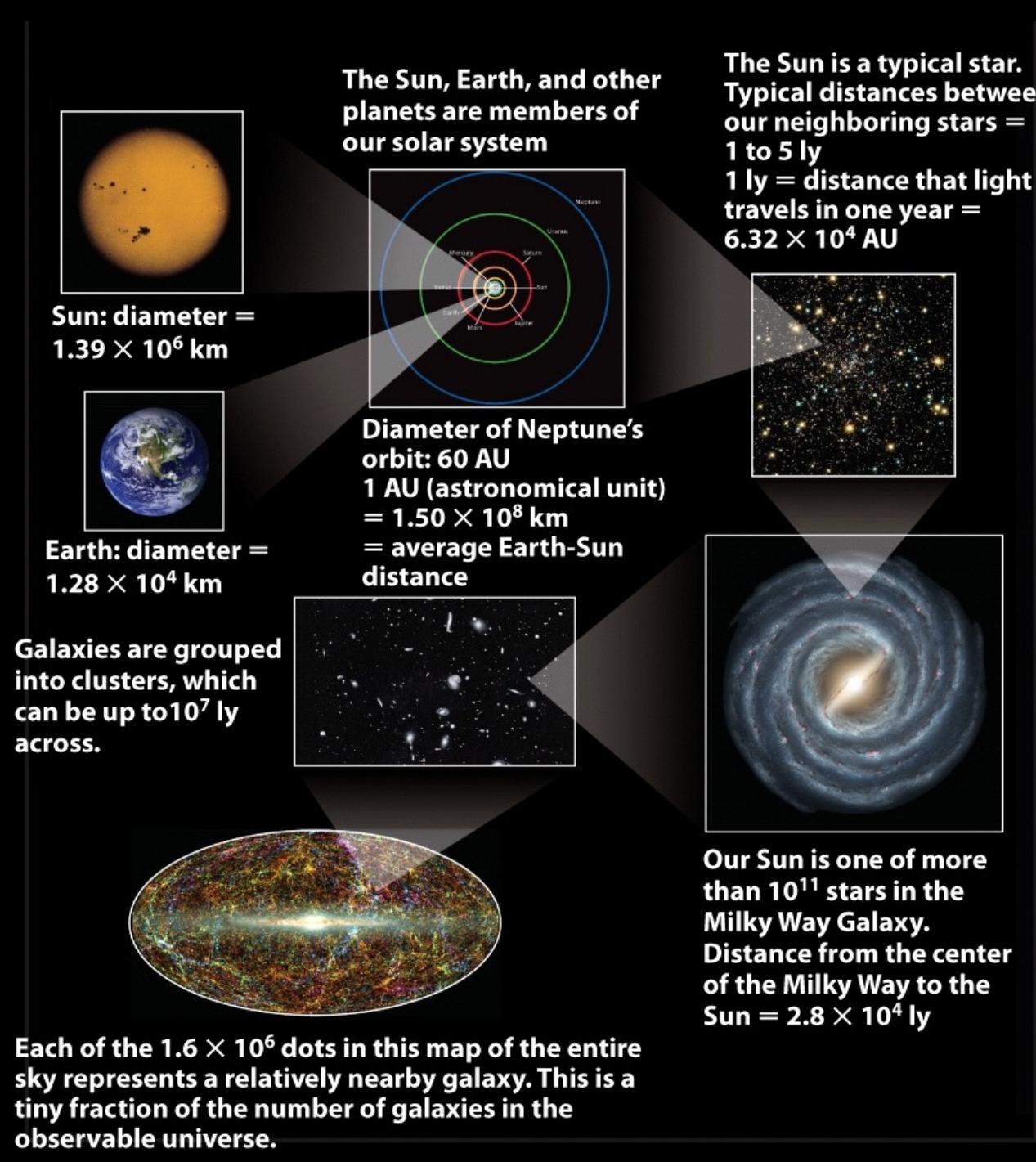
宇宙有多大？(上)



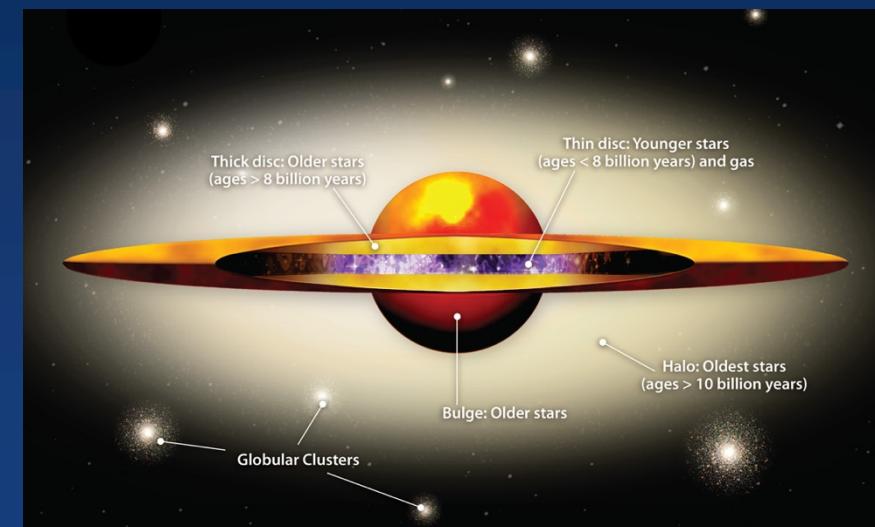
- Assume 1000 pixels in a photo, 0.12 pixel (地球)
- 上图总共可见距离为 $6371\text{ km} \times 2 / 0.12\text{ pixel} \times 1000\text{ pixels} \sim 10^9\text{ km}$ (billion km)
- 这是日地距离 (1 AU, 一个天文单位 = 1.5×10^8 km) 的 6.7 倍
- 距离太阳最近的恒星是半人马座比邻星 (即《流浪地球》的目标星)，距离 $\sim 6 \times 10^4$ AU
- 不能够在一张图片里表示出来，我们需要更大的距离计量单位：1 light year 光年 = $3 \times 10^5\text{ km/s} \times 3 \times 10^7\text{ s} = 9 \times 10^{12}\text{ km} \sim 6 \times 10^4$ AU
- 因此半人马座比邻星距离我们约 1 光年

宇宙有多大？(下)

- 半人马座比邻星距离太阳 : 1 光年
- 创生之柱 (星云一部分) 距离 : 6,500 光年
- 太阳距离银河系中央 : 2.8×10^4 光年
- 可观测宇宙半径 : 465亿光年



A diagram for a typical spiral galaxy



from universetoday.com

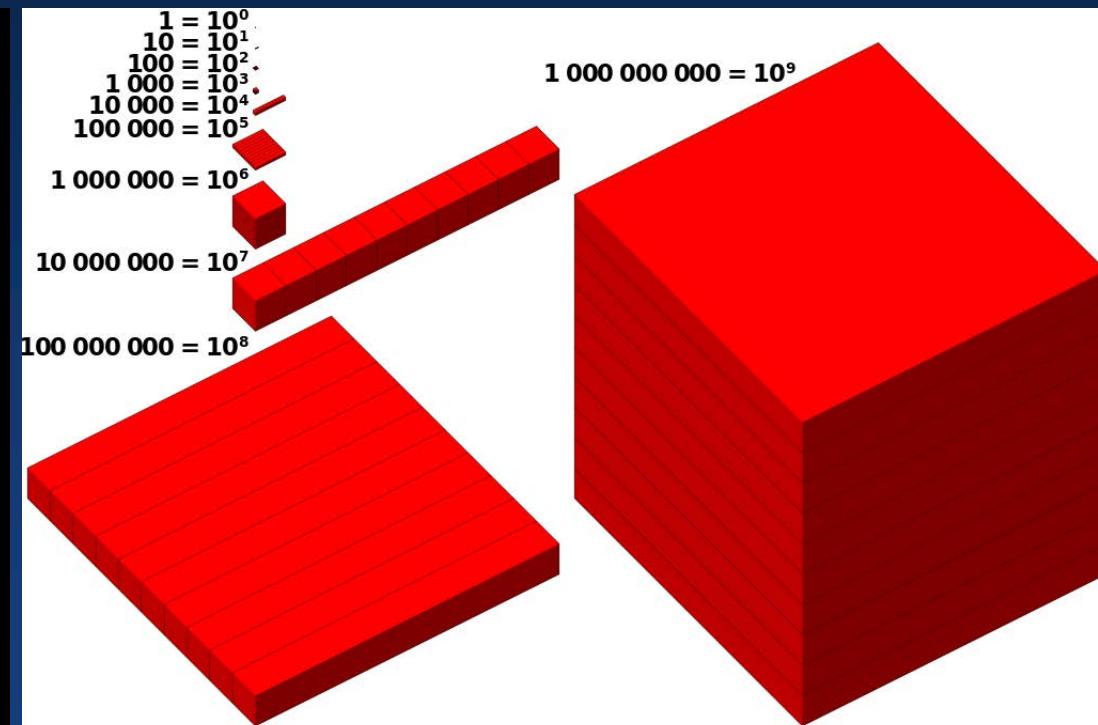
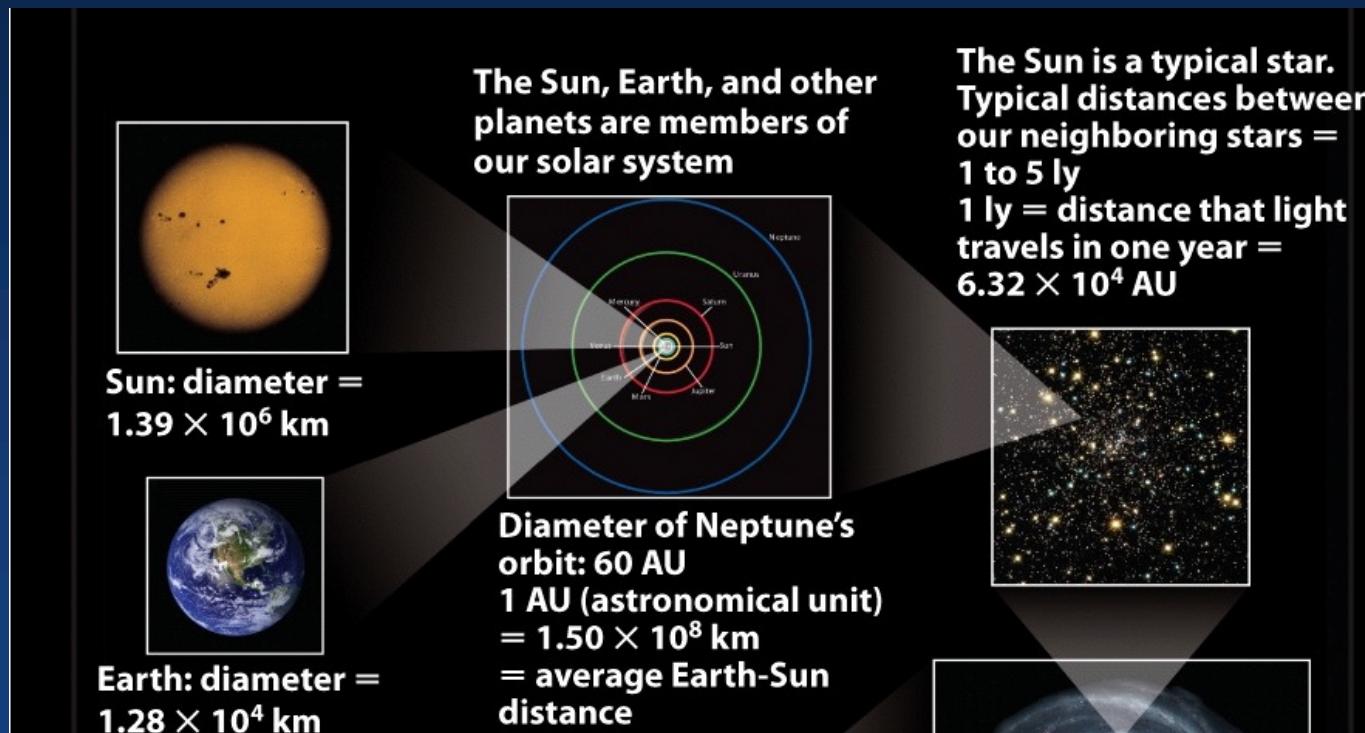
想象宇宙的长度 from 10^0 ~ 10^9

7

- 地球~ 10^4 km
- 太阳直径 ~ 10^6 km
- 日地距离 1AU~ 10^8 km
- 海王星距离 ~ 60AU
- 比邻星距离 1ly~ 6×10^4 AU

- 拳头~10 cm
- 住宅~100 m²
- 澳科大校园~1 km²
- 珠海面积~ 10^3 km²
- 地球直径~ 10^4 km

- 拳头~ 10cm
- 澳科大校园~ 1 km²



~~galaxy~~~~Universe~~~~100 billion~~~~orbit~~~~Earth~~~~solar system~~~~Jupiter~~~~moon~~~~planets~~~~star~~~~Sun~~

The Sun is a _____ located at the center of our _____. Our home, called _____, is one of 9 planets that orbit around the _____. Earth has one _____ that orbits around it each month, showing different phases. Some planets have many moons that _____ around them.

_____ is the largest planet in the Solar System and has 64 moons! Our sun is one of about _____ stars contained in the spiral _____ we call the Milky Way. Astronomers are now discovering Jupiter-sized _____ that orbit around some of those distant stars. Outer space is even bigger yet because the Milky Way is only one of an estimated 100 billion (100,000,000,000) galaxies in the _____!

Structure of the Universe

~~galaxy~~
~~Universe~~
~~100 billion~~

~~orbit~~
~~Earth~~

~~solar system~~
~~Jupiter~~

~~moon~~
~~planets~~

~~star~~
~~Sun~~

The Sun is a star located at the center of our solar system. Our home, called Earth, is one of 9 planets that orbit around the Sun. Earth has one moon that orbits around it each month, showing different phases. Some planets have many moons that orbit around them.

Jupiter 木星 is the largest planet in the Solar System and has 64 moons! Our sun is one of about 100 billion stars contained in the spiral 漩涡 星系 galaxy we call the Milky Way. Astronomers are now discovering Jupiter-sized planets that orbit around some of those distant stars. Outer space is even bigger yet because the Milky Way is only one of an estimated 100 billion (100,000,000,000) galaxies in the Universe!

长度数量级

10

10^{26}	100 Ym	1×10^{10} light-years $= 10^{26}$ m = 100 Ym	我們離 類星體 的平均距離。
		93.0×10^9 light years $= 8.80 \times 10^{26}$ m = 880 Ym	可觀測宇宙 的直徑。
.....			
10^{53}	1×10^{29} Ym	1×10^{37} light years	哈勃定律預測包括不可觀測的宇宙大小。
$10^{10^{115}}$	$10^{10^{115}}$ Ym	$10^{10^{115}}$ megaparsecs $= 10^{10^{115}}$ m $= 10^{10^{115}}$ Ym	由概率论得出的离一个和我们所处的 可观测宇宙 体积和条件都完全相同的空间的距离。 [7][8]
$10^{10^{10^{122}}}$	$10^{10^{10^{122}}}$ Ym	$10^{10^{10^{122}}}$ Mpc $= 10^{10^{10^{122}}}$ m $= 10^{10^{10^{122}}}$ Ym	宇宙无边界理论的一种解说明的 暴胀 后宇宙最大尺寸。 [9]

- total number of elementary particles in the universe is around 10^{80} (Eddington number)
- A **googol** is the large number 10^{100} . In decimal notation, it is written as the digit 1 followed by one hundred zeroes:
10,000,000,000,000,
,000,000,000,000,0
00,000,000,000,000
,000,000,000,000,0
00,000,000,000,000
,000,000,000,000,0
00.

