

地球与人类文明

02 / 宇宙与地球起源

陈斌 gischen@pku.edu.cn 北京大学地球与空间科学学院

目录

› 宇宙的起源

奇点、能量、基本粒子、光、原子、恒星、星系

宇宙的最终命运

› 太阳系形成和组成

太阳系在银河系中的位置

太阳及行星的形成过程

太阳系组成和大小

› 地球和月球

地球和月球的形成过程和相互影响

地球的位置、尺寸、结构、磁场

地球表面的演变过程



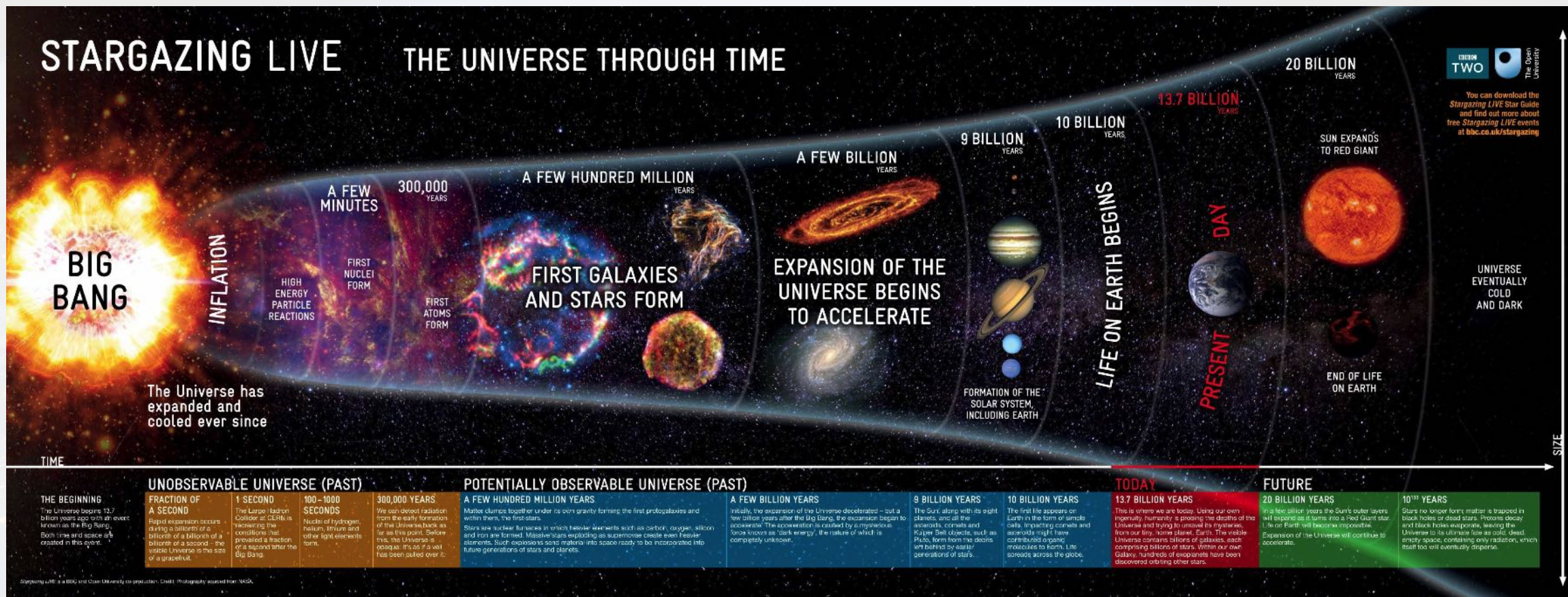
宇宙的起源：大爆炸

- 一切从137亿年前的一点开始：
所有一切的开端：能量、时间、空间、物质



大爆炸之后：宇宙历史

› 能量→时间→空间→物质→结构



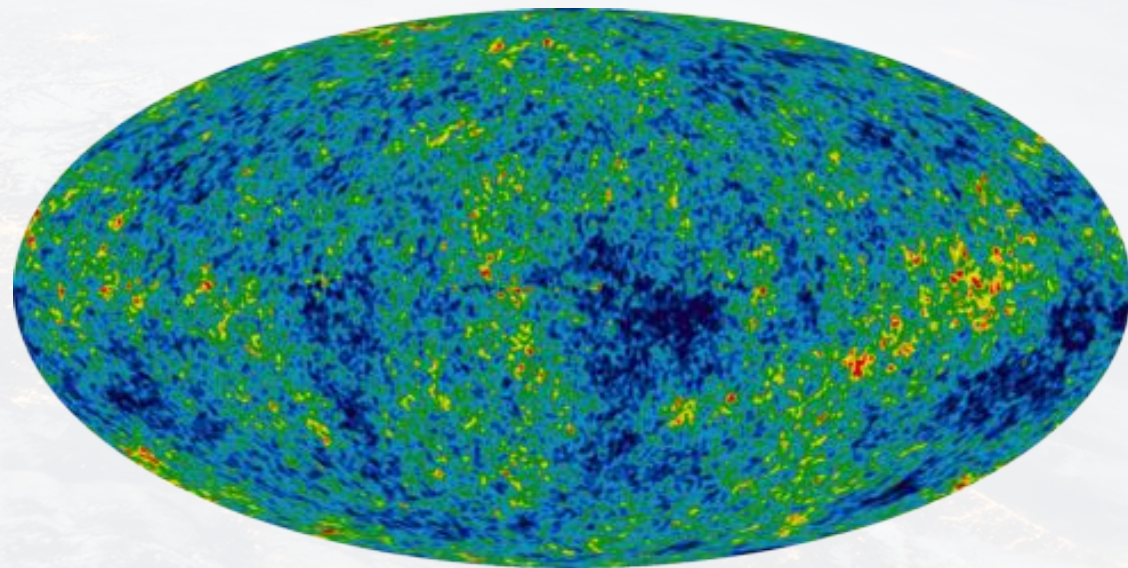
宇宙时间线

地球与人类文明

时间	空间	能量	物质与结构
0	0	无穷	没有物质，只有能量
10^{-32} 秒	几厘米	10^{27} 度	暴胀期，夸克，电子，光
10^{-6} 秒	十万亿分之一	10^{13} 度	形成原子核构件：质子，中子
3分钟	十亿分之一	1亿度	最简单的氢氦原子核形成
38万年	$0.0009x \sim 0.1x$	3,000度	形成原子，人类能探测到的宇宙微波背景辐射，无发光体，进入黑暗时期
1000~1700万年		0-100度	有趣的宇宙早期 “适居时期”
3亿年	$0.1x$	-260度	第一颗恒星开始闪耀，核聚变导致重元素开始形成（碳、氧、硅、铁）
100亿年	$0.77x$		暗能量引起宇宙加速膨胀
137亿年	$1x$	-270度	今天的宇宙，持续膨胀，恒星和星系更难形成

有趣的“适居时期”

- › 宇宙温度从数千亿度下降到现在的-270度，必定经过0-100度这个阶段
- › 宇宙诞生1000-1700万年之间，平均温度正是这个温度，这是能够存在液态水的温度
- › 那么，在这段时间里会不会产生生命呢？



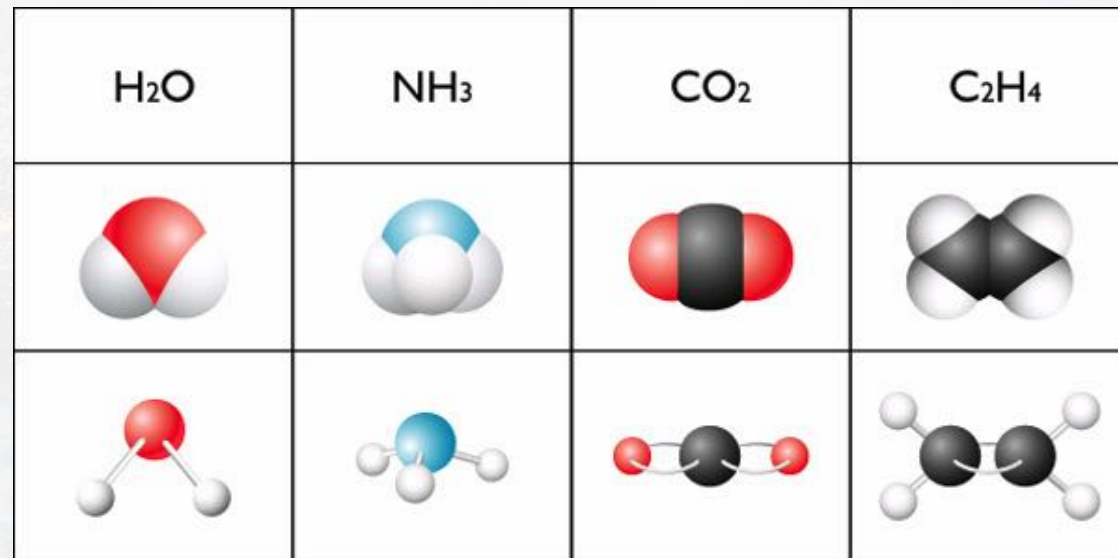
大爆炸后38万年，微波背景辐射

有趣的“适居时期”