From Wikipedia

长度数量级

(m)	單位	值	事物
10^{-35}		$1.6 \times 10^{-35} \text{ m}$	普朗克長度。
		$1.62 \times 10^{-35} \text{ m}$	一個弦的長度。
.....			
10^{-24}	1 埃米 (ym)	20 ym	1 MeV中微子有效截面半径
10^{-21}	1 介米 (zm)		先子，理论上构成夸克和轻子的亚原子粒子；弦理论中宇宙弦宽度的上限。
10^{-18}	1 阿米 (am)	1 am	夸克跟電子大小最大限度。
			激光干涉引力波天文台所能偵測到最小的變量。
10^{-17}	10 阿米 (am)	10 am	弱交互作用的力程。
10^{-15}	1 飛米 (fm)	1.68 fm	質子的直徑。
		5 fm	標準的電子大小。
10^{-14}	10 fm	3-15 fm	原子核的大小。
10^{-13}	100 fm		
10^{-12}	1 皮米 (pm)	1 pm	白矮星裡原子核平均之間的距離。
		1.5 pm	伽馬射線的波長。
		2.4 pm	電子的康普頓波長。
		5 pm	硬X射線的波長。

第一講

歡迎來到宇宙：圖說天文學研究對象

1.1

我们将借由一些著名的宇宙学图像来展示：

- 天文学的研究对象
- 天文学的长度单位
- 天文学的时间尺度

藍色彈珠

13

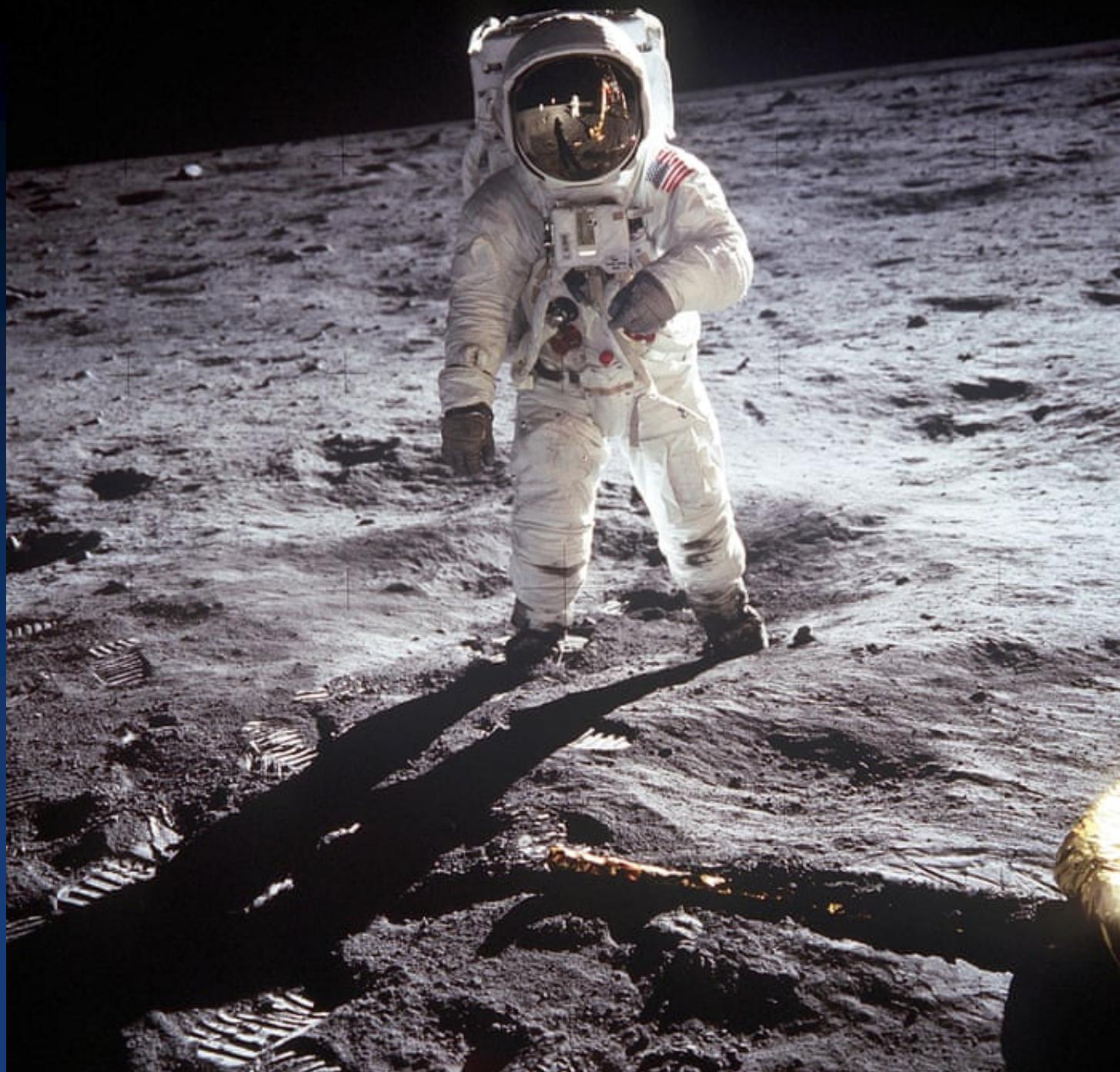


- The Blue Marble是一张在1972年12月7日由阿波罗17号太空船船员所拍摄的著名地球照片
- 微信的启动画面就是用了这张“蓝色弹珠”，人类最近一次在太空中远眺母星的景象。

地升 Earth Rise



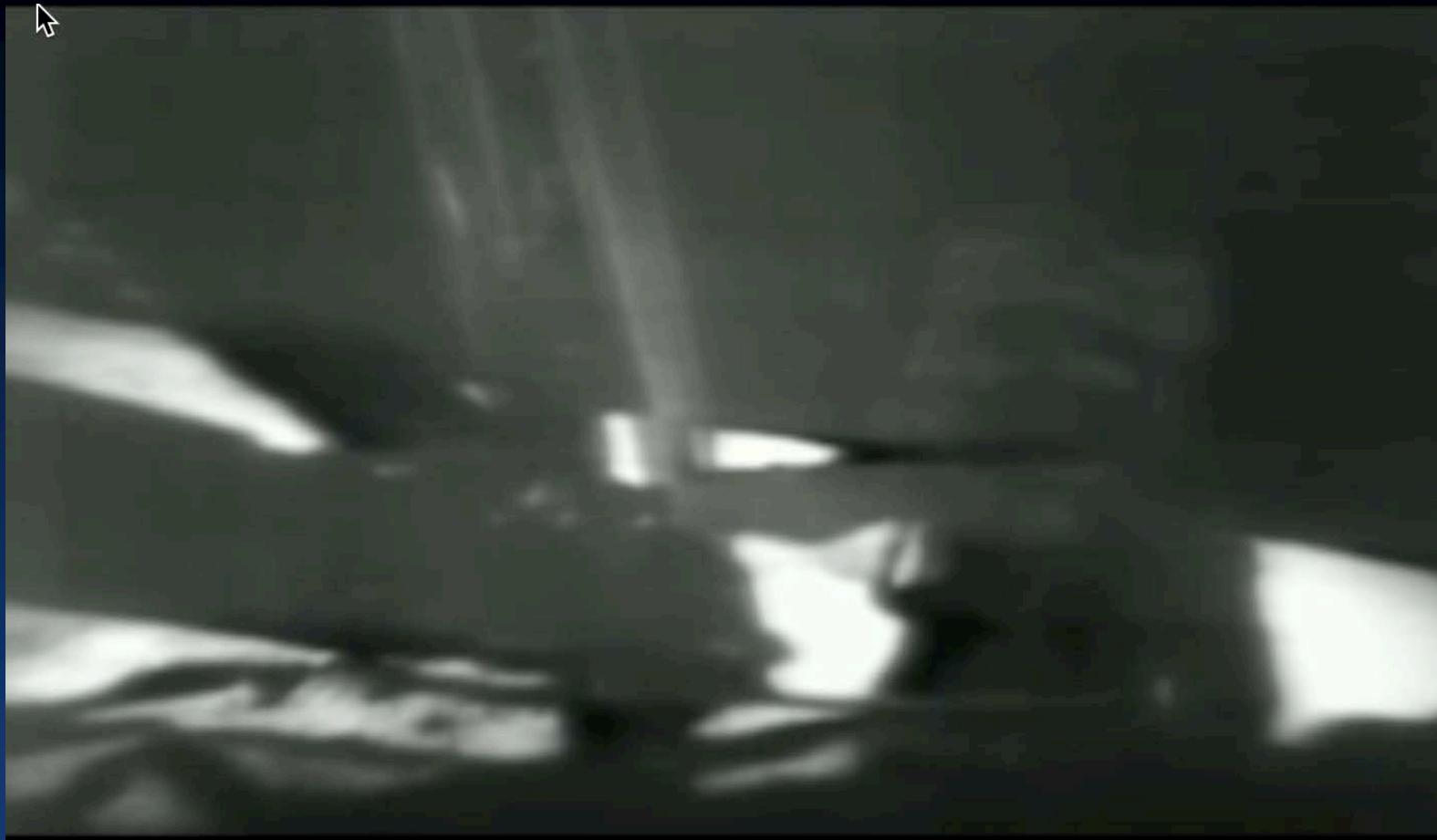
- **20 July 1969**
- One of the most iconic views of Earth, taken from the Apollo 11 spacecraft as it orbited the moon. Describing the scene, the astronaut Neil Armstrong said: 'It suddenly struck me that that tiny pea, pretty and blue, was the Earth. I put up my thumb and shut one eye, and my thumb blotted out the planet Earth. I didn't feel like a giant. I felt very, very small' | *This caption was updated on 11 April 2019 to correct the date the picture was taken*
- Photograph: Nasa
- From the Guardian, Compiled by [Eric Hilaire](#)



- **21 July 1969**
- Buzz Aldrin, the lunar module pilot for the first moon landing, poses on the lunar surface. The footprints of the astronauts are clearly visible in the soil. Neil Armstrong took the picture with a 70mm Hasselblad lunar surface camera
- Photograph: American Photo Archive/Alamy

Behind the Photo: 阿波罗登月, 1969–1972年

16



NASA Apollo 40th Anniversary Documentary

Neil Armstrong: “这是我个人的一小步，但却是人类的一大步”。



- **6 January 2004** The first colour image of Mars taken by the panoramic camera on the Mars Exploration Rover Spirit. It was the sharpest photograph ever taken on the surface of the planet
- Photograph: JPL/Nasa/AP

冥王星的“爱心”

18



- 24 July 2015
- A combination of images captured by the **New Horizons** space probe, with enhanced colours to show differences in the composition and texture of Pluto's surface
- Photograph: AP
- 冥王星表面的冰由氮，甲烷，和一氧化碳组成。
- “爱心” 主要由氮冰在盆地聚集形成。



木星大红班

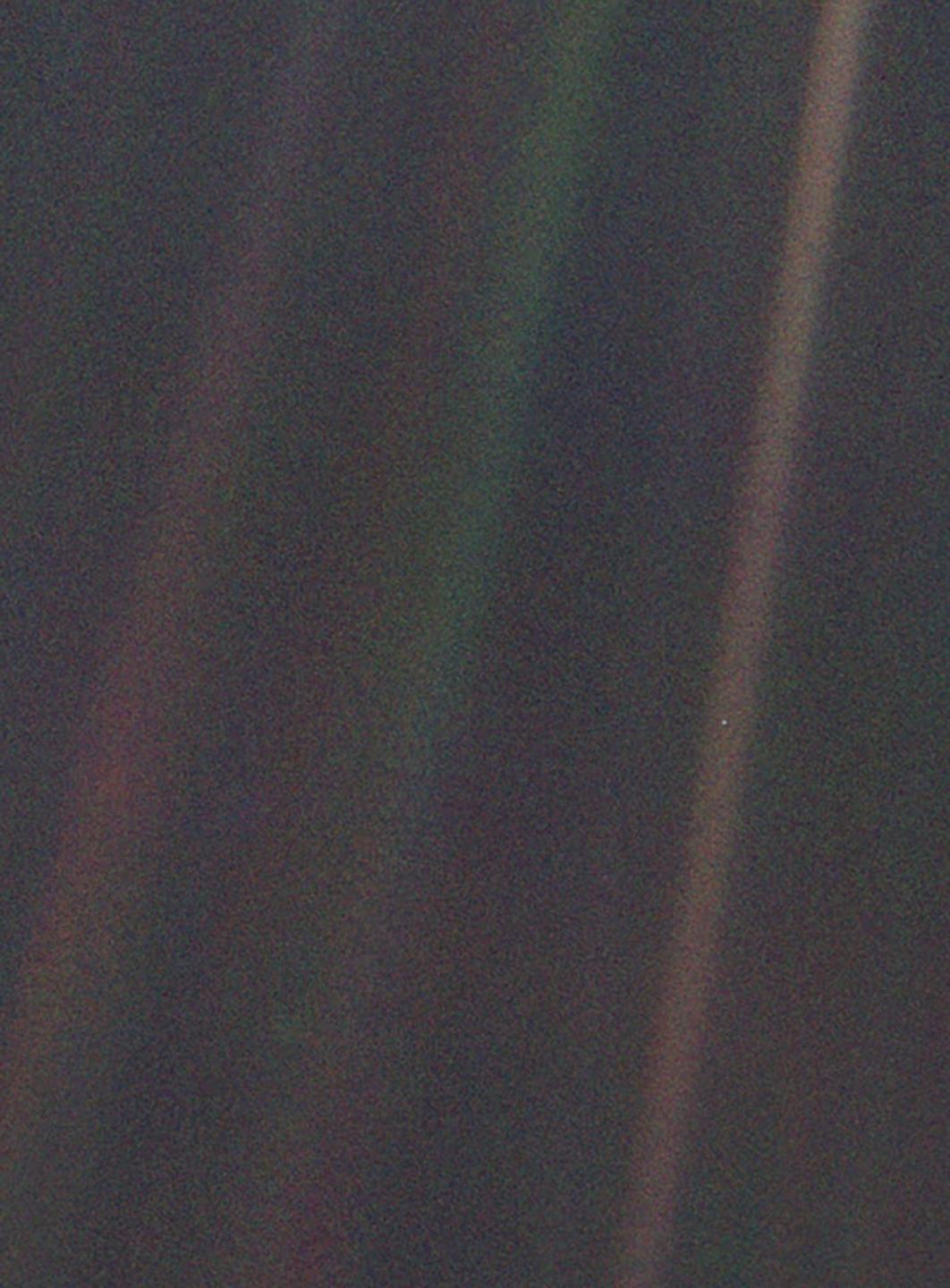
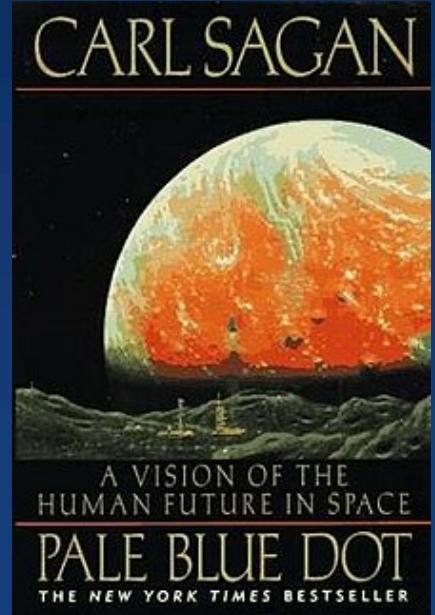
19

- 25 February 1979 by Voyager 1 (航行者 1 号), JPL/Nasa/UIG/Getty Images
- 巨大非常稳定的反气旋风暴
- 长达两个地球，自1665年-1713年間已有觀察的紀錄，表示它已经持续存在至少350年
- 週期大約是6地球日，或14個木星日
- 木星的大气成分主要是氢气和氦气 (1995年 , Galileo 伽利略 spacecraft)

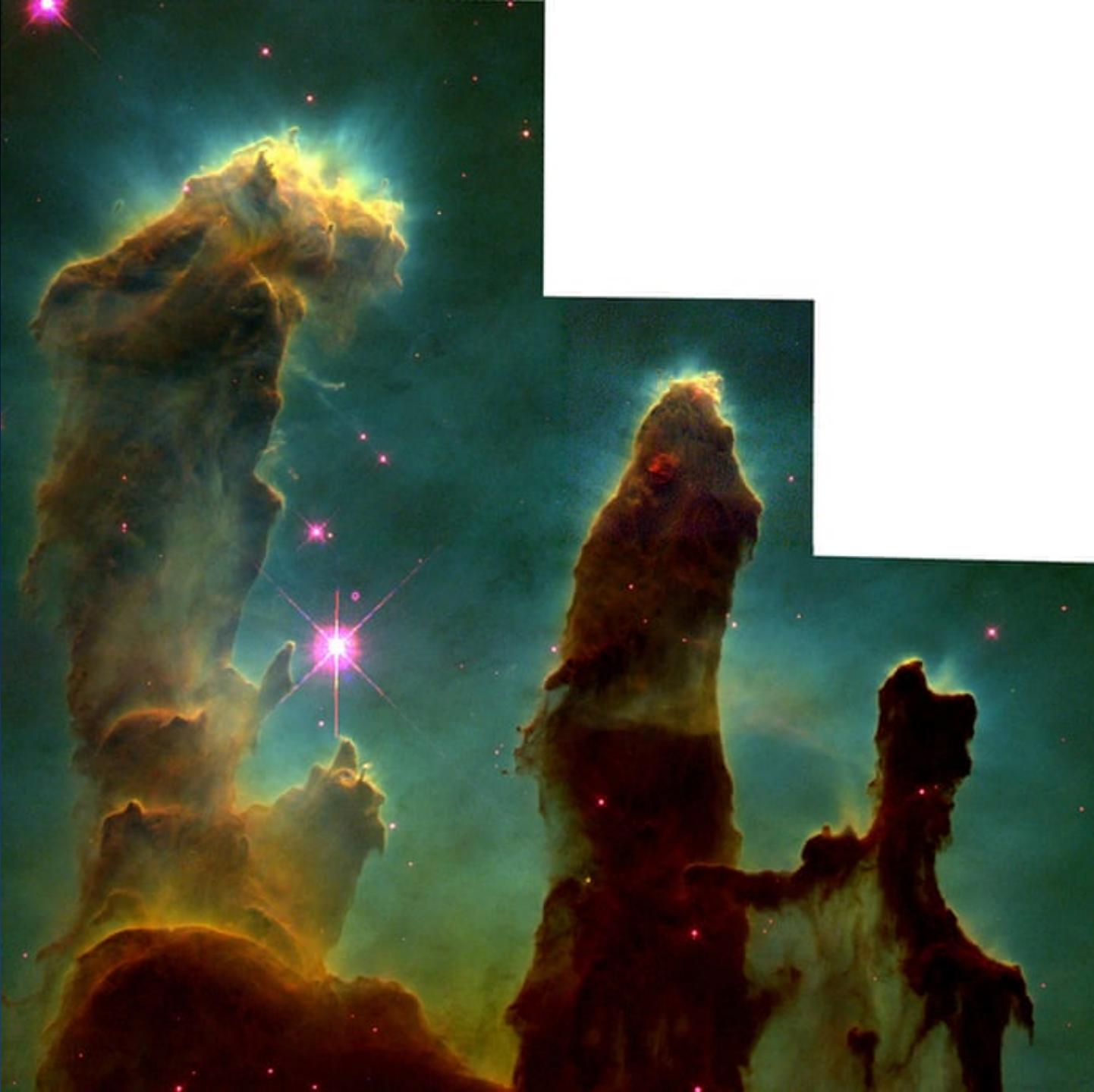
伽利略的贡献



- 发明望远镜
- 1610年发现了木星的四颗大卫星，叫做伽利略卫星。



- **14 February 1990**
- Often referred to as ‘the pale blue dot’ image, this picture was taken when Voyager 1 was 4bn miles (**6.4 billion km**) from Earth and 32 degrees above the ecliptic plane. Earth is a mere point of light, just **0.12 pixels in size** when viewed from that distance. The fuzzy light is scattered sunlight because Earth was close to the sun (from the perspective of Voyager)
- Photograph: JPL/Nasa