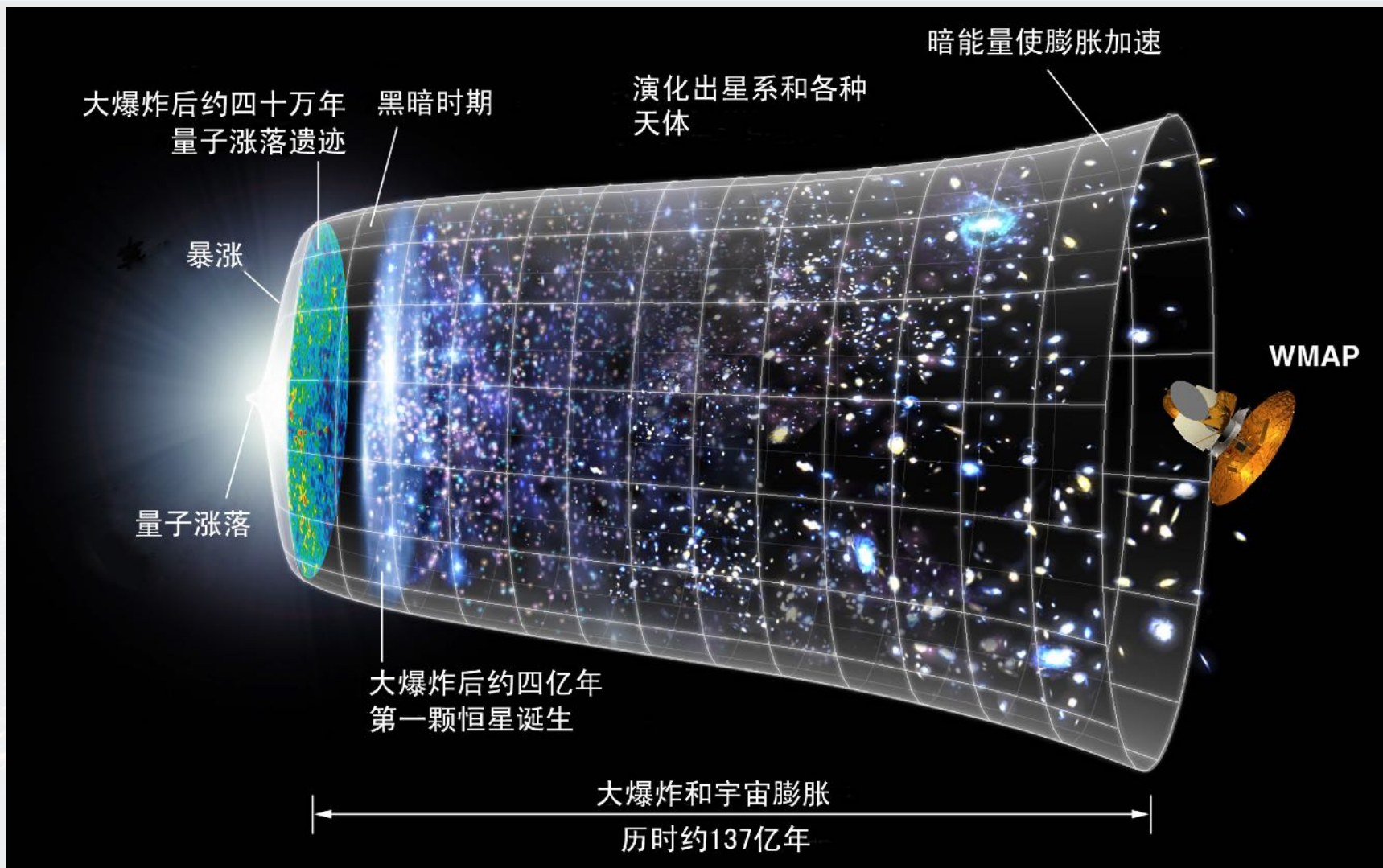
主要问题有：

水除了氢元素，还需要氧元素，生命需要碳元素，那么早的早期，没有出现恒星进行核聚变的话，碳氧这样的重元素难以出现；

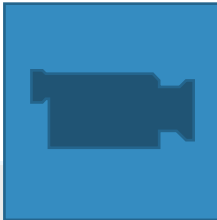
“适居时期”仅有700万年的很短时间，可能不够演化到生命。



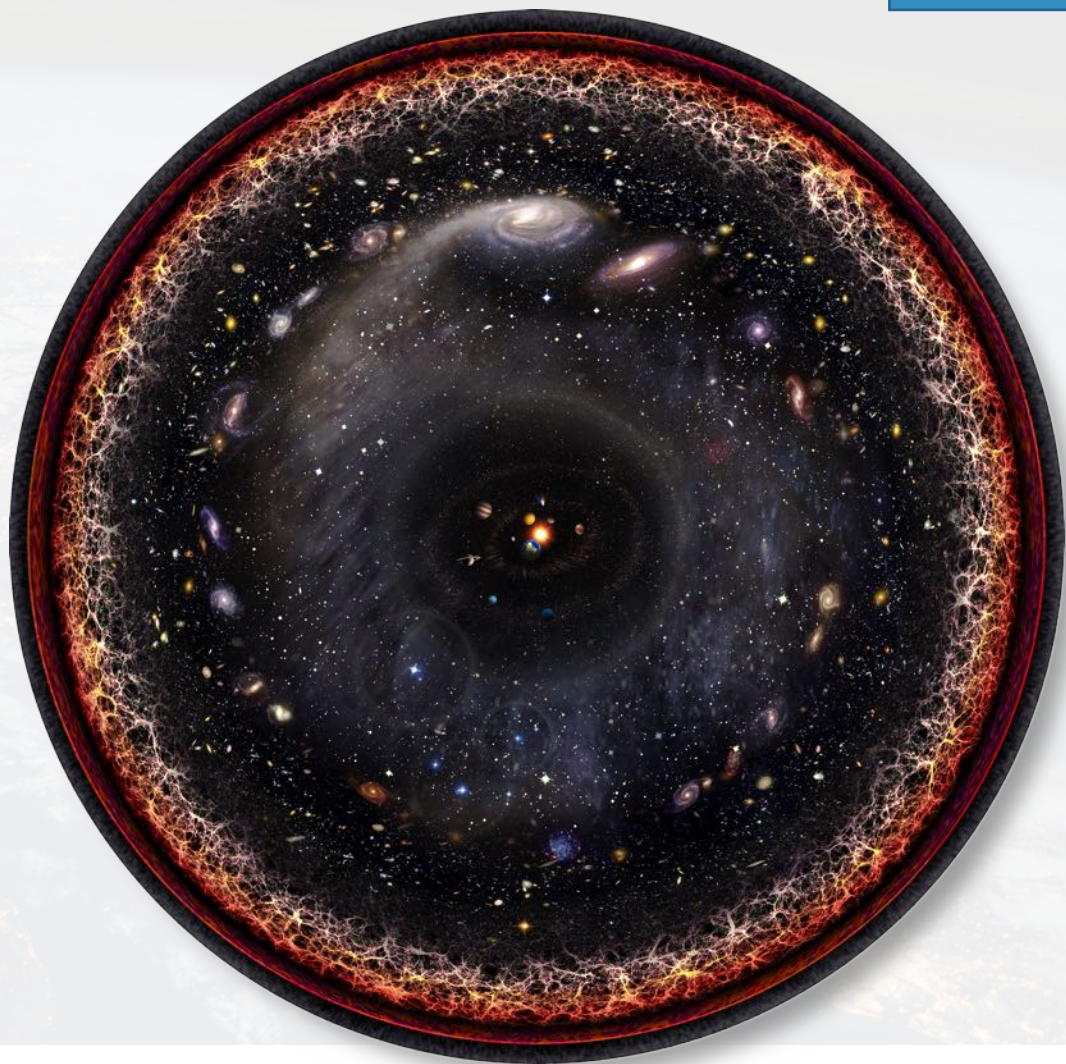
时间与空间



宇宙的大小？



- › 宇宙的年龄137亿年
- › 那么宇宙半径就是137亿光年么？
- › 实际上，考虑宇宙膨胀的因素，“可观测宇宙”的直径是930亿光年
- › 可观测宇宙包含了1000亿个象银河这样的星系，每个星系有1000亿个象太阳这样的恒星



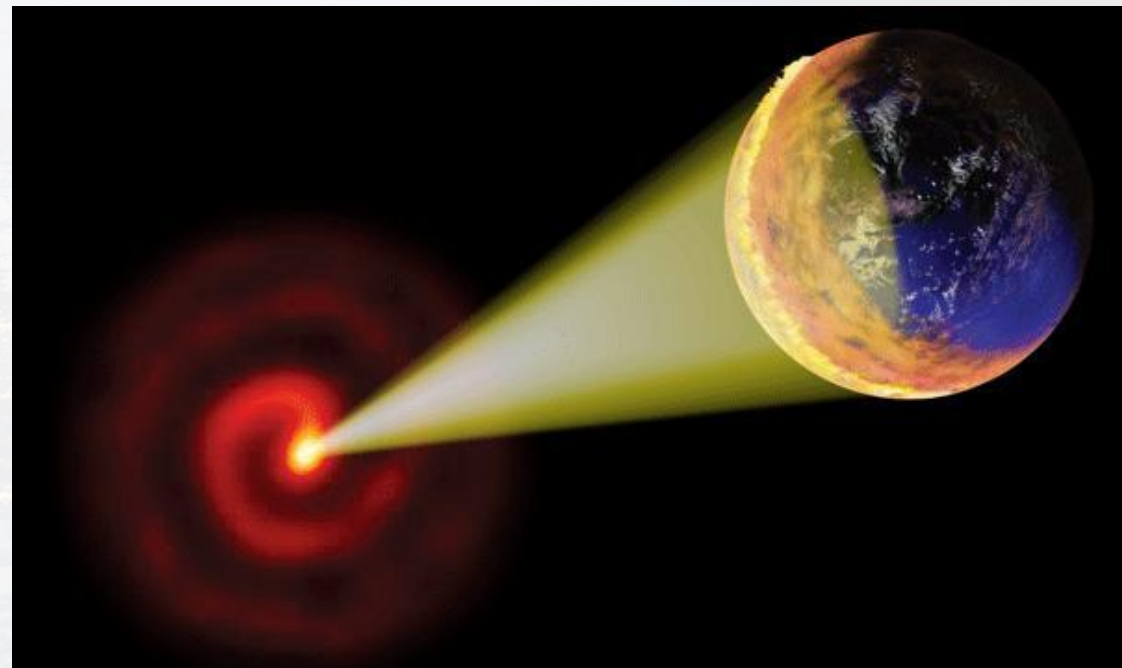
宇宙中的生命

- › 目前所知只有地球上存在生命和智慧文明
- › 宇宙如此之大，
- › 地球是孤独的么？
- › 人类是孤独的么？
- › 泛种论Panspermia
- › 外源论Exogenesis



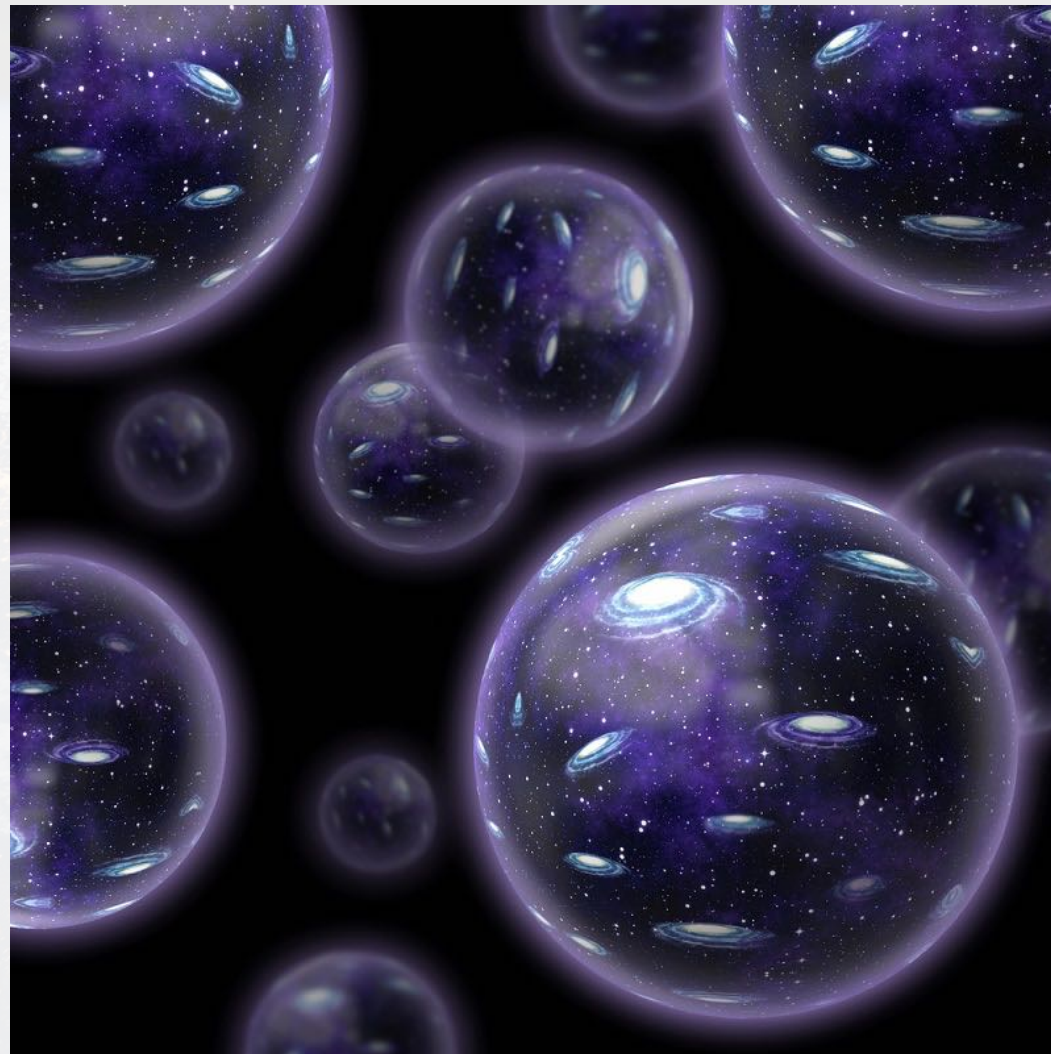
危险的宇宙：伽马射线暴

- › 超新星爆炸产生穿透力极强的**高能电磁波**
- › **破坏DNA**，所到之处生命几乎完全灭绝
- › 地球的第一次**物种大灭绝**出现在6亿年前的奥陶纪，理论认为是伽马射线爆袭击导致75%物种消失
- › 对宇宙**生命演化**有巨大影响