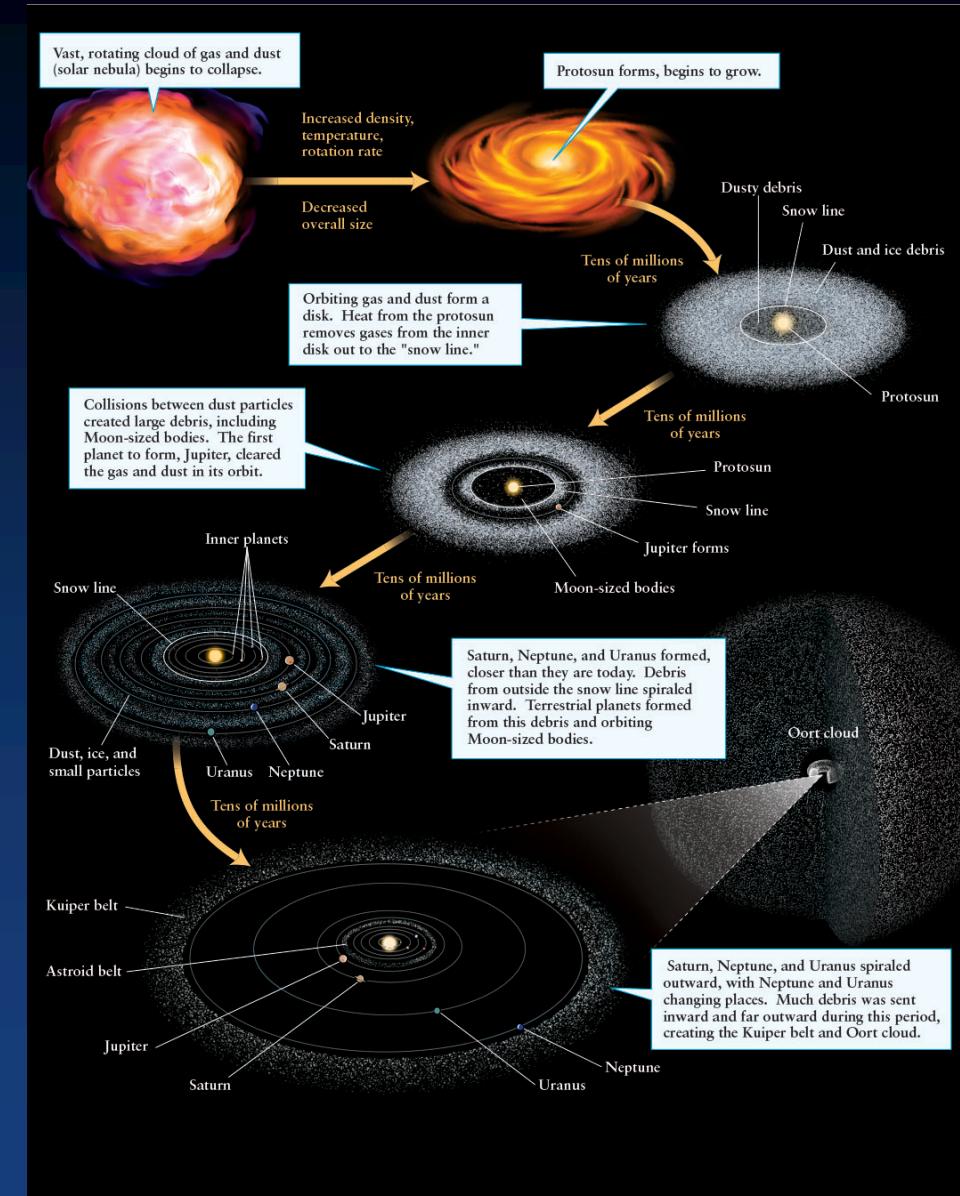
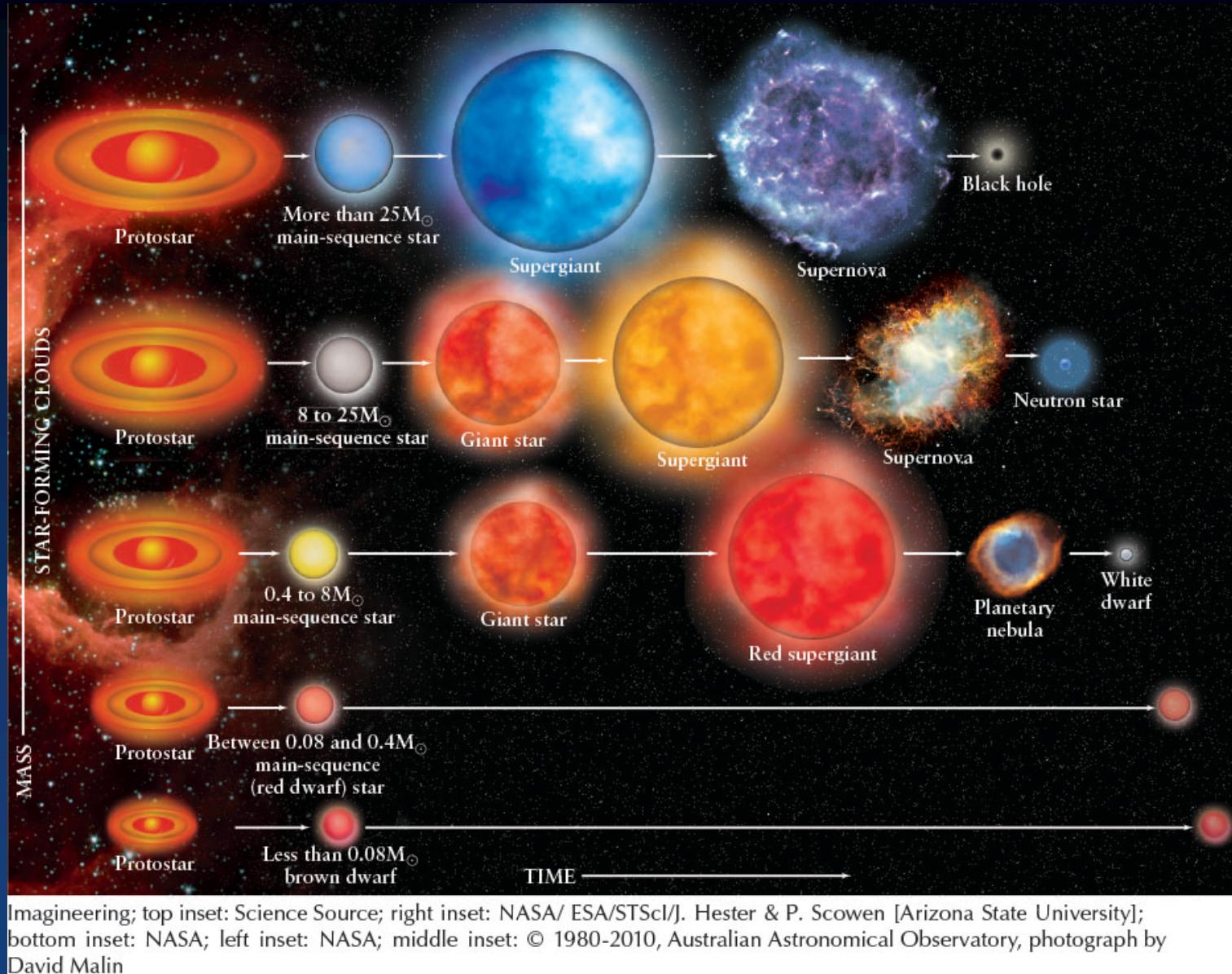


- 1 April 1995
- The ‘Pillars of Creation’ , a cluster of young, massive stars in a small region of the Eagle Nebula 老鹰星云 or M16, taken by the Hubble telescope. The star-forming patch of space is **6,500 light years** from Earth
- 长度 ~1 light year
- Photograph: Nasa/PA

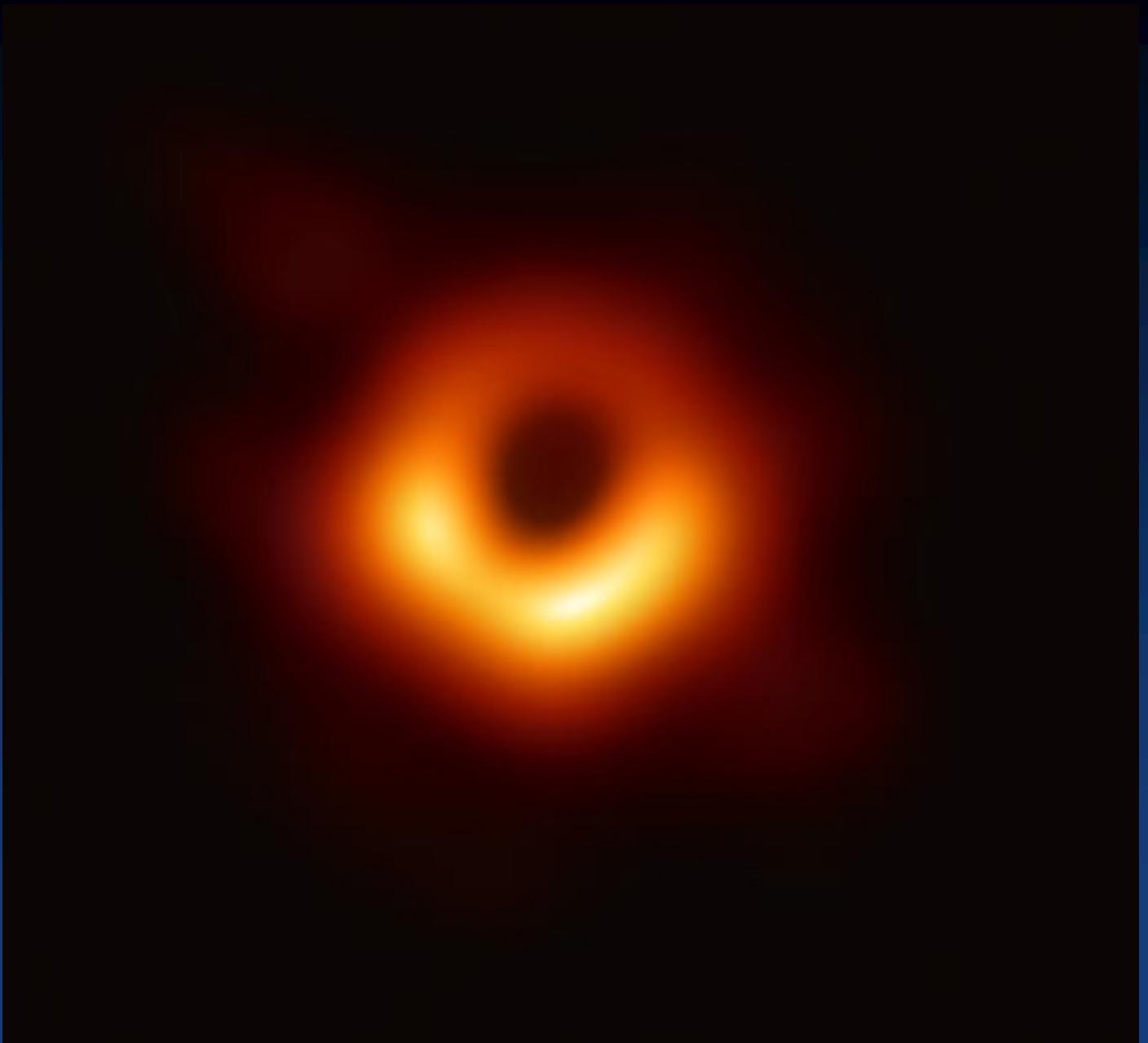


- **25 September 2012**
- Called the eXtreme Deep Field, or XDF, this photo was assembled by combining 10 years of Hubble space telescope photographs taken of a patch of sky at the centre of the original Hubble Ultra Deep Field. By collecting faint light over many hours of observation, the telescope revealed thousands of galaxies, both nearby and very distant, making it the deepest image of the universe ever taken at that time
- Photograph: Hubble space telescope/Nasa/ESA

恒星和星系演化



黑洞 “甜甜圈”

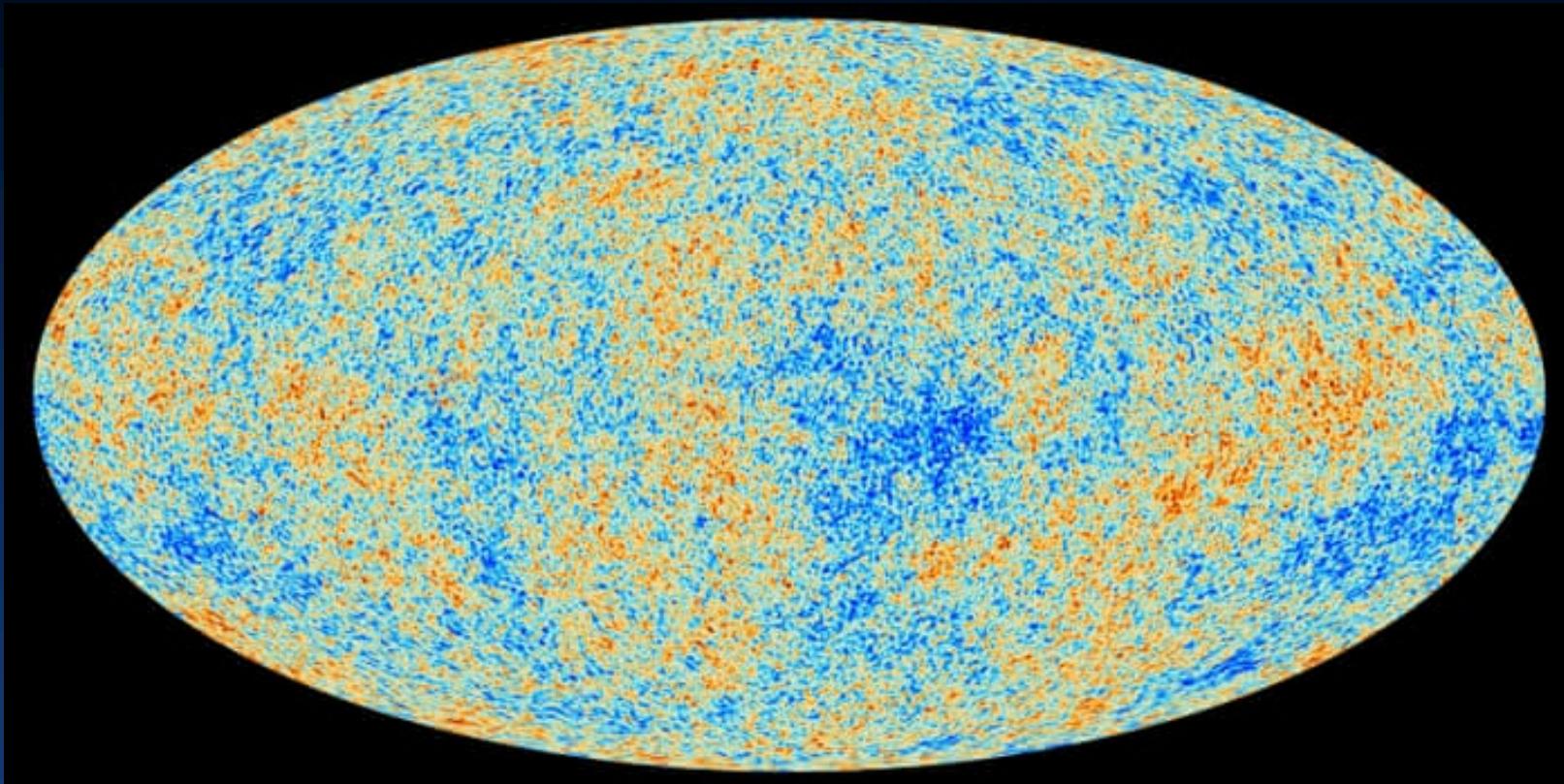


- 10 April 2019
- The first image of a black hole, captured by the Event Horizon telescope (EHT) – a planet-scale array of eight ground-based radio telescopes forged through international collaboration. The shadow of a black hole seen here is the closest we can come to an image of the black hole itself, a completely dark object from which light cannot escape
- Photograph: EHT Collaboration/UCL



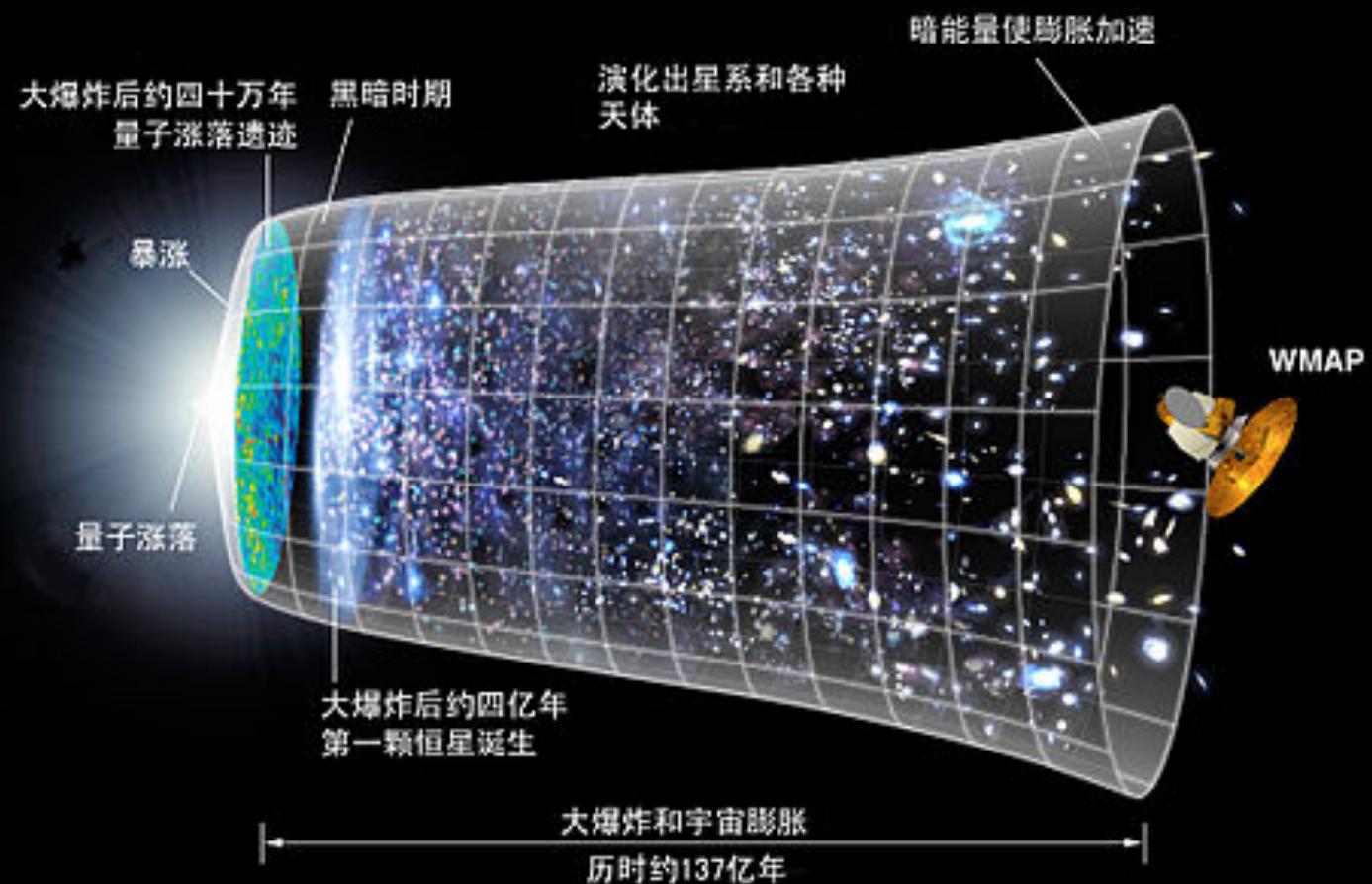
宇宙微波背景

26



- 21 March 2013
- 「宇宙微波背景是我們宇宙中最古老的光，當宇宙剛剛38萬歲時刻在天空上。它顯示出微小的溫度漲落，對應著局部密度的細微差異，代表著所有未來的結構，是當今的恆星與星系的種子」
- Photograph: AP

宇宙的起源：大爆炸理论

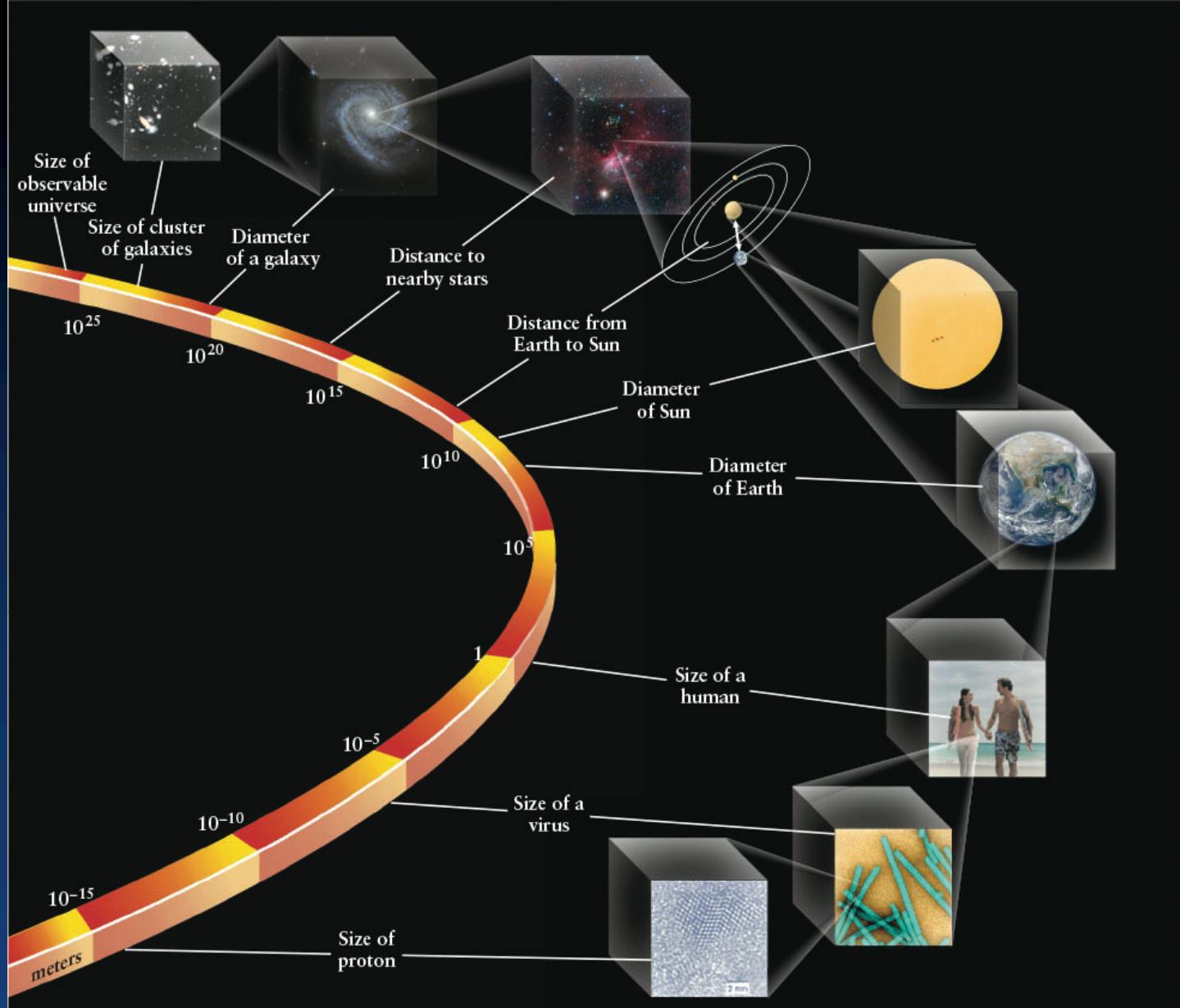


宇宙的演化

28

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November
Big Bang occurs.										
		Milky Way Galaxy forms.								
December										
1	2	3	4	5	6	7				
8	9	10	11	12	13	14				
15	16	17	18	19 Vertebrates appear.	20 Land plants appear.	21				
22	23	24	25 Dinosaurs appear.	26 Mammals appear.	27	28				
29	30 Dinosaurs become extinct.	31 Humans appear.								

Charting Cosmic Time. On a cosmic calendar, where the time since the Big Bang is compressed into 1 year, creatures we would call human do not emerge on the scene until the evening of December 31. (credit: February: modification of work by NASA, JPL-Caltech, W. Reach (SSC/Caltech); March: modification of work by ESA, Hubble and NASA, Acknowledgement: Giles Chadelaine; April: modification of work by NASA, ESA, CFHT, CXO, M.J. Jee (University of California, Davis), A. Mahdavi (San Francisco State University); May: modification of work by NASA, JPL-Caltech; June: modification of work by NASA/ESA; July: modification of work by NASA, JPL-Caltech, Harvard-Smithsonian; August: modification of work by NASA, JPL-Caltech, R. Hurt (SSC-Caltech); September: modification of work by NASA; October: modification of work by NASA; November: modification of work by Dénes Emőke)



Top to bottom: R. Williams and the Hubble
Deep Field Team [STScI] and NASA; ESA/Hubble & NASA; NASA/
JPL-Caltech/University of Wisconsin; NASA/SDO/HMI; NASA/NOAA/
GSFC/Suomi NPP/VIIRS/Norman Kuring; Jose Luis Pelaez/Getty Im-
ages; Lee D. Simon/Science Source; Courtesy of Florian Banhart/
University of Mainz

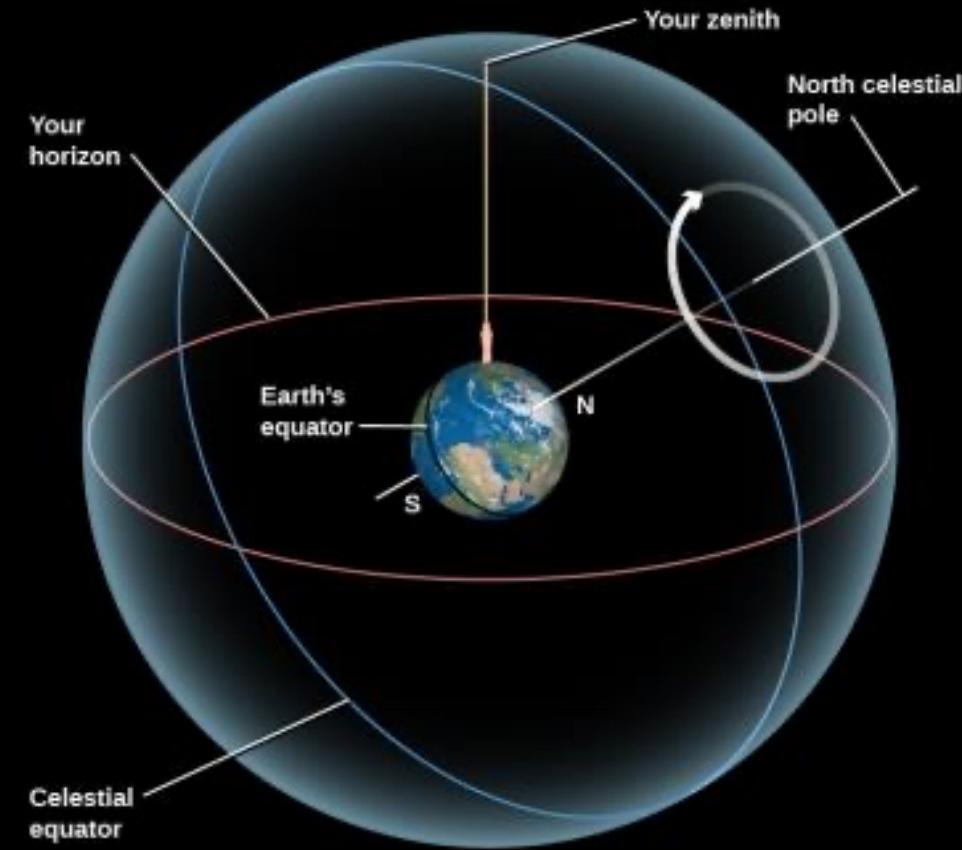
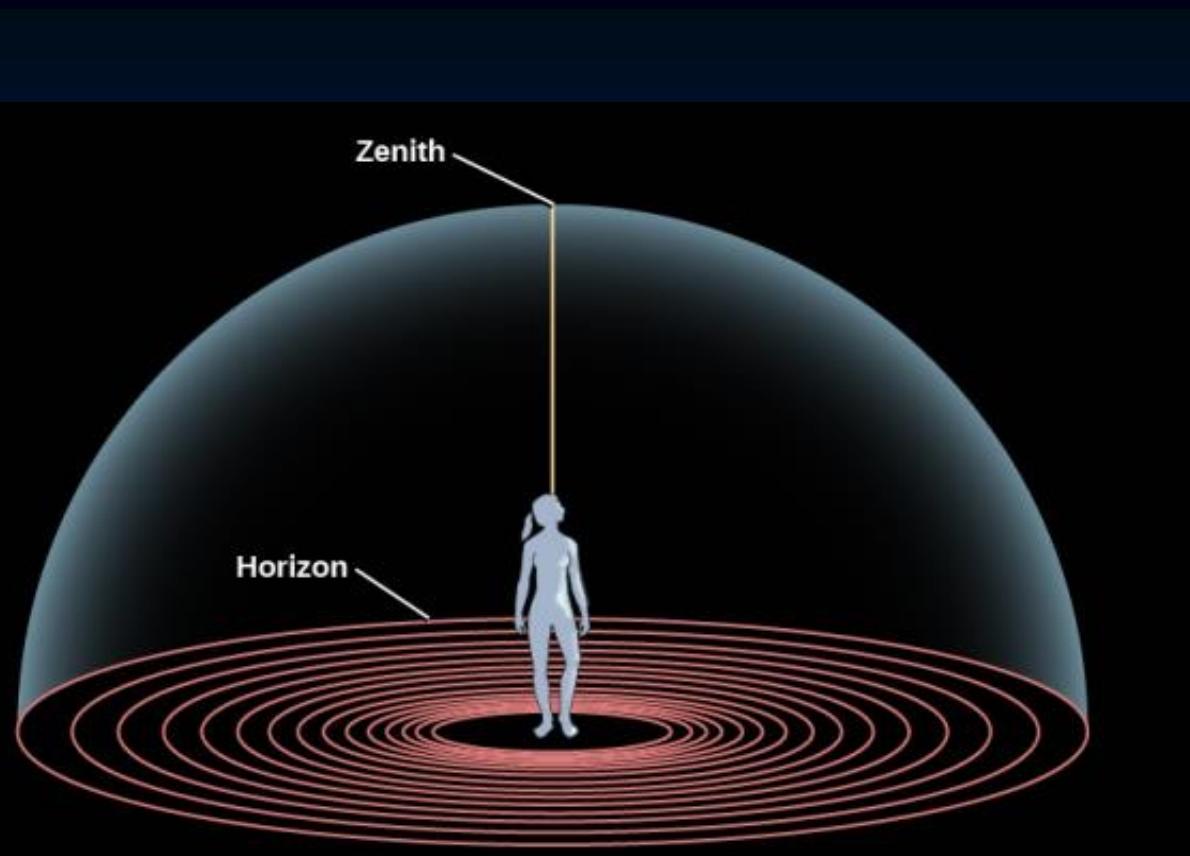
Welcome to the Universe!

1.2

Astronomy: as a scientific branch to apply physics to understand the nature of the Universe

- 天文学的历史
- 哥白尼革命
- 牛顿



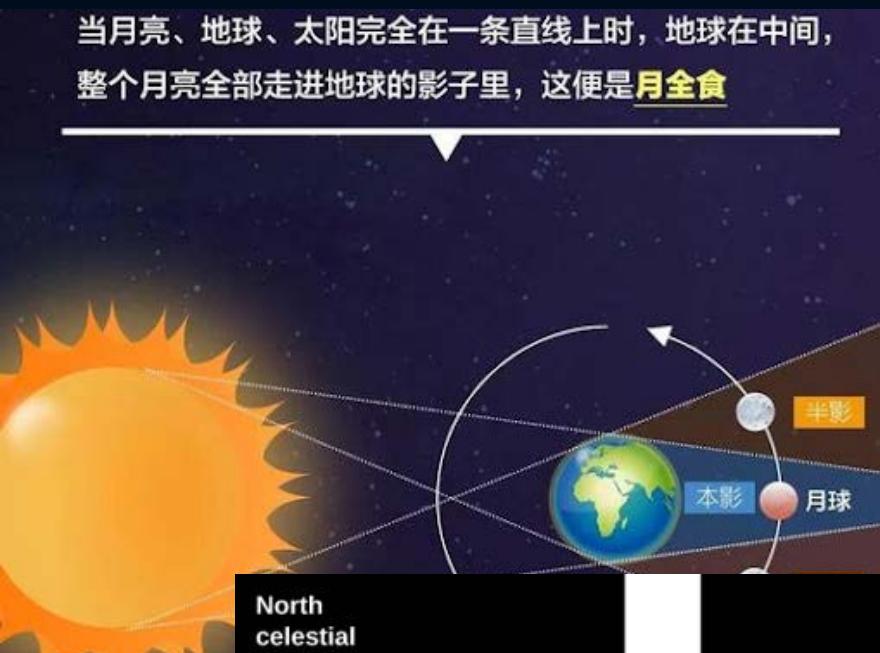


- Astronomy start from star gazing : **The Sky around Us.** The horizon is where the sky meets the ground; an observer' s zenith is the point directly overhead.

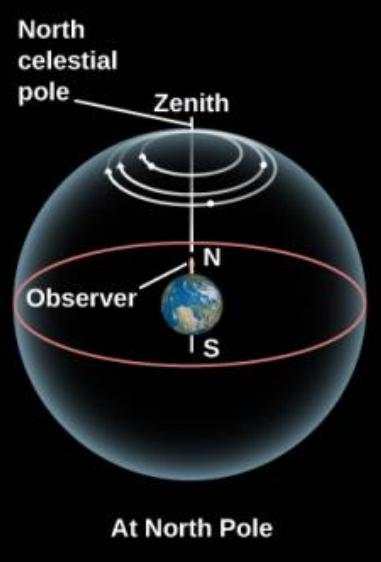
裸眼天文观测和解释

33

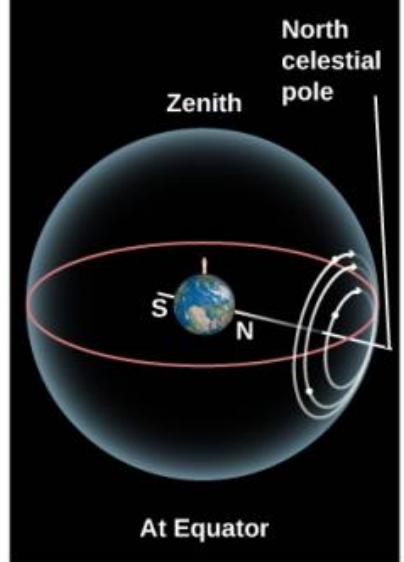
当月亮、地球、太阳完全在一条直线上时，地球在中间，
整个月亮全部走进地球的影子里，这便是月全食