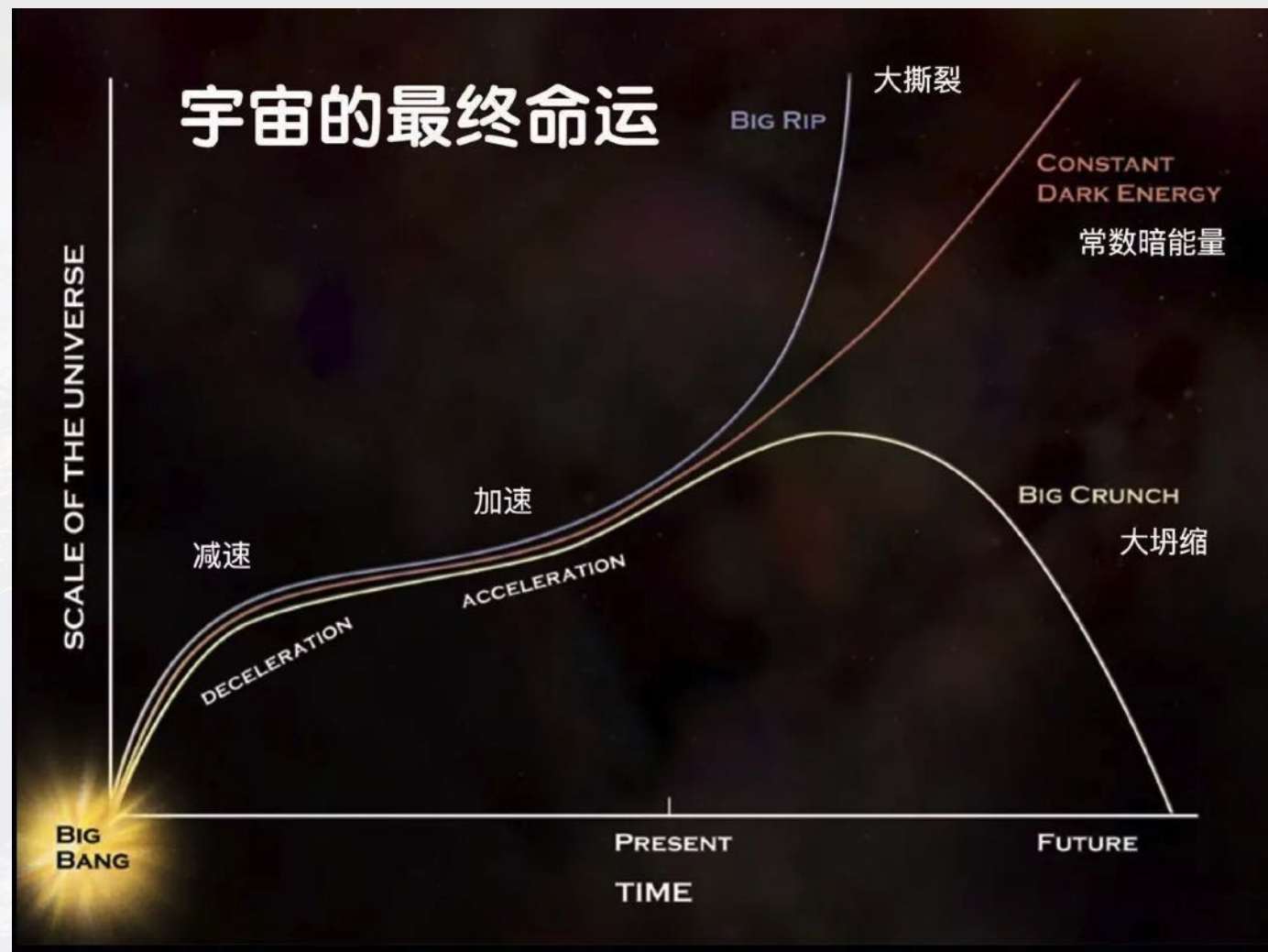
关于宇宙的疑问

- › 大爆炸之前发生了什么事情？
- › 大爆炸是在哪里发生的？
- › 宇宙之外是什么？
- › 平行宇宙？



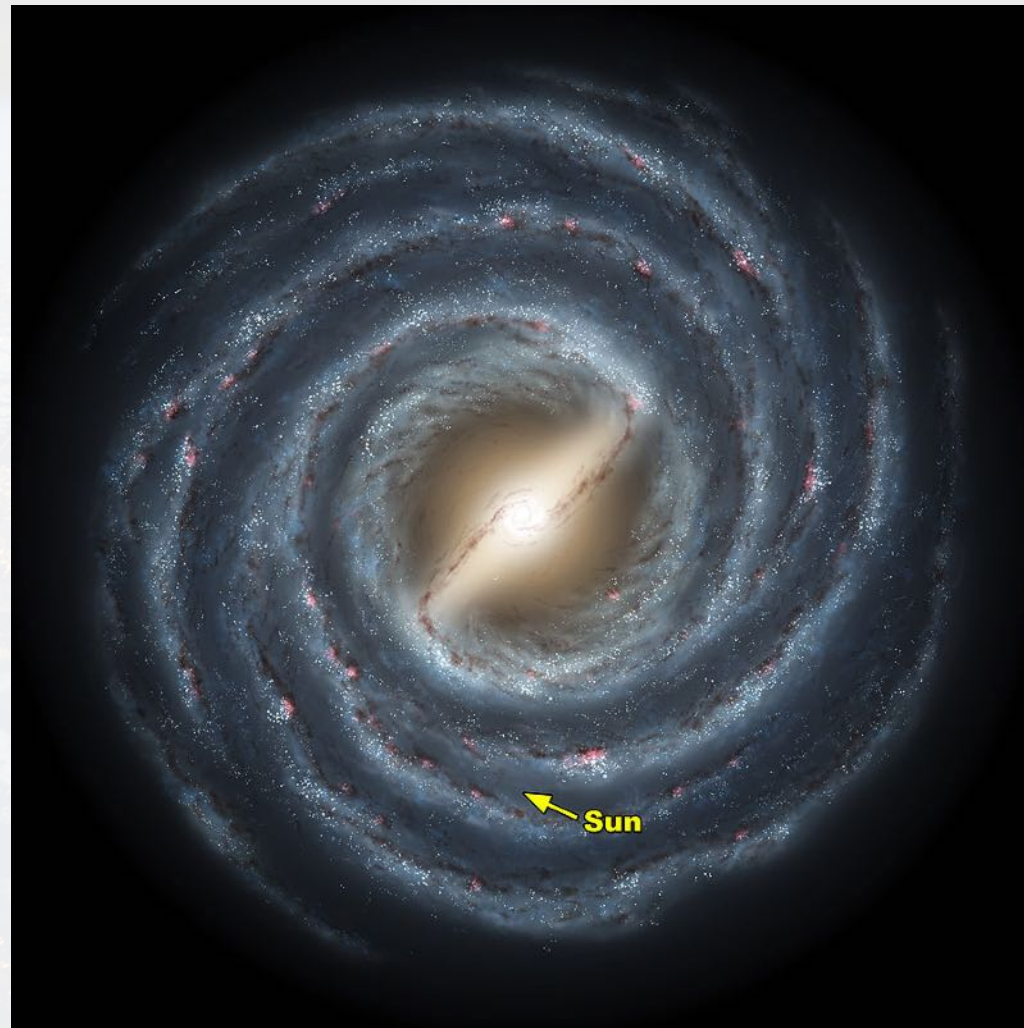
宇宙的最终命运

- › 宇宙热寂说
科幻“The Last Question”
(课程网站搜索)
- › 大坍缩 “Big Crunch”
- › 大撕裂 “Big Rip”
- › 大反弹 “Big Bounce”
无限循环



银河系

- › 银河系Milky Way是包含太阳系的星系
- › 圆盘状直径10万光年；
- › 中心厚度1.5万光年；
- › 包含2000亿颗恒星；
- › 太阳系距离中心2.7万光年，绕行周期为2.2亿年；
- › 最老的恒星几乎跟宇宙一样古老。

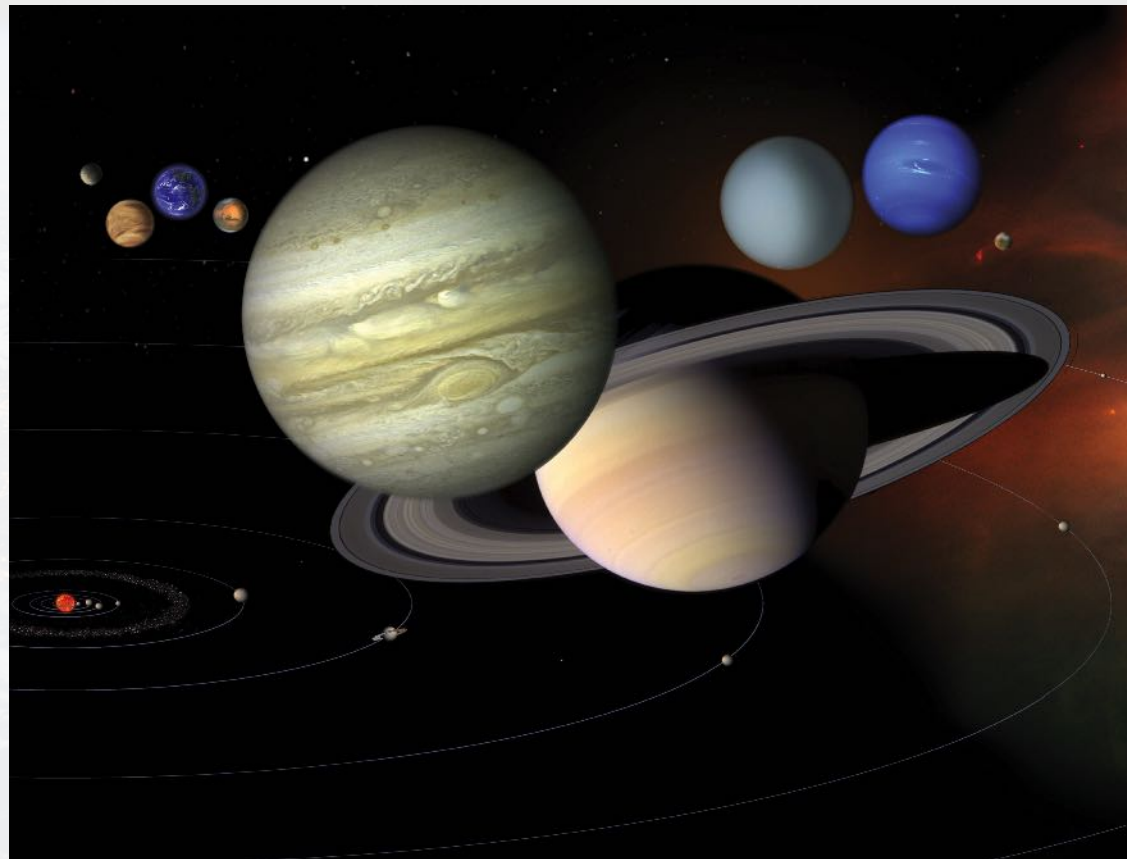


银河系



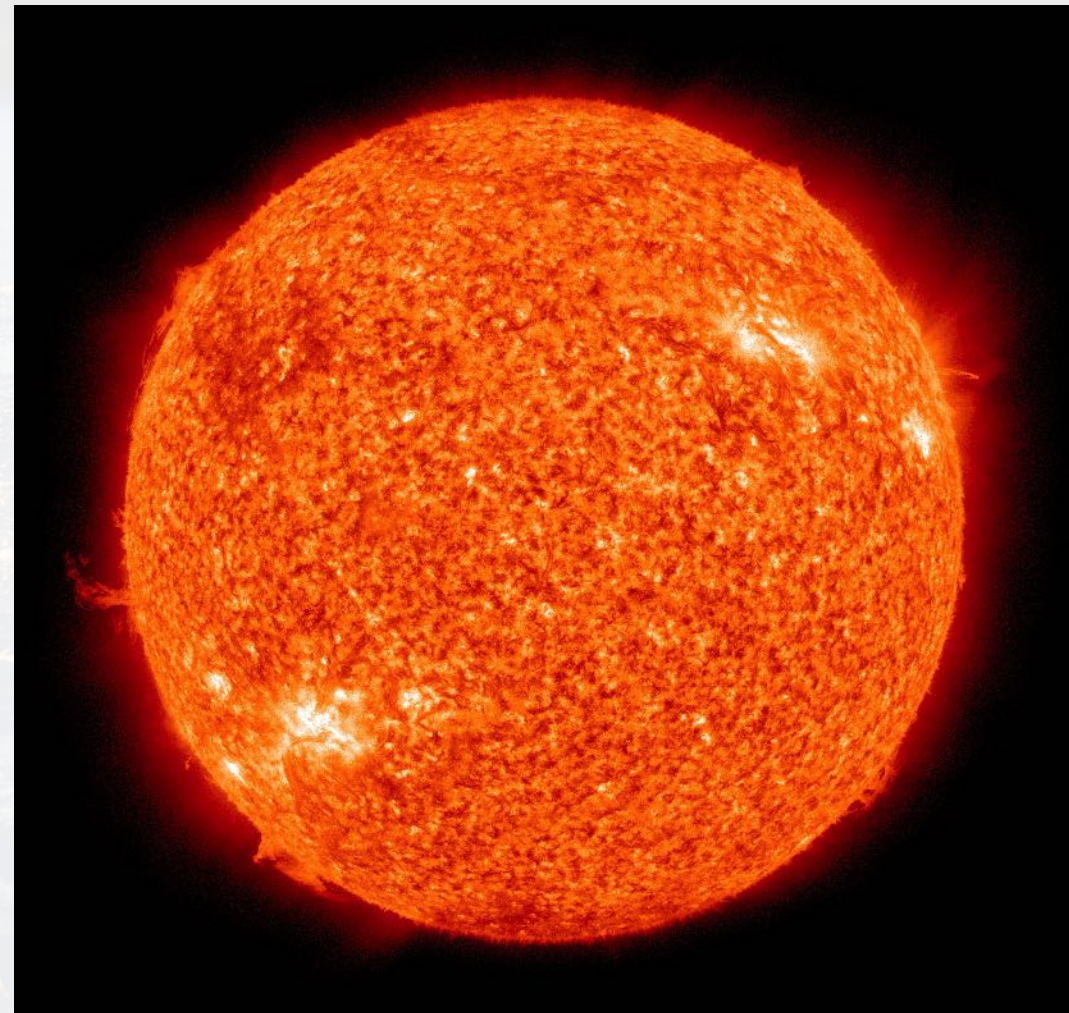
太阳系

- › 太阳系Solar System是包含地球的行星系统
- › 46亿年前由氢分子云引力坍塌形成，引发核聚变，开始燃烧
- › 核聚变产生大量重元素，形成行星
- › 太阳到地球的距离是太阳系距离单位AU（天文单位），1.5亿公里，8光分。