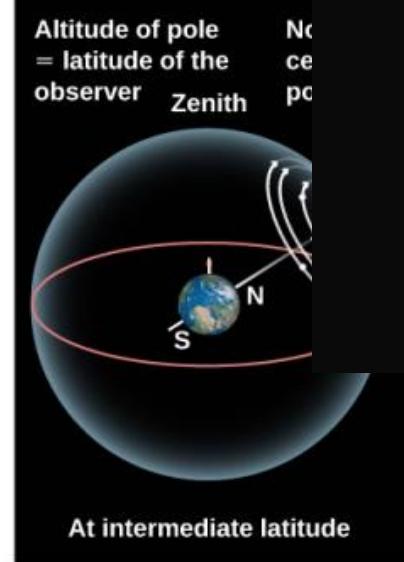
太阳



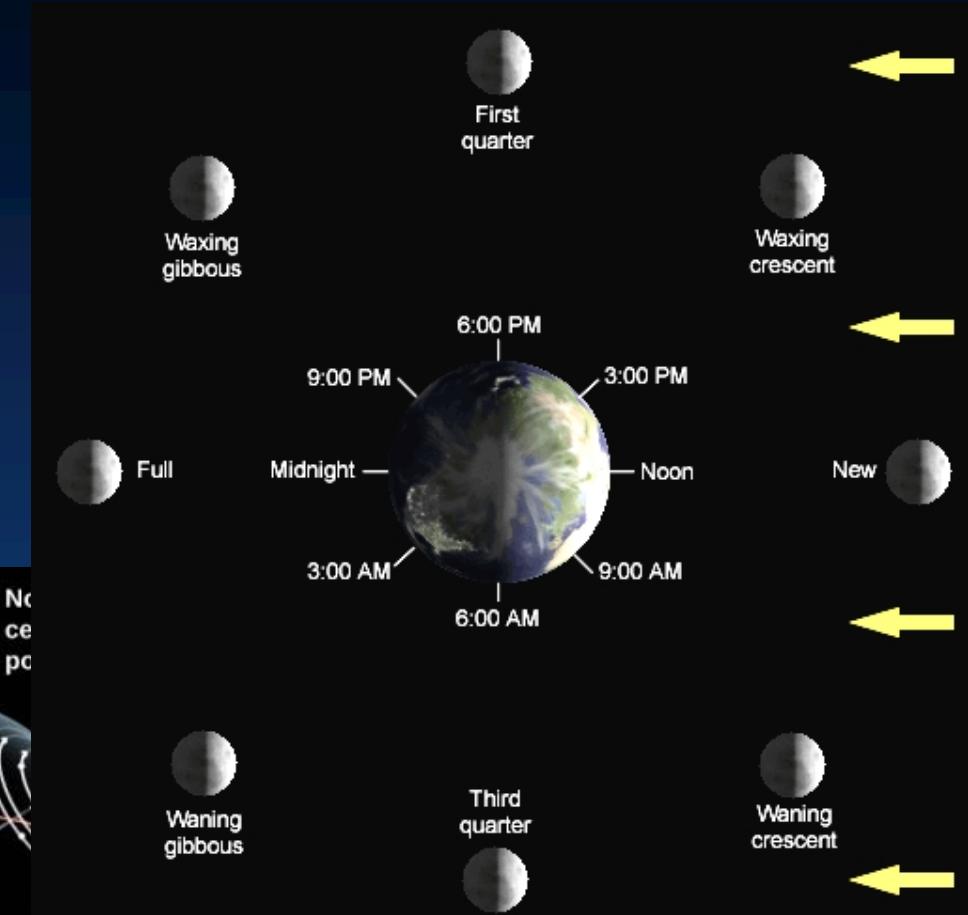
(a)



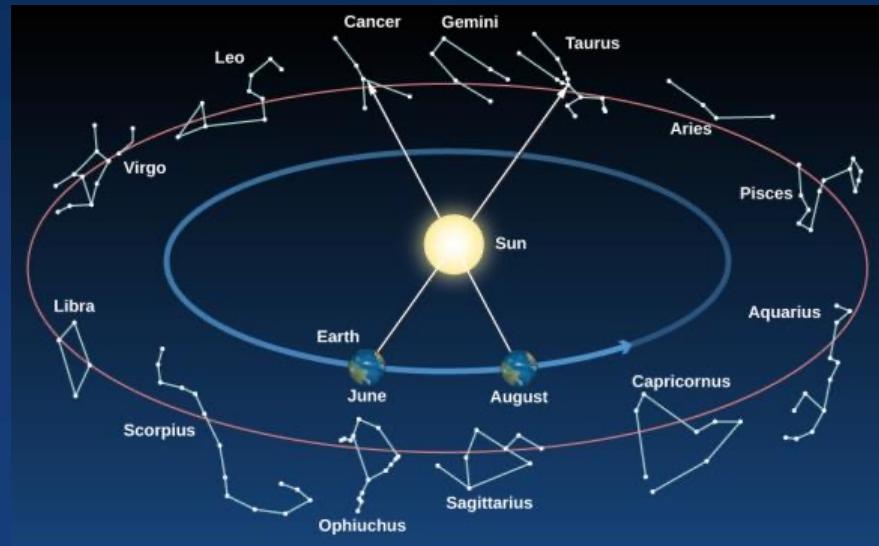
(b)



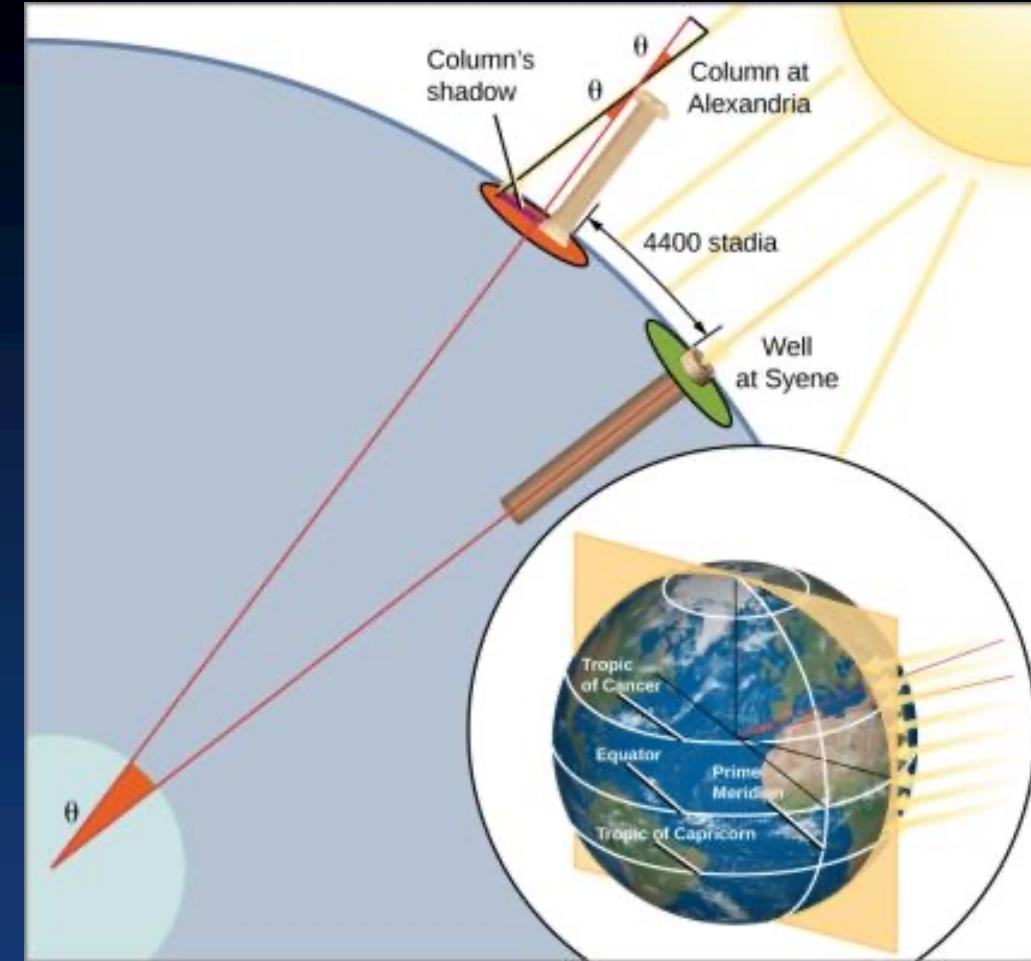
(c)



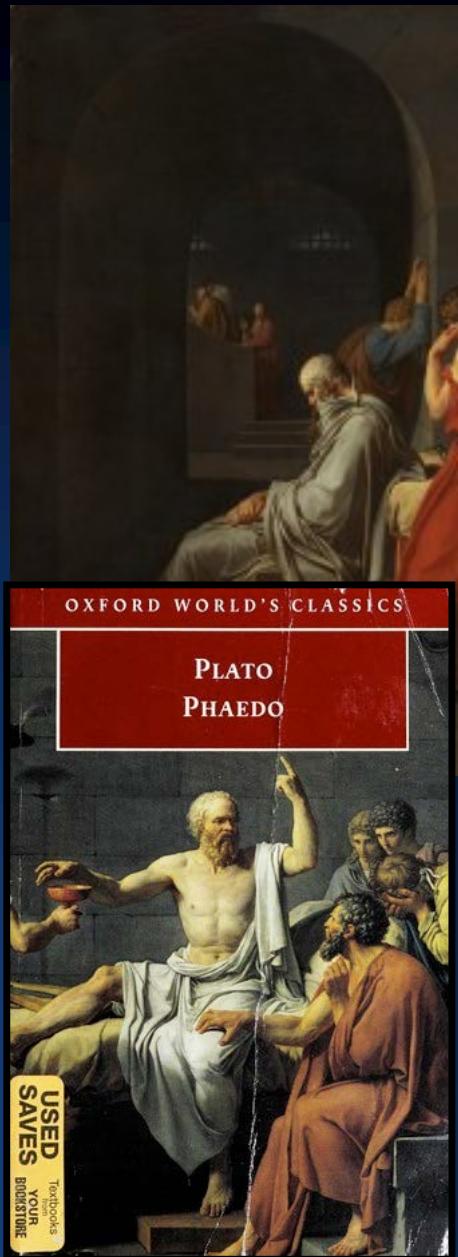
- **公元前約四千年**：埃及和中美洲的天文觀測記錄大概可追溯到這個年代。
- **公元前約二千年**：
 - 第一個陰陽合曆在埃及和美索不達米亞面世。
 - 英國索爾茲伯里以北遺留具天文意義的巨石陣 (Stonehenge Sanctuary)。
 - 古代天文學家繪畫出不同星座。
- **公元前十九至十六世紀**：古巴比倫人分黃道 (Ecliptic) 為十二宮 (12 Constellations)；分一天為十二小時，一小時為六十分，一分為六十秒；分一周天為三百六十度，一度為六十角分，一角分為六十角秒。
- **公元前約一千三百年**：中國留存世界上最早的新星紀錄。
 - 中國出現六十干支及干支記日法。
- **公元前十一至八世紀**：中國人把赤道附近的恆星劃分為二十八宿。
- **公元前六八七年**：中國留存世界上最早的流星雨紀錄。
- **公元前六世紀**：希臘數學家畢達哥拉斯 (Pythagoras) 與泰勒斯 (Thales of Miletus) 推測地球是一個球體。
- **公元前四世紀**：中國天文學家石申編著世界上最早的星表—《石氏星經》。
- **公元前三六四年**：中國天文學家甘德以肉眼發現木星衛星。



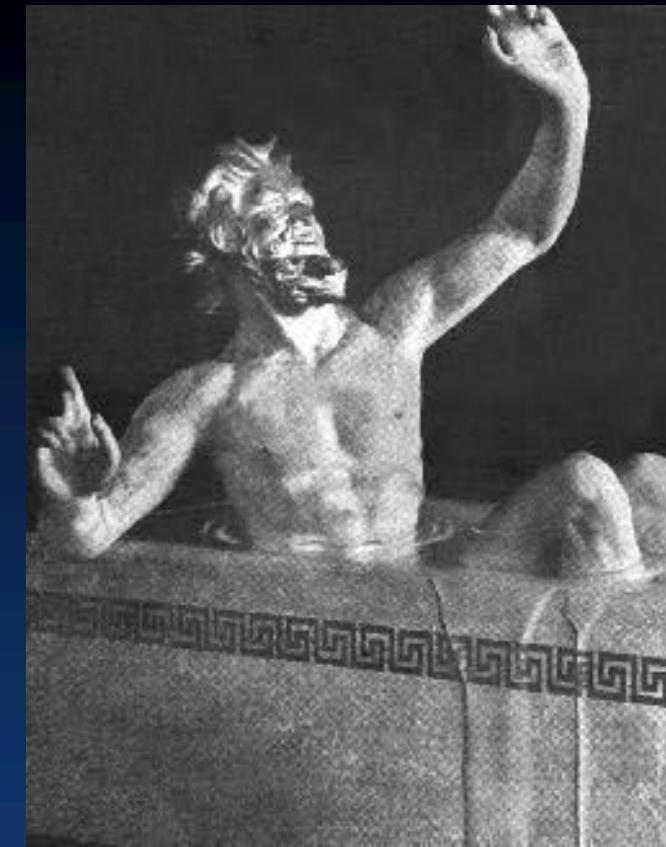
- **350 BC** : 希臘哲學家亞里士多德 (Aristotle) 出版他的著作《物理學》 "Physics"
- **330 BC** : 亞里士多德 (Aristotle) 出版他的著作 "On Heavens"
- **280 BC** : 希臘薩摩斯島 (Samos) 的 阿利斯塔克 (Aristarchus) 估計太陽和地球間的距離，並提出「日心說」 (Heliocentric Theory of the Universe)，認為地球環繞太陽運行。



- **~300 BC** : 埃拉托色尼 Eratosthenes measured the size of Earth by observing the angle at which the Sun's rays hit our planet's surface. The Sun's rays come in parallel, but because Earth's surface curves, a ray at Syene comes straight down whereas a ray at Alexandria makes an angle of 7° with the vertical. That means, in effect, that at Alexandria, Earth's surface has curved away from Syene by 7° of 360° , or $1/50$ of a full circle. Thus, the distance between the two cities must be $1/50$ the circumference of Earth. (credit: modification of work by NOAA Ocean Service Education)



柏拉图对话录：斐多篇 、会饮篇、申辩篇等



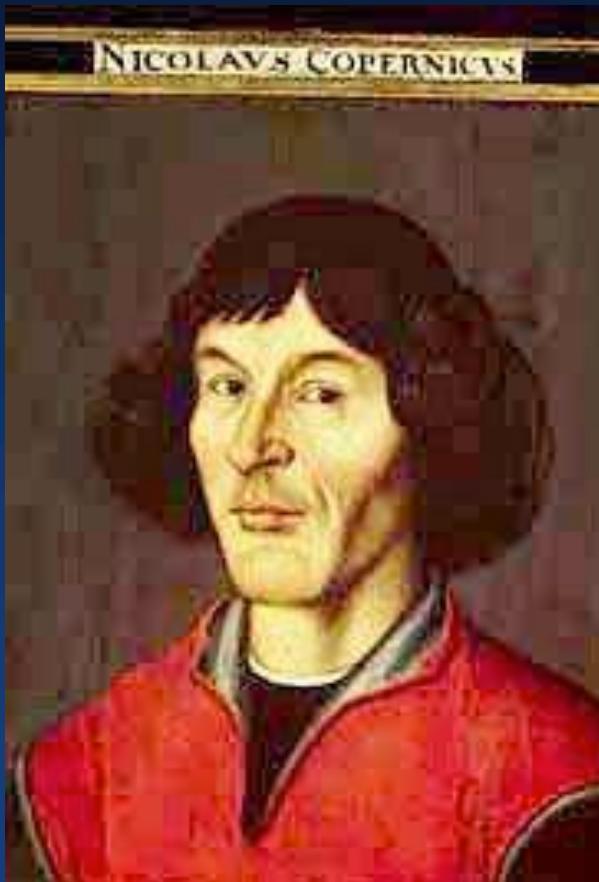
公元前 212 年阿基米德死于叙拉古。罗马军队攻陷叙拉古时，一群罗马士兵冲到阿基米德面前。当时阿基米德正蹲在大理石地面上用粉笔证明一条几何定理，他大叫着要求入侵者不要破坏他画的圆。不幸的是罗马士兵听不懂希腊语，虽然罗马元帅马卡斯（Marcus Marcellus）下令必须生擒阿基米德，士兵们还是当场杀死了伟大的数学家。阿基米德倒在了自己的圆圈里。
知乎 @轩辕网大BOSS

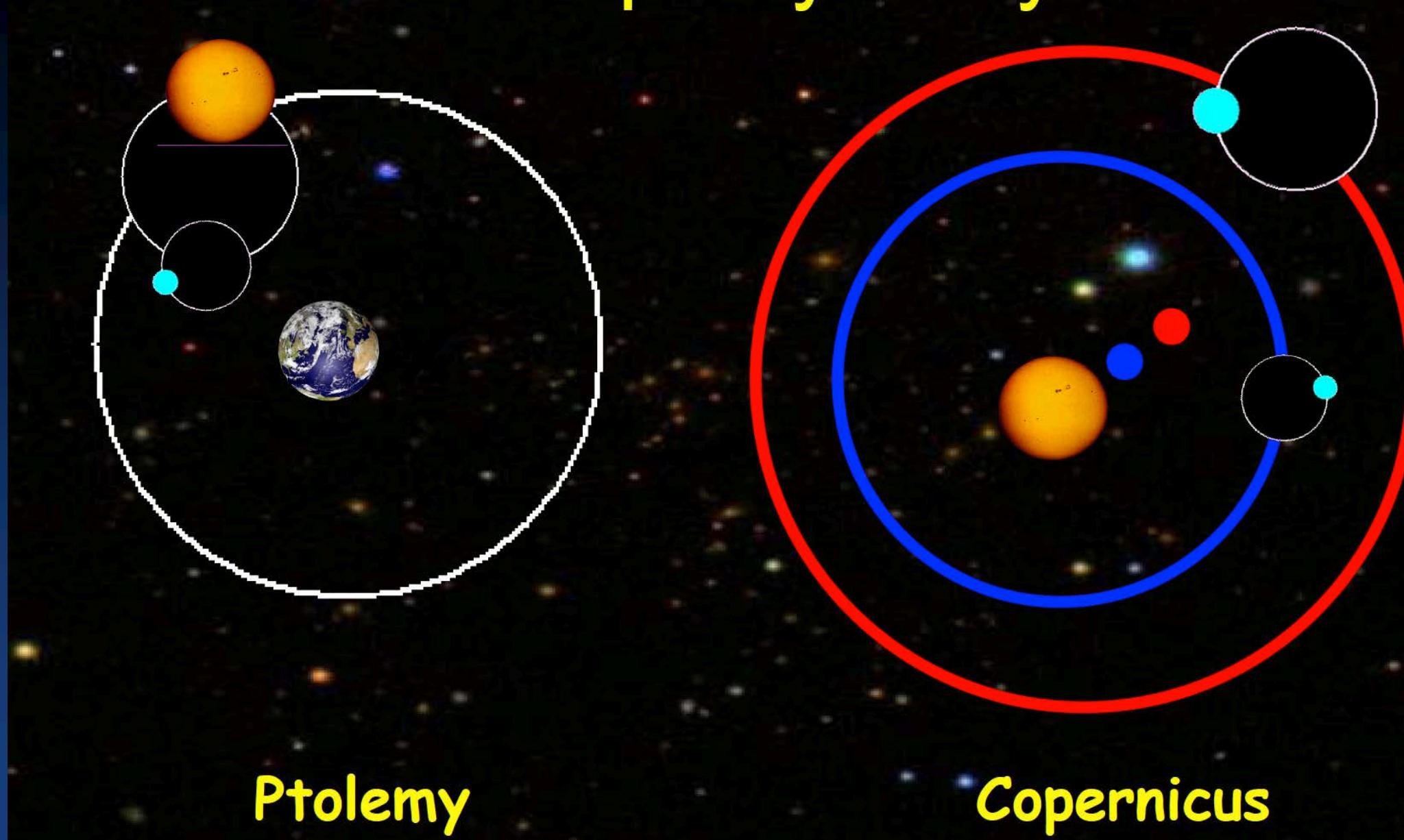
文艺复兴 : Copernican Revolution 哥白尼革命 (1540–1690)

37

- 地心说 : 亚里士多德 (350BC), 托勒密 (140AD)
- But how do we know that the Earth is the center of the universe? Is it the best way to understand the motions of the stars and planets?