太阳

- › 完美球体，半径69.6万千米，地球的109倍
- › 质量是地球33万倍，集中了整个太阳系99.86%的质量
- › 寿命100亿年，但10亿年以后将导致地球升温至不存在液态水
- › 辐射功率 3.86×10^{26} 瓦



太阳的化学成分

地球与人类文明

氢	氦	氧	碳	铁	氖	氮	硅	镁	硫
H	He	O	C	Fe	Ne	N	Si	Mg	S
73.46%	24.85%	0.77%	0.28%	0.16%	0.12%	0.09%	0.07%	0.05%	0.04%

元素周期表

周期	族	I A	II A											III A	IV A	V A	VI A	VII A	0	电子层	0 族	电子数
1		1 H 氢 1.008 1s ¹																	2 He 氦 4.003 1s ²	K	2	
2		3 Li 锂 6.941 2s ¹	4 Be 铍 9.012 2s ²																	10 Ne 氖 20.18 2s ² 2p ⁶	L K	8 2
3		11 Na 钠 22.99 3s ¹	12 Mg 镁 24.31 3s ²	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII		I B	II B	13 Al 铝 26.98 3s ² 3p ¹	14 Si 硅 28.09 3s ² 3p ²	15 P 磷 30.97 3s ² 3p ³	16 S 硫 32.06 3s ² 3p ⁴	17 Cl 氯 35.45 3s ² 3p ⁵	18 Ar 氩 39.95 3s ² 3p ⁶	M L K	8 8 2		
4		19 K 钾 39.10 4s ¹	20 Ca 钙 40.08 4s ²	21 Sc 钪 44.96 3d ¹ 4s ²	22 Ti 钛 47.87 3d ² 4s ²	23 V 钒 50.94 3d ³ 4s ²	24 Cr 铬 52.00 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 锰 54.94 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 铁 55.85 3d ⁶ 4s ²	27 Co 钴 58.93 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 镍 58.69 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 铜 63.55 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 锌 65.41 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 镓 69.72 4s ² 4p ¹	32 Ge 锗 72.64 4s ² 4p ²	33 As 砷 74.92 4s ² 4p ³	34 Se 硒 78.96 4s ² 4p ⁴	35 Br 溴 79.90 4s ² 4p ⁵	36 Kr 氪 83.80 4s ² 4p ⁶	N M L K	8 18 8 2	
5		37 Rb 铷 85.47 5s ¹	38 Sr 锶 87.62 5s ²	39 Y 钇 88.91 4d ¹ 5s ²	40 Zr 锆 91.22 4d ² 5s ²	41 Nb 铌 92.91 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 钼 95.94 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 锝 (98) 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 钌 101.1 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 铑 102.9 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 钯 106.4 4d ¹⁰	47 Ag 银 107.9 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 镉 112.4 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 铟 114.8 5s ² 5p ¹	50 Sn 锡 118.7 5s ² 5p ²	51 Sb 锑 121.8 5s ² 5p ³	52 Te 碲 127.6 5s ² 5p ⁴	53 I 碘 126.9 5s ² 5p ⁵	54 Xe 氙 131.3 5s ² 5p ⁶	O N M L K	8 18 18 8 2	
6		55 Cs 铯 132.9 6s ¹	56 Ba 钡 137.3 6s ²	57~71 La~Lu 镧系		72 Hf 铪 178.5 5d ² 6s ²	73 Ta 钽 180.9 5d ³ 6s ²	74 W 钨 183.8 5d ⁴ 6s ²	75 Re 铼 186.2 5d ⁵ 6s ²	76 Os 锇 190.2 5d ⁶ 6s ²	77 Ir 铱 192.2 5d ⁷ 6s ²	78 Pt 铂 195.1 5d ⁹ 6s ¹	79 Au 金 197.0 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg 汞 200.6 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl 铊 204.4 6s ² 6p ¹	82 Pb 铅 207.2 6s ² 6p ²	83 Bi 铋 209.0 6s ² 6p ³	84 Po 钋 (209) 6s ² 6p ⁴	85 At 砹 (210) 6s ² 6p ⁵	86 Rn 氡 (222) 6s ² 6p ⁶	P O N M L K	8 18 32 18 8 2

原子序数
元素名称
注*的是
人造元素

92 U
铀
5f³6d¹7s²
238.0

元素符号，红色
指放射性元素

铀
5f³6d¹7s²
238.0

外围电子层排布，括号
指可能的电子层排布
相对原子质量(加括号的数
据为该放射性元素半衰期
最长同位素的质量数)

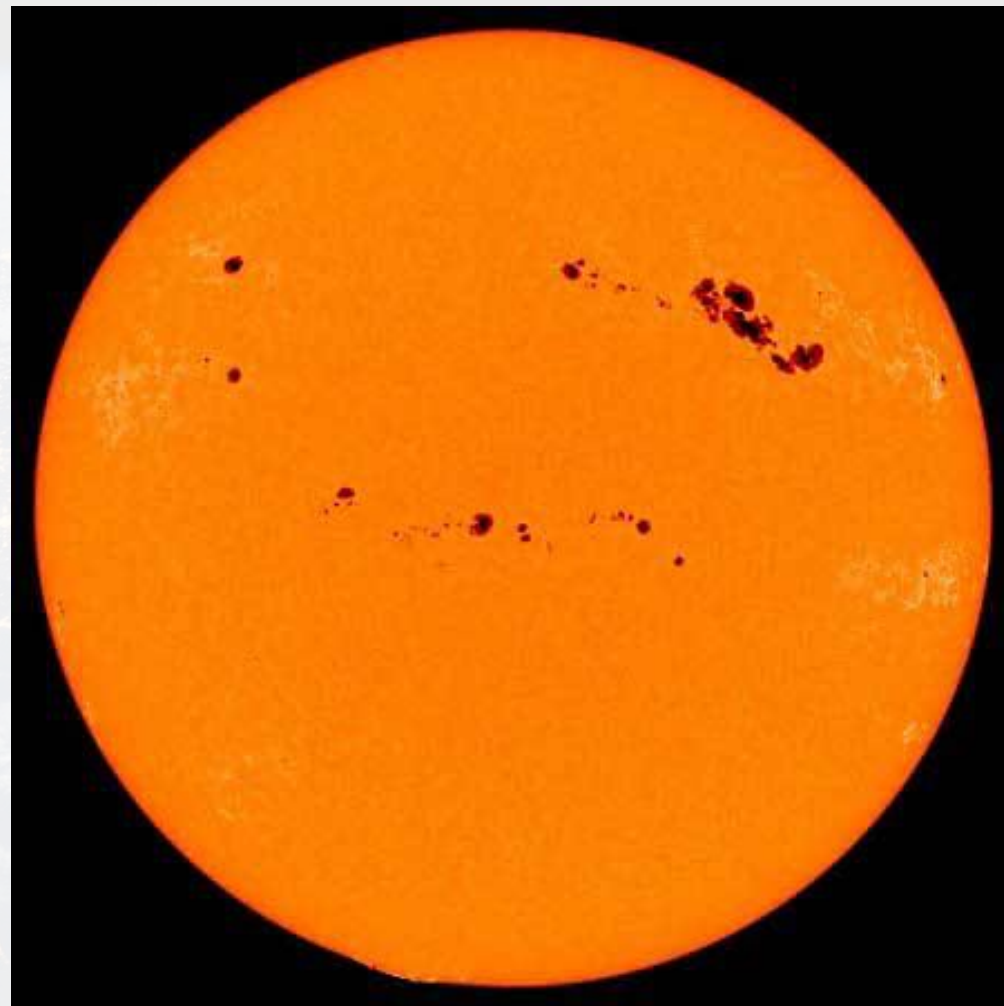
非金属

金属

过渡元素

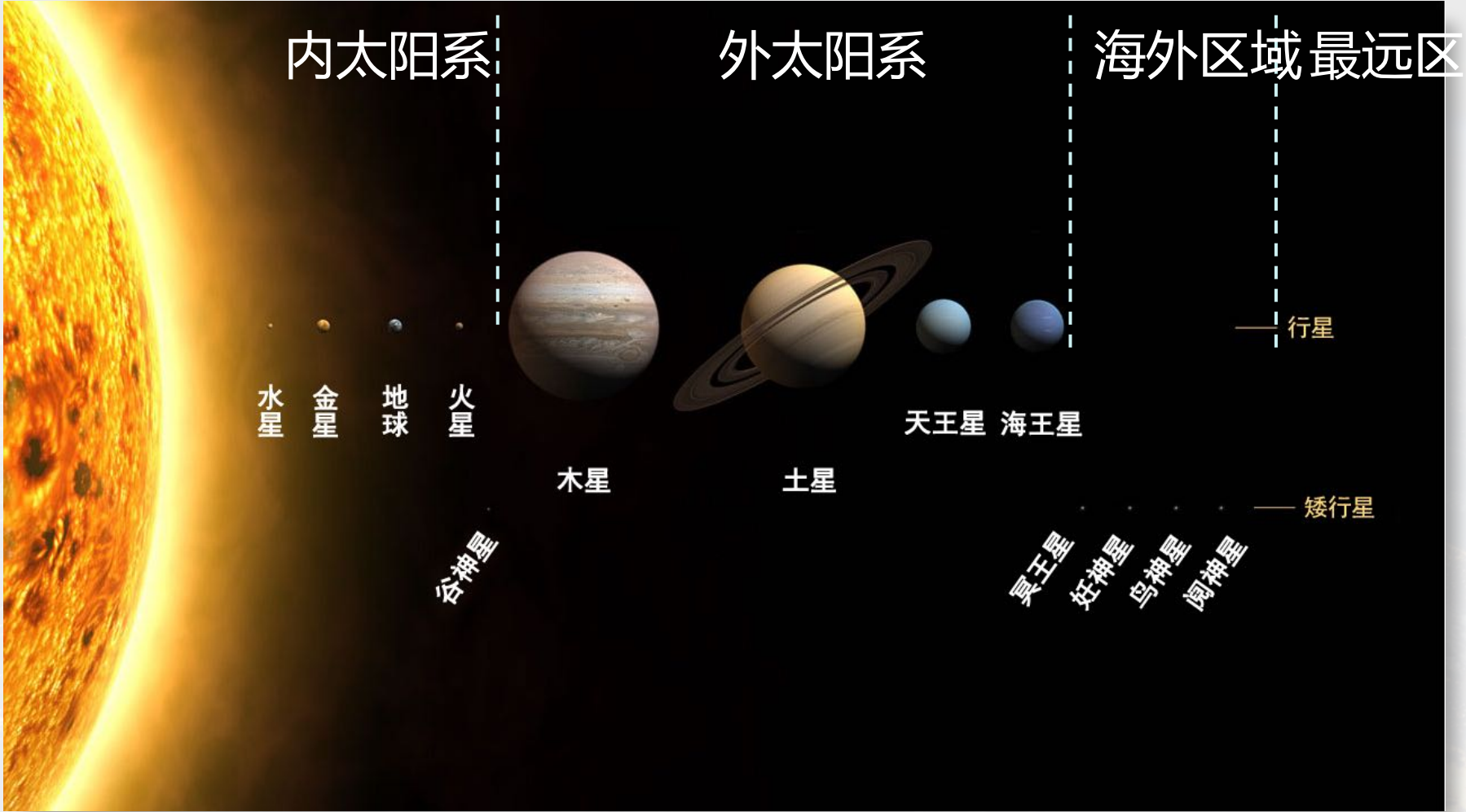
太阳对地球的影响

- › 太阳辐射到地球的能量为总功率的22亿分之一， 1.7×10^{17} 瓦，30%被反射回太空
- › 而人类目前总能耗功率 $16\text{TW} = 1.6 \times 10^{13}$ 瓦
- › 太阳风、太阳黑子、太阳耀斑：太阳活动产生高能粒子流，影响地球的大气、磁场和生物基因变异



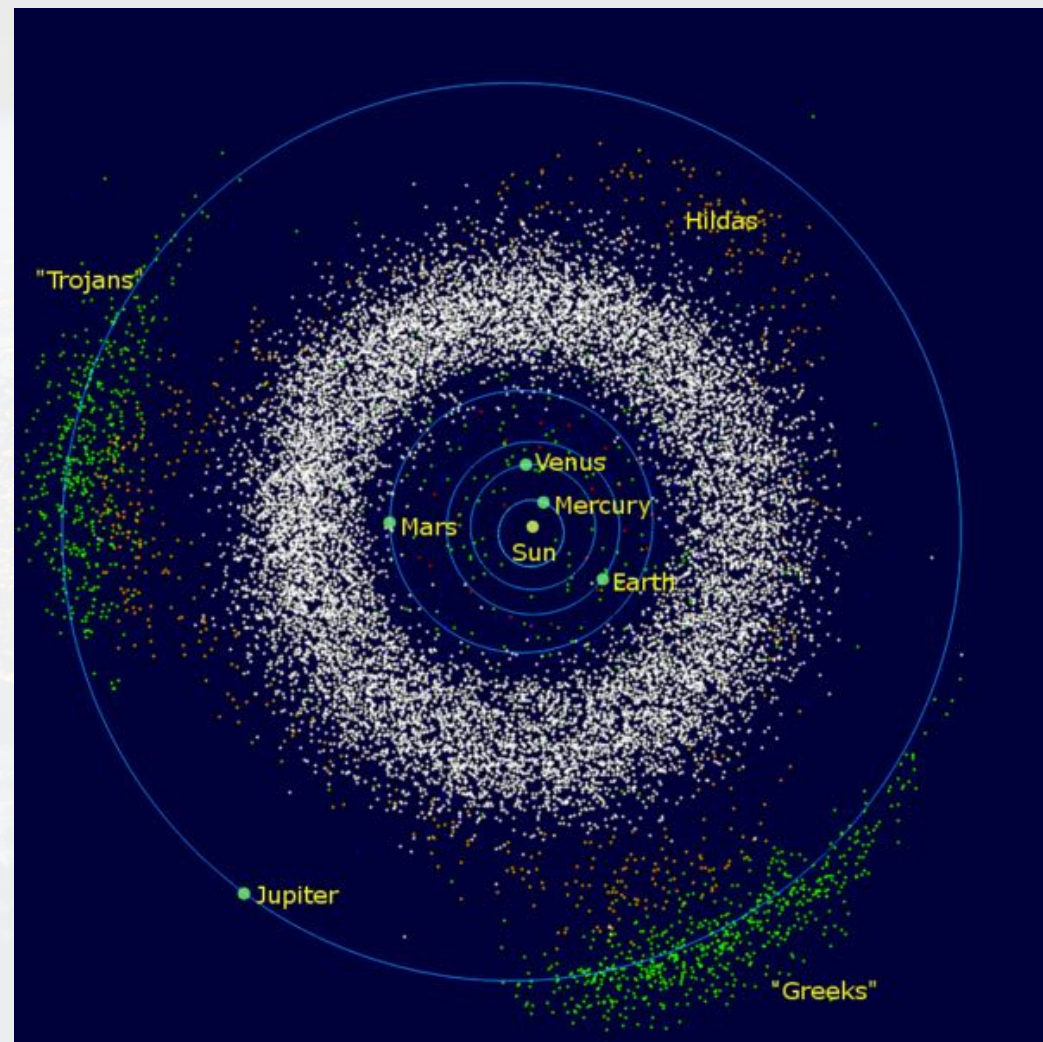
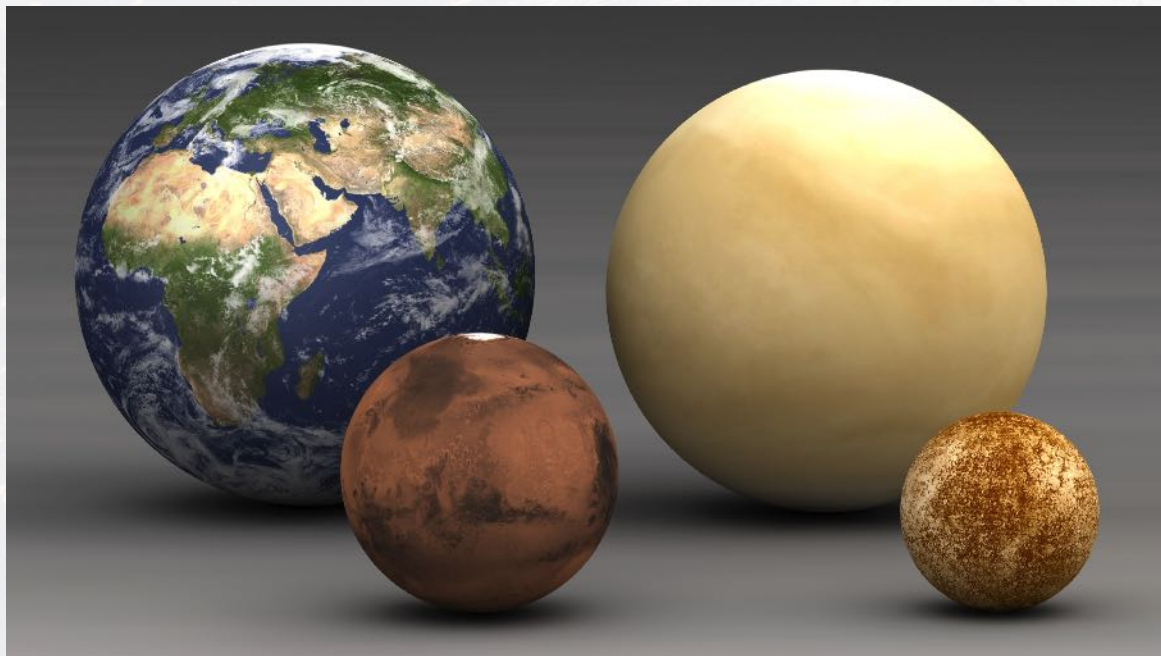
太阳系的天体