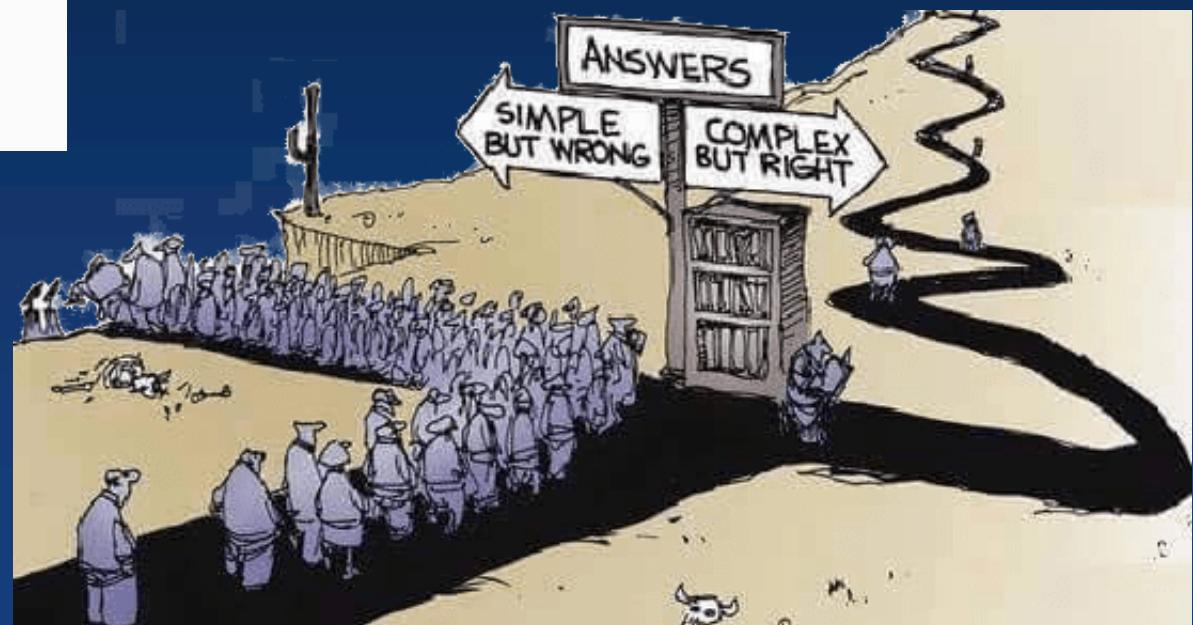
Nicolas Copernicus (1473-1543)

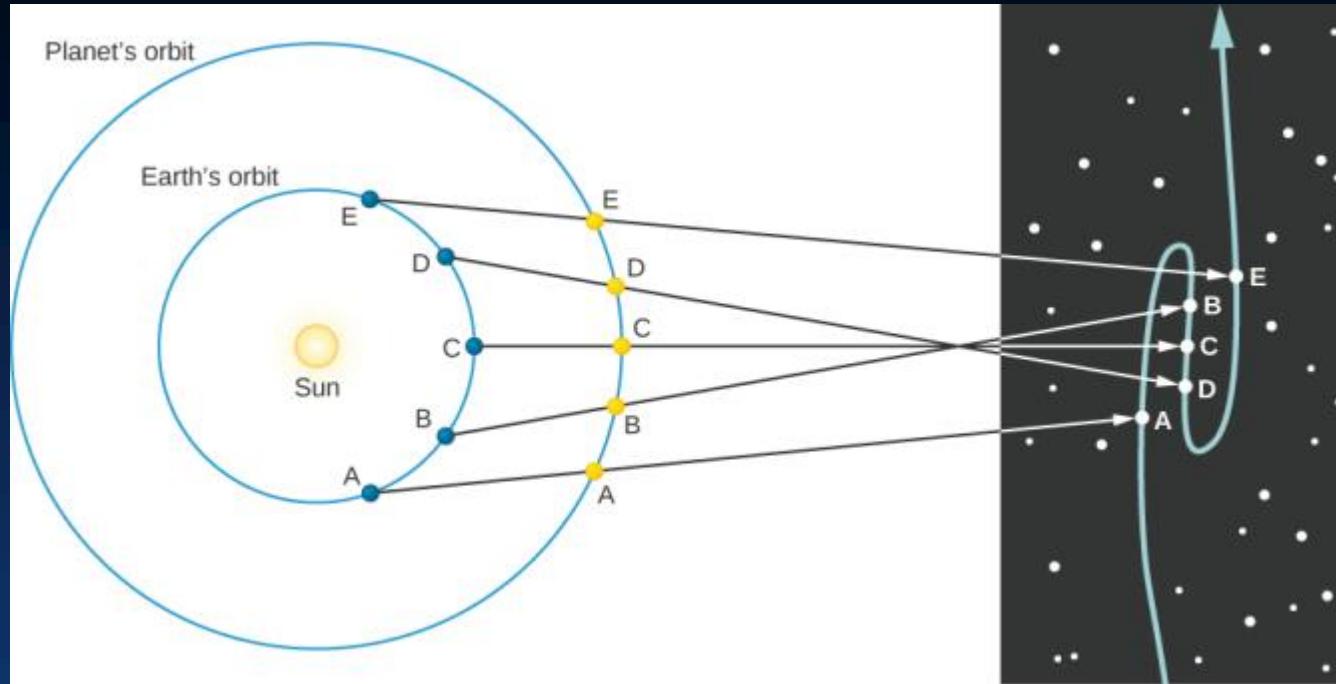




OCCAM'S RAZOR

When faced with **two opposing explanations** for the same set of evidence, our minds will naturally prefer the explanation that makes **the fewest assumptions**.

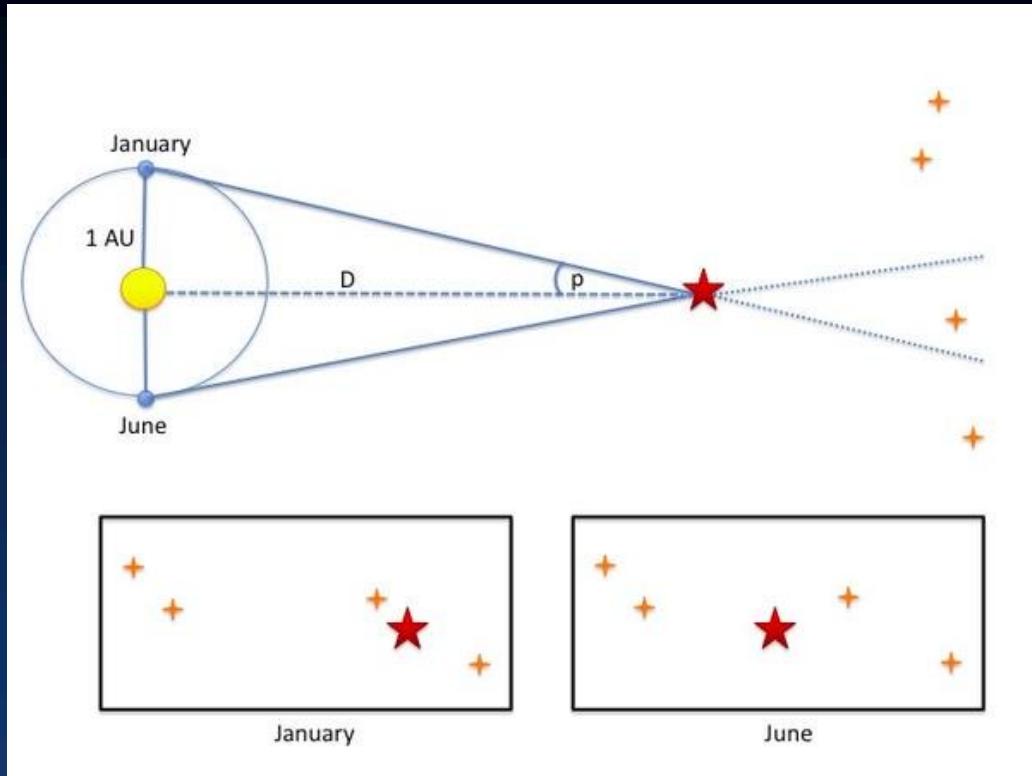




- **Retrograde Motion of a Planet beyond Earth's Orbit.** The letters on the diagram show where Earth and Mars are at different times. By following the lines from each Earth position through each corresponding Mars position, you can see how the retrograde path of Mars looks against the background stars.

- **Copernicus:** Model was much simpler and more elegant than the geocentric model, and it could be used, through geometry, to accurately measure the distances between the planets and the sun. It also explained retrograde motion in a much more natural way.
- But there were still problems.
 - 如果地球在运动，我们为什么不感觉到运动？
 - 由于假设行星轨道必须是完美的圆，无法比托勒密更准确地预测行星的位置
 - 没有恒星出现增亮和变暗的现象，也没有星座改变其大小（必须假设恒星非常遥远）
 - Conflicted with Aristotelian “common sense”

哥白尼模型中的恒星必须多远？

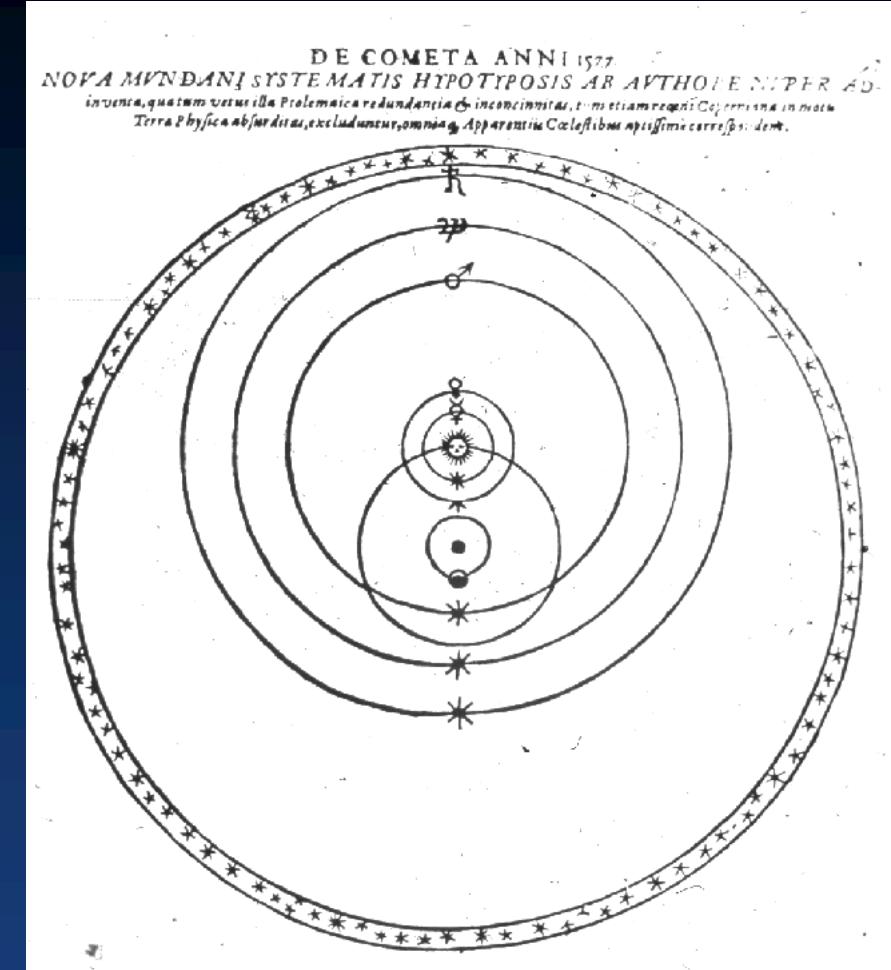


- 秒差距(1 parsec)：1秒差距定義為某一天體與1天文單位的對角為1角秒時的距離 $1\text{parsec} = 3.26 \text{ ly}$

- 视差是从两个不同的角度在远处的背景下看到附近的物体时发生的角度偏移。
- 在日心模型中，当地球在太阳轨道上移动时，附近的恒星应该相对于更远的恒星显示出视差偏移。但是从未观察到任何变化。
- 恒星距离必须超过观测的极限 ($1\text{弧分} = 1/60\text{ deg}$)： $d/D < 1/60 \times \pi / 180$, 即 $D > \sim 3300d$ (d is 2AU) $\sim 6 \times 10^3 \text{ AU} \sim 0.1 \text{ ly}$ (这在当时是无法想象的)
- 但是我们现在知道最近的半人马座比邻星距离我们 1 ly, 其他恒星就更遥远了

Tycho 第谷 (1546–1601)

- 建立了第一个现代欧洲天文台，名为 Uraniborg 或 Sky Castle.
- 望远镜尚未发明，但由于他的出色实验技术，第谷做了有史以来最精确的天文观测。他使用的是刚性金属而不是木头制成的配件。他使用像巨型量角器这样的大型旋转装置，以精确的角度标尺看到了物体。他进行了多次独立测量，以提高准确性。
- 他将先前恒星和行星位置的精度提高了三到四倍，而他的最佳测量结果是精确到1-2弧分。第谷辛勤工作了二十年，在每个晴朗的夜晚进行观察。这组强大的数据对于理解行星的轨道至关重要。

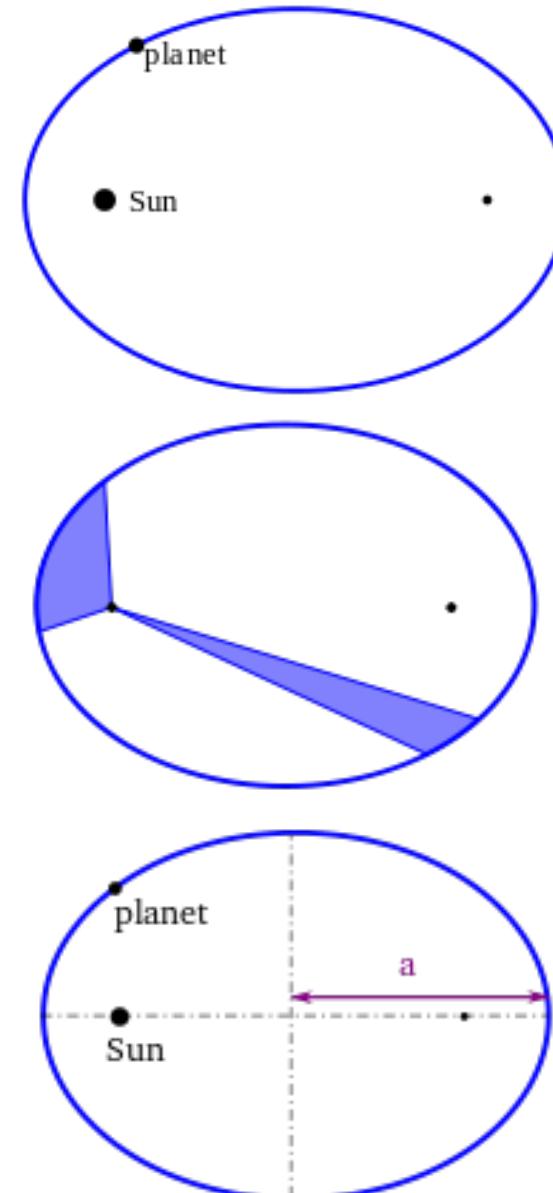


Tycho's Universe: Earth does not move
& Lots of Circles

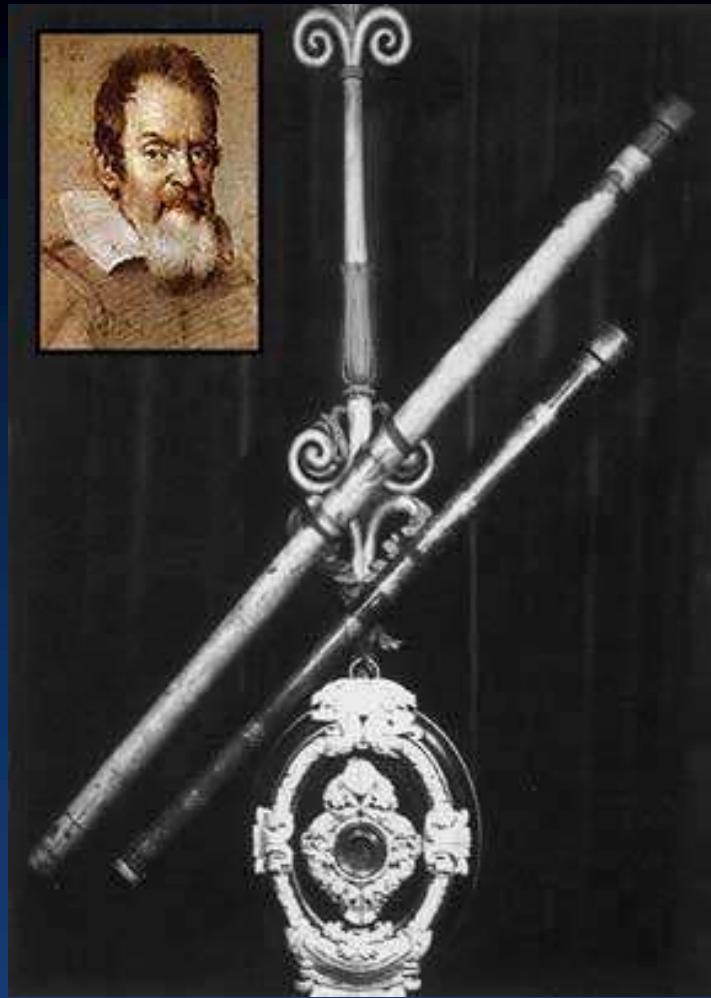
- 开普勒继续使用第谷·布拉赫 (Tycho Brahe) 对行星位置的二十年积累来继续他的研究。他首先研究了火星的轨道，自托勒密以来，其在天上的运动一直困扰着天文学理论家。他发现了一些惊人的东西。经过数个世纪的关于圆形轨道和圆形行星的争论，最适合火星观测位置的轨道根本不是圆，而是椭圆！
- 开普勒放弃了希腊最珍贵的想法之一，即圆轨道的完美对称性，从而实现了自己的突破。他没有轻易做到这一点。
- 他花了八年的时间分析和数百页的计算来确定他的结论。但是，他的洞察力使他大大简化了行星轨道的描述。在托勒密模型中，第谷的准确数据只能通过添加许多周转周期使用圆形轨道进行匹配。
- 他的研究结果不符合托勒密的地心说，但很符合哥白尼的日心说。