地球与人类文明



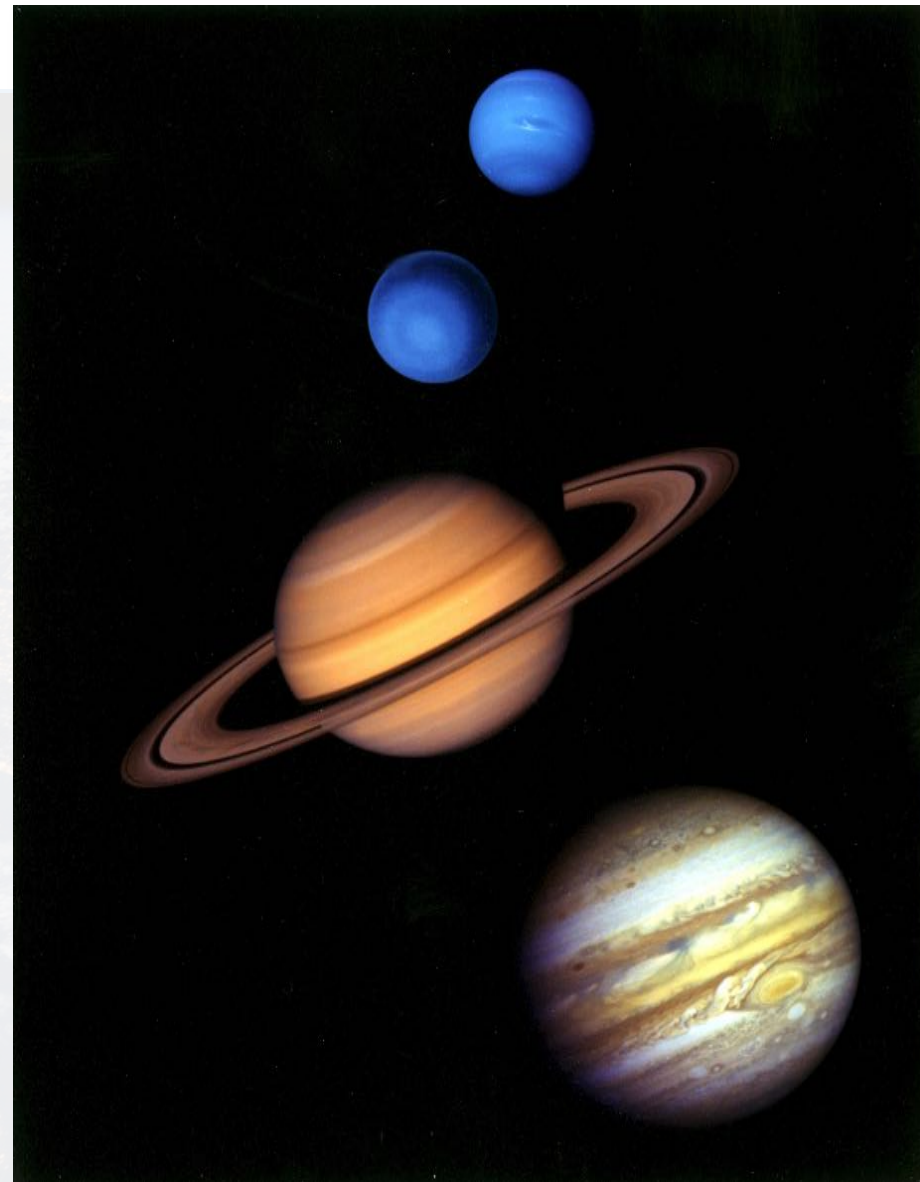
内太阳系

- › 内行星主要由岩石和金属构成
- › 水星、金星、地球、火星、小行星带
- › 最远距离为5AU（约7亿公里）



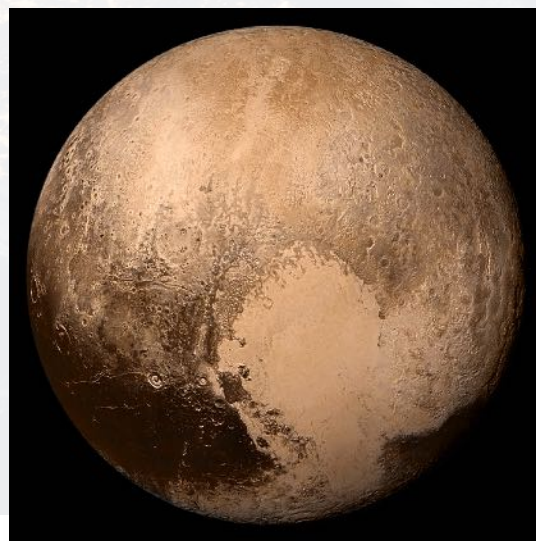
外太阳系

- › 外行星主要由气体、冰构成
氢、氦
水、甲烷、氨、氮
- › 木星、土星、天王星、海王星
- › 都是巨行星，占据环绕太阳天体质量99%
- › 最远距离30AU
- › 短周期的彗星也混迹其中



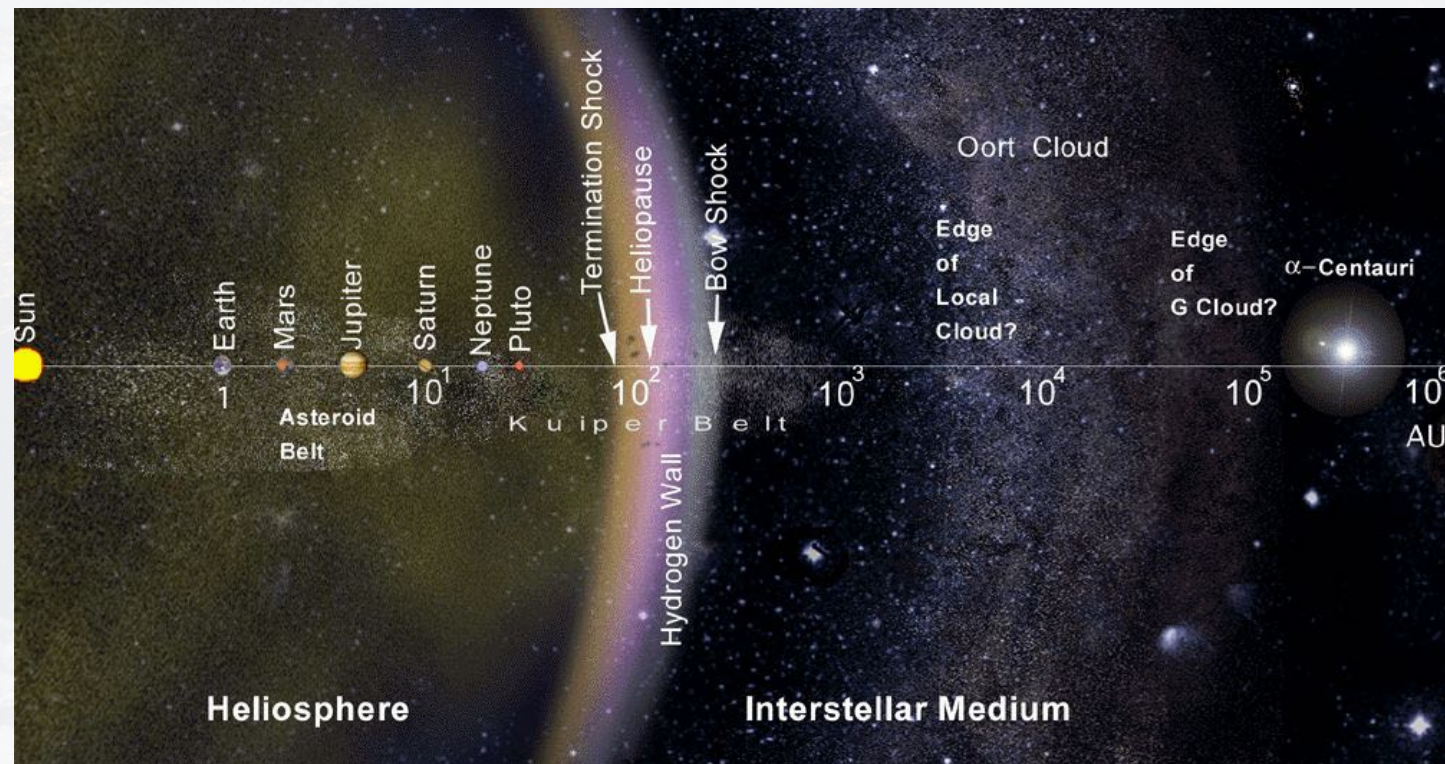
海王星外区域

- › 有大量冰和岩石碎屑构成的天体；
 - › 包括柯伊伯带（30-50AU）
 - › 离散盘（远到几百AU）
 - › 冥王星（40AU）也在其中
- 2006年1月人们发射了新视野号探测第九大行星
- 2006年9月冥王星被降格为小行星
- 2015年7月14日新视野号掠过冥王星