开普勒三大运动定律

- **开普勒的第一定律，也称为椭圆定律、轨道定律：**
每一个行星都沿各自的椭圆轨道环绕太阳，而太阳则处在椭圆的一个焦点中。
- **开普勒第二定律，也称为等面积定律：**在相等时间内，太阳和运动着的行星的连线所扫过的面积都是相等的。
- **开普勒第三定律，也称为周期定律：**各个行星绕太阳公转周期的平方和它们的椭圆轨道的半长轴的立方成正比。



伽利略(1564-1642)



Major Discoveries of Galileo

—Proofing that Jupiter was more massive then the Earth—

- Moons of Jupiter
(4 Galilean moons)



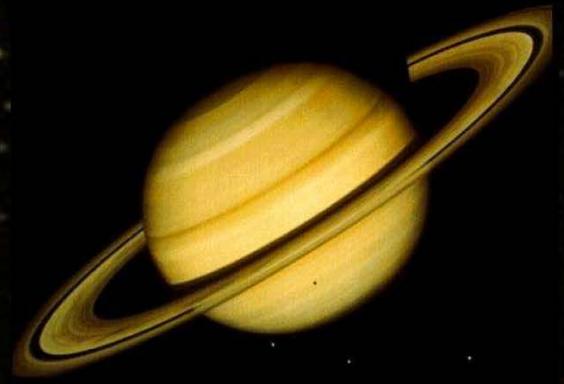
(What he really saw)



- Rings of Saturn

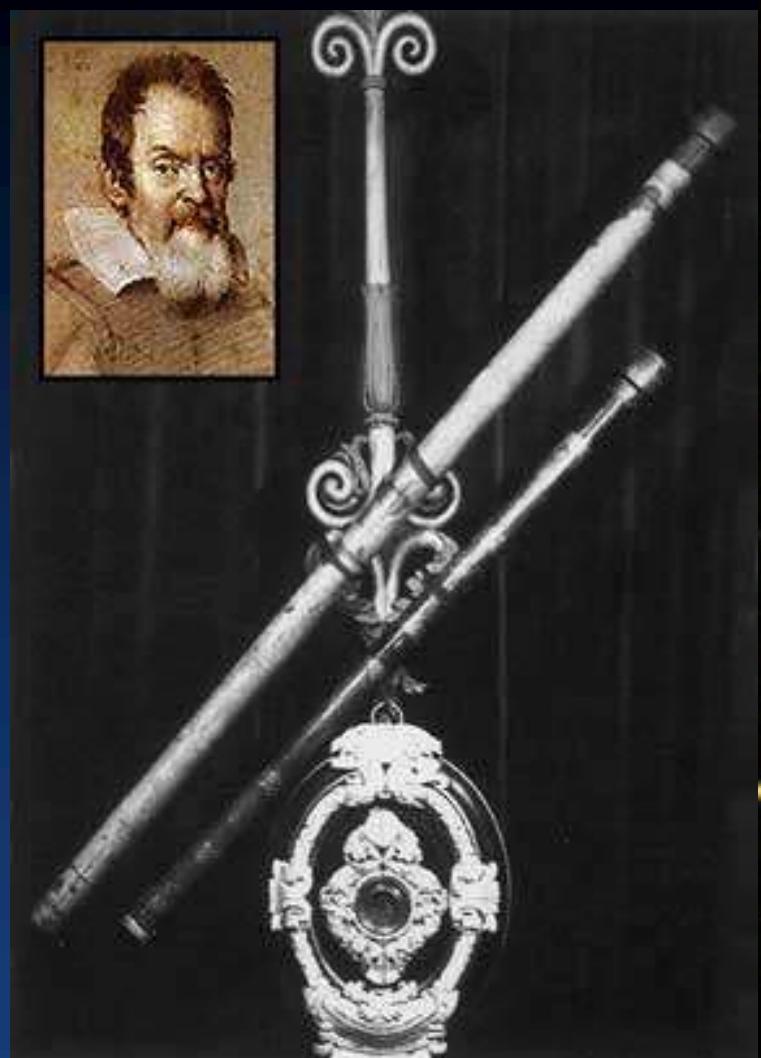


(What he really saw)



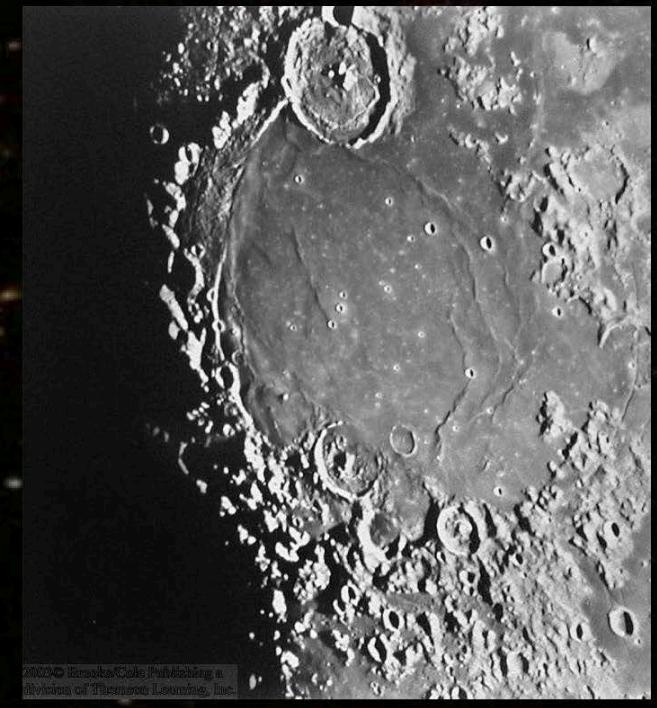
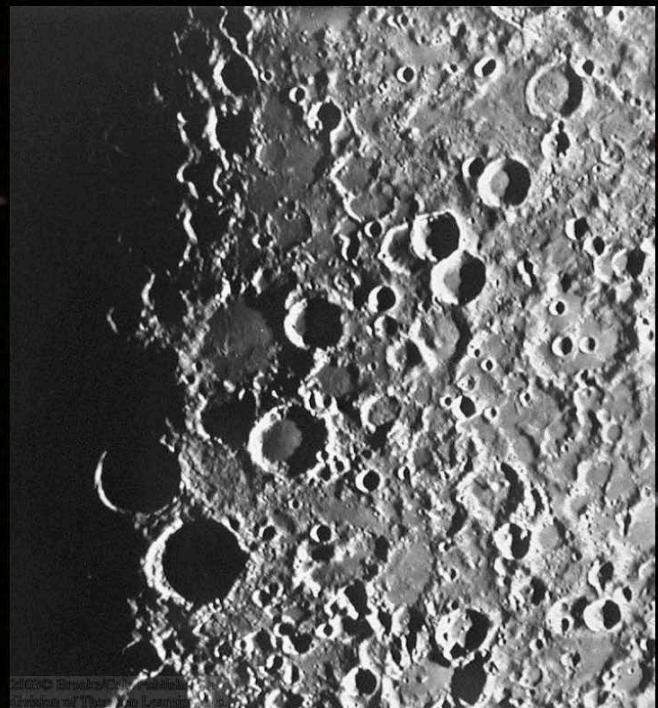
- 他证明这些卫星绕木星旋转，就像月球绕地球旋转一样。这反驳了一切都围绕地球运动的想法。

伽利略(1564-1642)



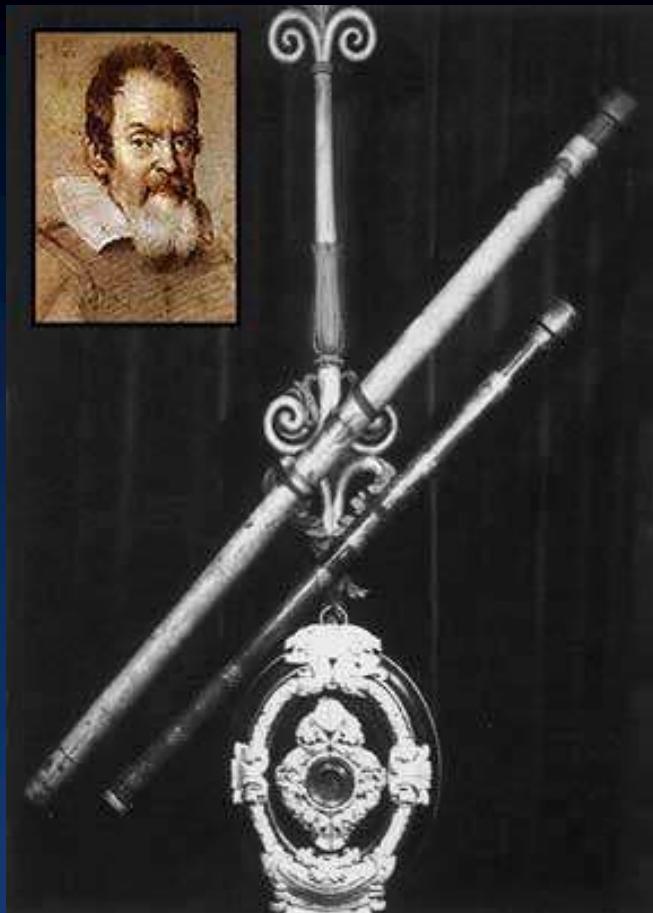
Major Discoveries of Galileo

- Surface structures on the moon; first estimates of the height of mountains on the moon. **This suggested that the moon was not perfect**

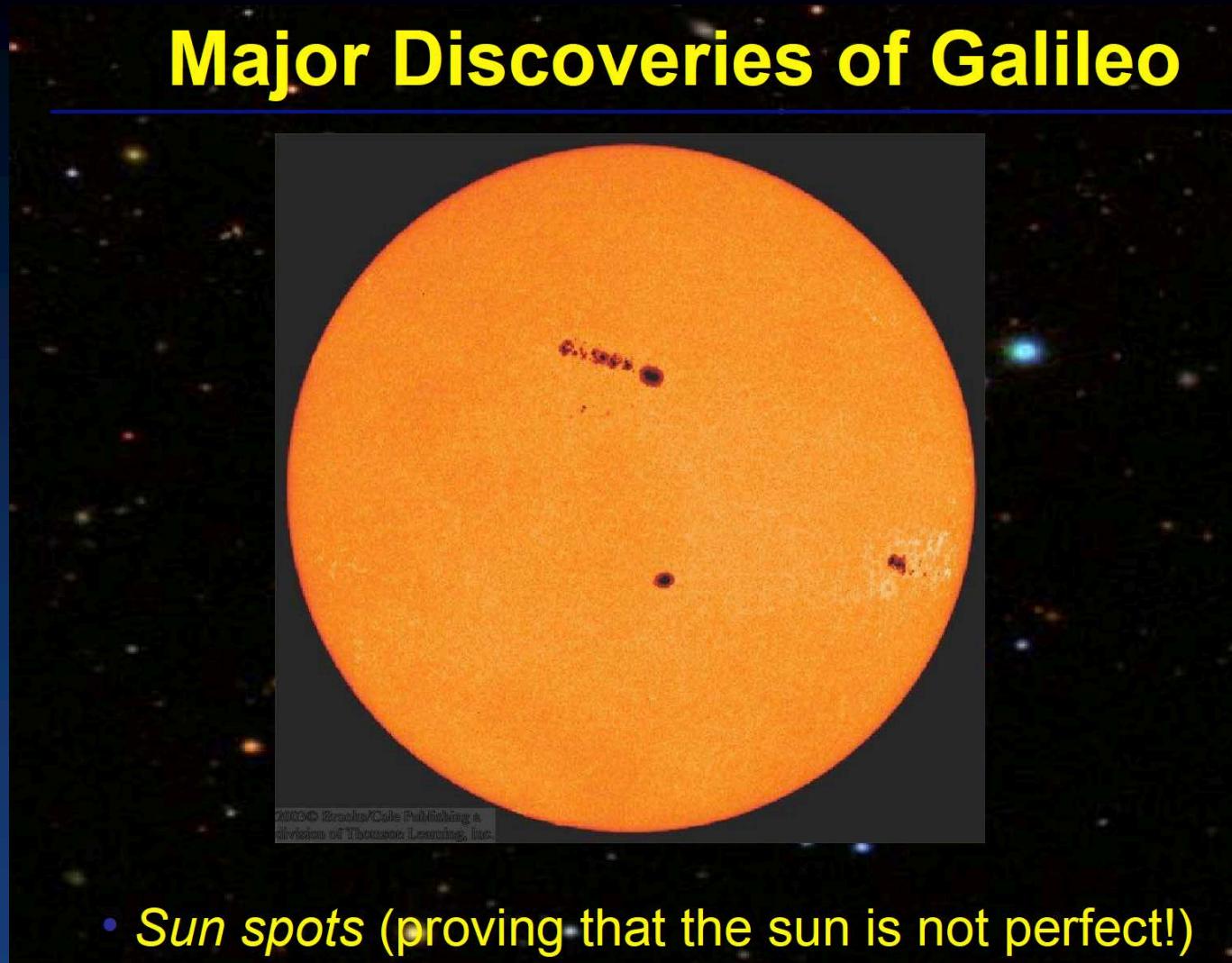


- 观测到月球上的山脉和平原，证明它不是“完美”天体的光滑球体或超自然球体，而是像地球一样的地质世界。

伽利略(1564-1642)



Major Discoveries of Galileo



- *Sun spots (proving that the sun is not perfect!)*

• 他检测到太阳表面的黑子并跟踪了它们的运动，推断出太阳每四周旋转一次。

伽利略(1564-1642)



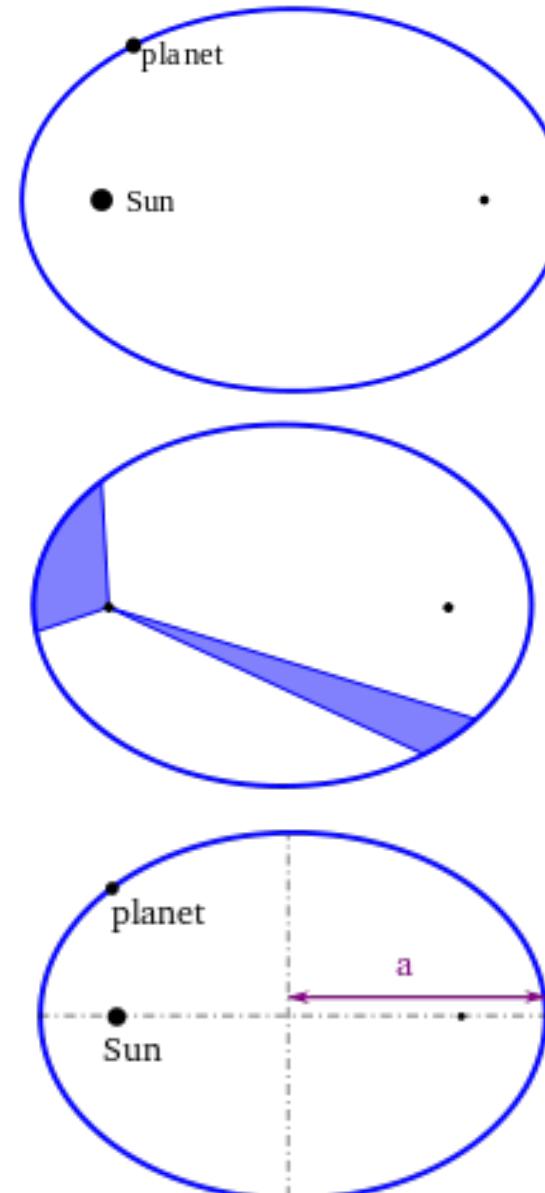
- 在托勒密模型中，金星始终位于地球与太阳之间，因此，由于大部分被照亮的一面都朝向太阳，因此金星总是呈新月形。在哥白尼模型中，金星可以呈现一个完整的相位，这是地心和日心预测之间存在主要区别。伽利略观测到了这一相位。
- 在长期的软禁期间，伽利略还完成了他在力学或运动科学方面的其他主要工作。亚里斯多德曾教导说，静止是任何物体的自然状态，重的物体掉落的速度比轻的物体要快。伽利略表明这两个想法都是错误的。
- 伽利略的许多力学思想都与物体在太空中的运动有关。他提出了惯性的概念，即任何物体对其运动变化的抵抗力。

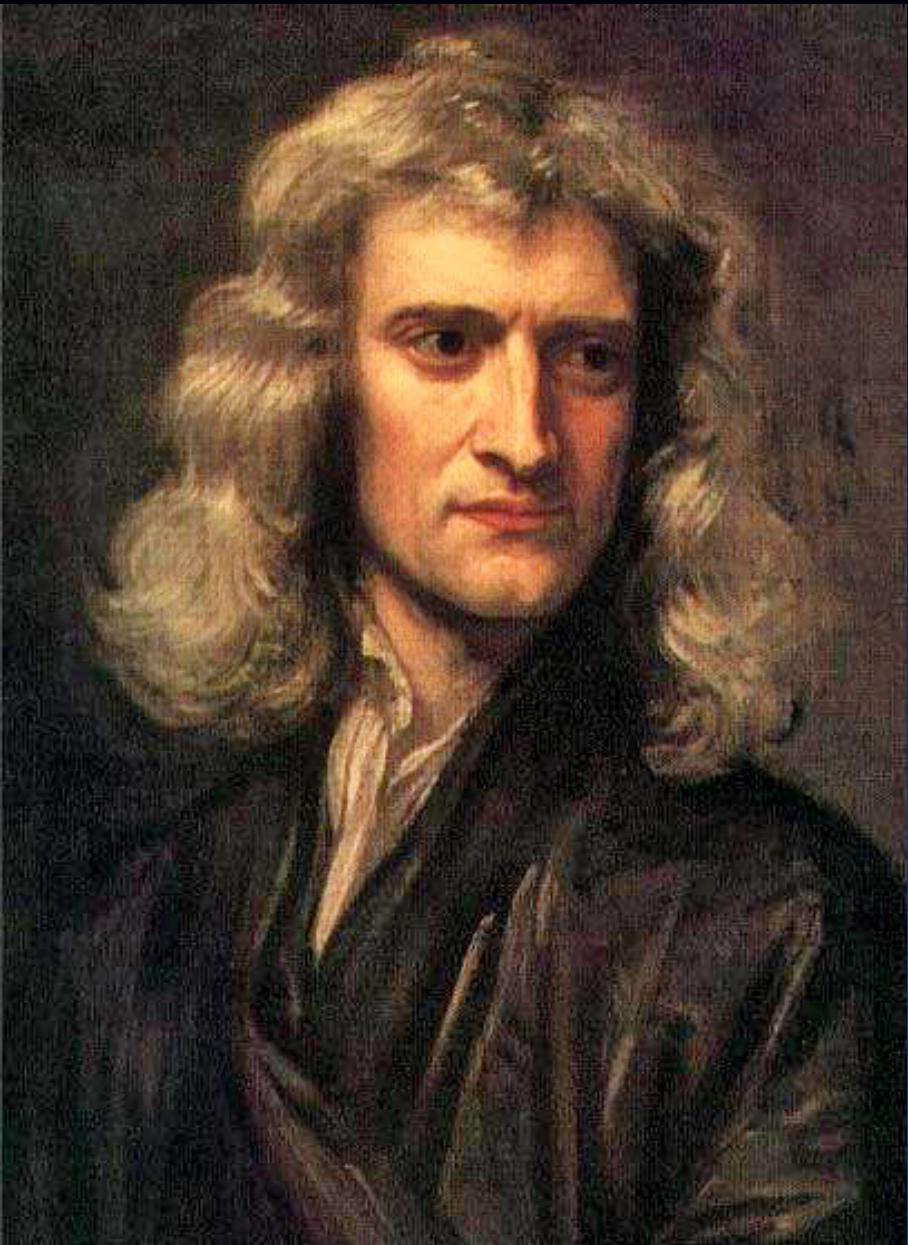


- 1632年初，伽利略出版了他的杰作《关于大世界系统的对话》，其中两个虚构人物讨论了地球是否处于中心地位。
- 1633年6月22日达到高潮，教会对于伽利略的审判达到高潮，当时伽利略被传唤跪在法官面前，以聆听他的判决并背诵错误的供词。法官们进行了长期的谴责，伽利略被判终身软禁。审判官下令禁止他的书。他不得不在公开场合再次表白，说他将“放弃错误的观点”
- 但是他的书在欧洲其他地方出版，几十年之内，他的想法被广泛接受。教会无法阻止新科学思想的传播。
- 1757年，伽利略的这本书从天主教会禁止的书籍清单中删除。
- 1983年，教皇约翰·保罗二世（John Paul II）接手伽利略的案件，并于1992年正式宣布教会谴责伽利略是犯错的，科学是知识的有效领域，“理性可以通过自身的力量发现”。

从开普勒三大运动定律到牛顿定律

- **开普勒的第一定律，也称为椭圆定律、轨道定律：**
每一个行星都沿各自的椭圆轨道环绕太阳，而太阳则处在椭圆的一个焦点中。
- **开普勒第二定律，也称为等面积定律：**在相等时间内，太阳和运动着的行星的连线所扫过的面积都是相等的。
- **开普勒第三定律，也称为周期定律：**各个行星绕太阳公转周期的平方和它们的椭圆轨道的半长轴的立方成正比。
- 开普勒用了20 年时间才找到第三定律。





- 在1600年代，科学家们提出了现代科学家解决问题的方法。开普勒推断，椭圆轨道是行星运动的良好描述或模型。他还发现了支持哥白尼假说的行星运动和间距模式。天文学家现在需要一个完整的物理理论来解释和预测观察到的现象。为了取得成功，该理论必须从一些通用原理开始，并证明开普勒的椭圆轨道是这些原理的结果。如果能够发展出这样的理论，科学家相信他们也将能够理解自然界中的其他现象。
- 完成解释行星运动的综合的人（通常被认为是有史以来最伟大，最有创造力的物理学家）是艾萨克·牛顿。牛顿彻底改变了物理学和天文学领域。伽利略去世后，他于1643年出生在英格兰南部。他是一个孤独而喜怒无常的男孩，经常沉迷于自己的想法。在23到25岁之间，他在剑桥学习期间，一手开发了微积分学，发现了引力的原理和某些光的性质，并改进了望远镜的设计。

- **牛顿第一运动定律**：孤立质点保持静止或做匀速直线运动；
 - 第一个源于伽利略关于惯性的想法：静止的物体保持静止或以恒定的速度直线运动，除非对其施加不平衡的力。这里有几个重要的想法。首先是匀速运动与非匀速运动一样自然，这与希腊物理学大相径庭。第二个是由于力作用而使物体改变其运动-这就是我们定义力概念的方式。
- **牛顿第二运动定律**：在外力作用下的物体，其动量随时间的变化率同该质点所受的外力成正比，并与外力的方向相同。
 - 在数学上将力与其引起的运动变化联系起来
- **牛顿第三运动定律**：相互作用的两个质点之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上

牛顿运动定理的广泛应用

Newton's Laws of Motion

Applications of Newton's Third Law of Motion

Hitting a Golf Ball

Action-foot pushes on ground → Reaction-ground pushes back on foot

Skateboard Push-Off

Action-foot pushes on ground → Reaction-ground pushes back on foot

Action-hand pushes ball forward

Reaction-ball pushes hand back

Rifle Firing a Bullet

Force of rifle on bullet → Force of bullet on rifle

Calculate the force pushing back on the rifle, if a small calibre rifle accelerates a 2.3 gram bullet at $4.0 \times 10^6 \text{ m/s}^2$.

$$F_{\text{bullet}} = m_{\text{bullet}} \times a_{\text{bullet}} \quad (2.3 \text{ g} = 0.0023 \text{ kg}) \\ = 0.0023 \text{ kg} \times 4.0 \times 10^6 \text{ m/s}^2 \\ = 92 \text{ N away from the rifle.} \\ \therefore F_{\text{rifle}} = 92 \text{ N away from the bullet.}$$

Free Falling Skydiver

Calculate the force of the Earth on an 80kg skydiver:

$$F_{\text{Earth}} = \text{mass} \times \text{acceleration} = \text{mass} \times \text{gravitational force (mg)} \\ mg = 80 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ = 784 \text{ N (towards Earth)}$$

This is the force of the Earth, acting on the skydiver. However, according to Newton's Third Law, the same force is acting upon the Earth, in the opposite direction.

$$\therefore \text{skydiver } F_{\text{Earth}} = 784 \text{ N toward the skydiver}$$

Force of gravity from the earth, acting on the skydiver

Force of gravity from the skydiver, acting on the earth

The Earth's mass is approximately $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$

© Graphic Education 2011

Newton's Third Law Applied to Aerodynamics

NASA Glenn Research Center

For every action, there is an equal and opposite re-action.

Airfoil

Foil deflected up.

Flow deflected down.

Ball deflected up.

Flow deflected down.

Spinning Ball

Engine pushed forward.

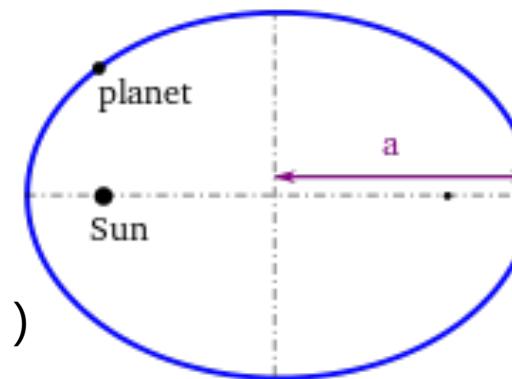
If the influence of air resistance is disregarded, the skydiver will accelerate towards the Earth at 9.8 m/s^2 .

Jet Engine

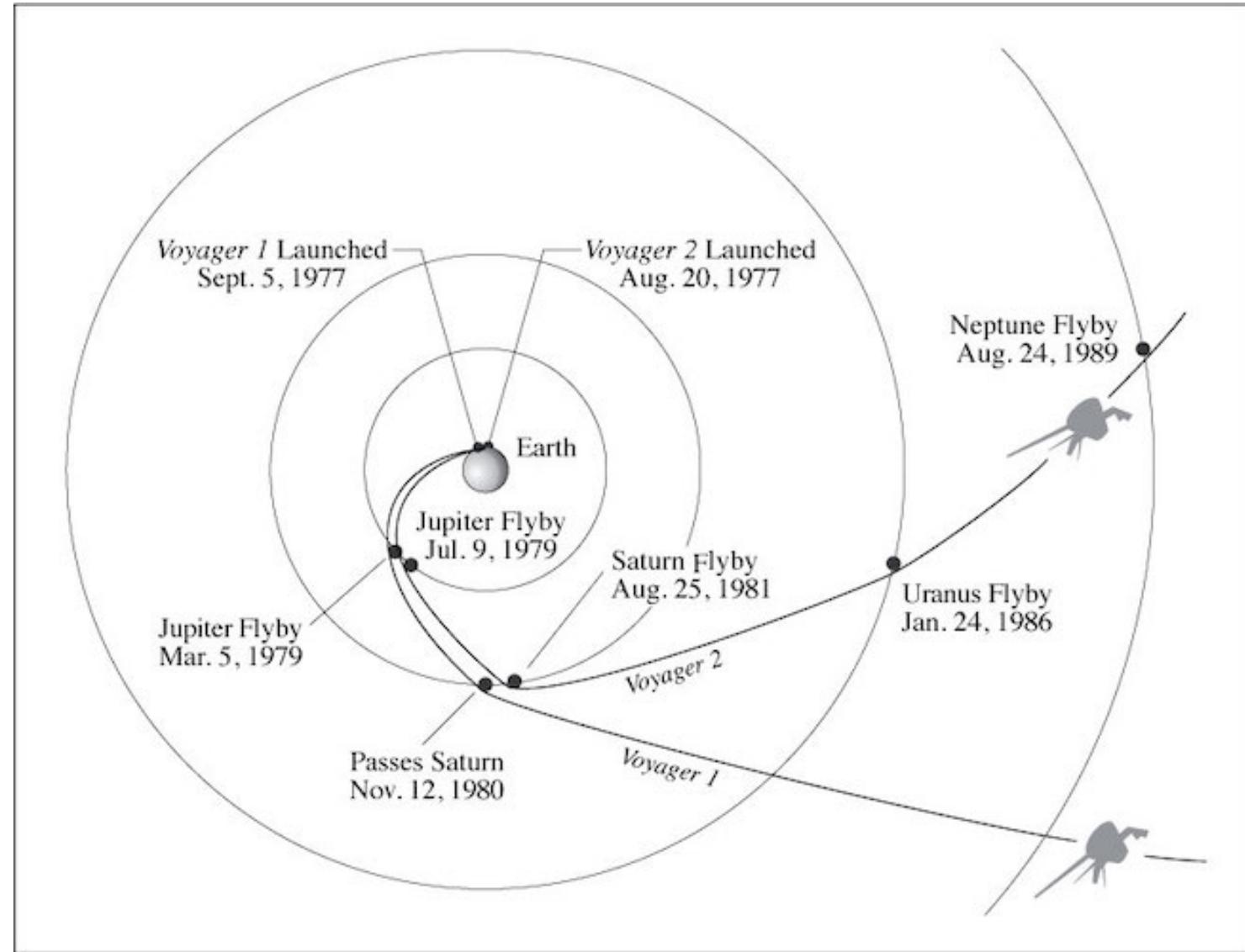
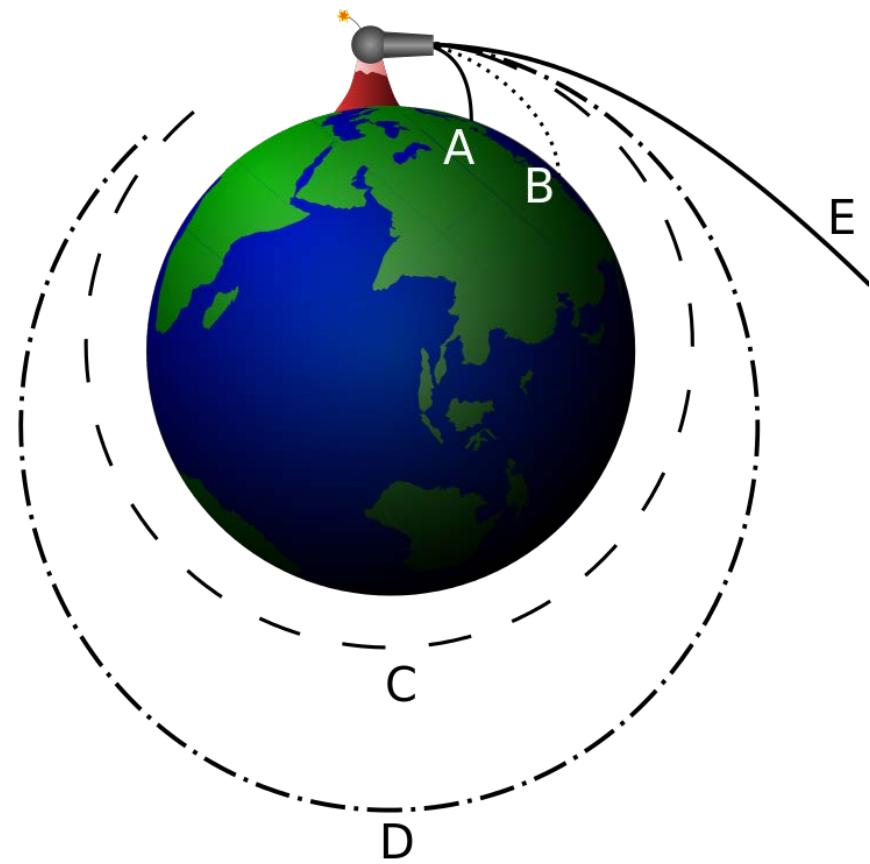
Flow pushed backward.

<https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/airplane/Images/newton3.gif>

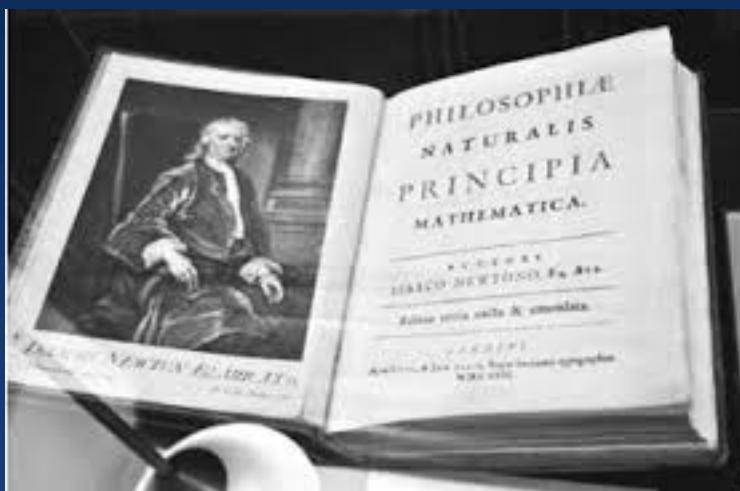
牛顿万有引力定理



- 开普勒第三定律指出 $T^2/r^3 = \text{constant}$
- 而 $T = 2\pi r/v$, 因此 $v^2 \propto 1/r$
- 牛顿应用自己发明的微积分算出行星加速度 : $a = v^2/r \propto 1/r^2$ (平方反比定律)
- 万有引力定理 : 宇宙中的每个粒子都以与其质量的乘积成正比且与它们之间的距离的平方成反比的力吸引每个其他粒子。 $F = G M m / r^2$
- "He used one simple law to understand a huge variety of seemingly unrelated effects: your weight, an apple falling from a tree, the Moon moving around the Earth, the arcing path of a comet, or the planets moving around the Sun. The English writer, Alexander Pope, got it right when he penned this clever verse upon Newton's death: 'Nature and Nature's laws lay hid in night God said "Let Newton be! and all was light."
- 法国物理学家库仑 (C. A. Coulomb, 1736–1806) 参考了牛顿万有引力定律 , 提出了库仑定律 : $F=k q_1q_2/r^2$
- 类比光辐射 : 如果在某个距离处 , 沿某个方向发射的光散布在一个单位上 , 那么在该距离的两倍处 , 它散布在四个单位上。因此 , 两倍距离的光强度为 $1/4$ 。同样 , 在初始距离的三倍处的强度仅为 $1/9$ 。



范式转移和现代科学的诞生



- 在哥白尼革命和望远镜发明之前，地球似乎是一切事物的独特中心。
- 17世纪标志着现代科学的诞生。它始于伽利略首次使用望远镜，最后以牛顿的引力杰作《原理》出版。伽利略建立了一种进行实验科学的方法，在实验室和通过望远镜进行了仔细的系统观察。牛顿为理论科学设定了新的标准，其中物理见解具有严格数学基础。他们努力的结果是极大地扩展了宇宙的规模，并且认为通过地面实验得出和检验的定律应该适用于宇宙的更大范围。
- 牛顿使用逻辑来推断宇宙是无限的。重力是一种普遍的吸引力，因此，如果恒星分布存在边缘，则边缘附近的恒星会因重力而被拉向分布的中心。牛顿认为，除非宇宙是无限的，否则它是不会稳定的。

天文学是一门观测科学
 科学是一套遵循特定逻辑提出问题、分析问题、解决问题的方法
 其结构和内容是动态变化的

Scientific Method Flowchart