太阳系最远的区域

- › 太阳主导的区域称为太阳圈（heliosphere日球）
距离太阳约100~200AU
太阳引力场超越周围恒星影响的区域可达到2光年（12.5万AU）
- › 最近的恒星比邻星4.22光年



人类所及的宇宙范围

› 太空探测器heavens-above.com (2016-9)

	先驱者10号	先驱者11号	旅行者2号	旅行者1号	新视野号
至太阳距离 (天文单位 (AU))	116.836	95.898	112.239	136.195	36.479
相对太阳的速度 (千米/秒(km/s))	11.976	11.286	15.370	16.997	14.341
相对太阳的速度 (天文单位/年(AU/y))	2.526	2.381	3.242	3.586	3.025
至地球距离 (天文单位 (AU))	116.706	95.635	111.928	136.350	36.172
单程光时 (小时(h))	16.18	13.26	15.51	18.90	5.01
卫星是否仍能正常运作？	否	否	是	是	是
发射日期	1972-03-03	1973-04-06	1977-08-20	1977-09-05	2006-01-19

人类所及的宇宙范围

› 太空探测器heavens-above.com (2017-9)

	先驱者10号	先驱者11号	旅行者2号	旅行者1号	新视野号
至太阳距离 (天文单位 (AU))	119.345	98.243	115.395	139.756	39.455
相对太阳的速度 (千米/秒(km/s))	11.963	11.267	15.356	16.988	14.213
相对太阳的速度 (天文单位/年(AU/y))	2.524	2.377	3.239	3.584	2.998
至地球距离 (天文单位 (AU))	119.237	97.956	115.068	139.892	39.118
单程光时 (小时(h))	16.53	13.58	15.95	19.39	5.42
卫星是否仍能正常运作？	否	否	是	是	是
发射日期	1972-03-03	1973-04-06	1977-08-20	1977-09-05	2006-01-19

地球

- › 太阳系第3颗行星，是人类和数百万种生物的家園
- › 46亿年前形成于天体大碰撞及融合
- › 38亿年前开始凝固，冷却，形成海洋；
- › 35亿年前，出现磁场有助于保持大气层
- › 外层冷却凝固形成地壳
- › 内部核裂变产生热量不断散失，驱动地壳板块运动，数亿年间3次分合



地球的化学成分

地球与人类文明

铁	氧	硅	镁	硫	镍	钙	铝	钨	金
Fe	O	Si	Mg	S	Ni	Ca	Al	W	Au
32.1%	30.1%	15.1%	13.9%	2.9%	1.8%	1.5%	1.4%		

元素周期表

周期	I A	II A											III A	IV A	V A	VI A	VII A	0	电子层	0 族电子数
1	1 H 1.008																	2 He 4.003	K	2
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	L	8
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95	M	8
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80	N	18
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	O	18
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57~71 La~Lu 镧系	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	P	18

原子序数
元素名称
注*的是
人造元素

92 U
铀
5f⁶6d¹7s²
238.0

元素符号, 红色
指放射性元素

非金属

金属

过渡元素

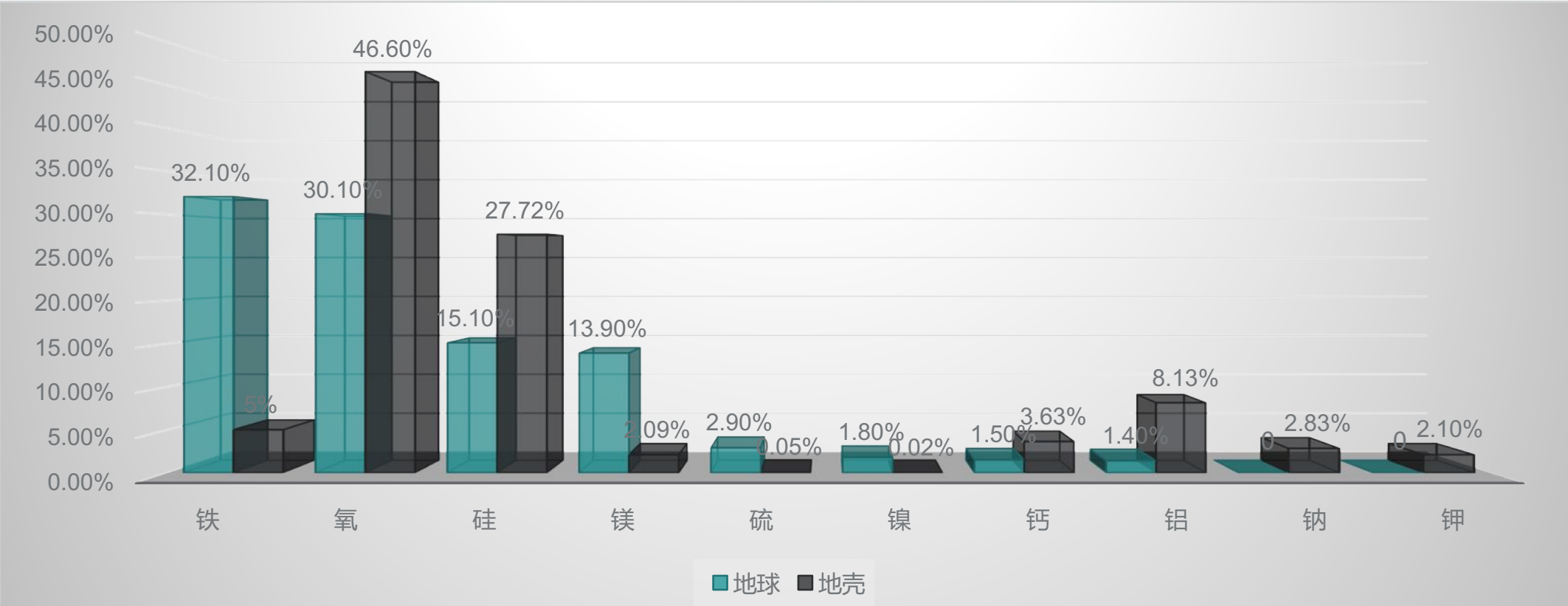
外围电子层排布, 括号
指可能的电子层排布

相对原子质量(加括号的数
据为该放射性元素半衰期
最长同位素的质量数)

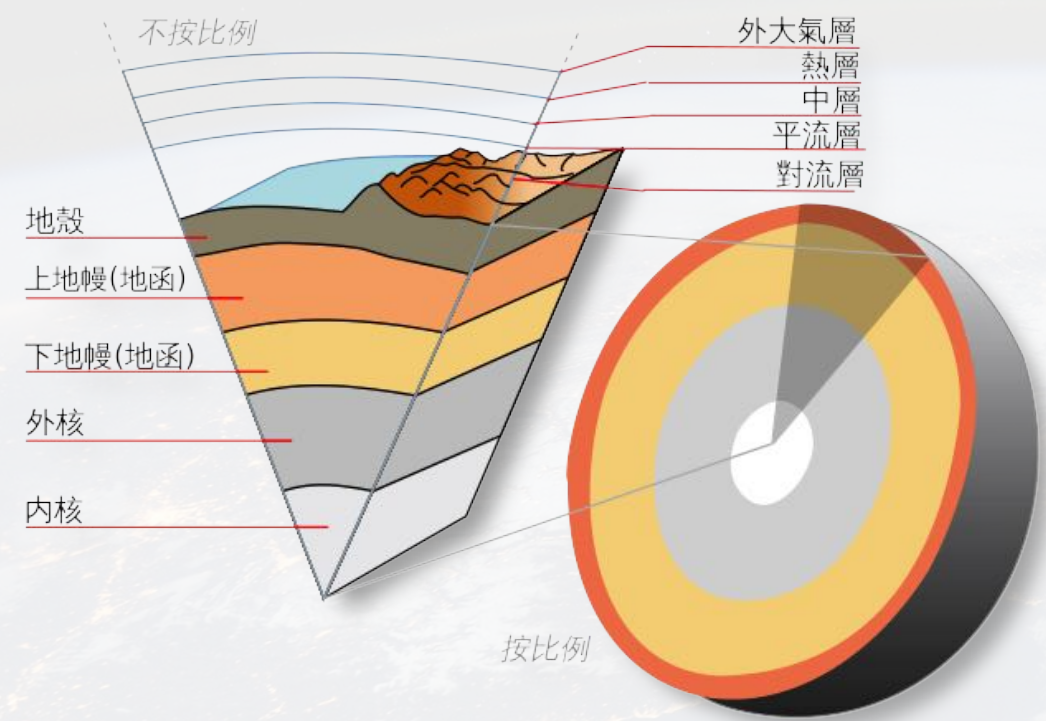
地壳的化学成分

地球与人类文明

氧	硅	铝	铁	钙	钠	钾	镁	钛	氢
O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	Ti	H
46.6%	27.72%	8.13%	5%	3.63%	2.83%	2.10%	2.09%	0.44%	0.14%



地球的构造



地球的内外核有明显的区别，这是其它类地行星所没有的特征。

深度 (km)	组件层	密度 (g/cm3)
0-60	岩石圈	—
0-35	地壳	2.2-2.9
35-60	地幔顶层	3.4-4.4
35-2,890	地幔	3.4-5.6 (黏稠)
100-700	软流层	— (黏度低)
2,890-5,100	外核	9.9-12.2 (黏度非常低)
5,100-6,378	内核	12.8-13.1 (固体)

地球与人类文明

-
- A close-up photograph of a cracked egg on a dark, textured surface. The egg is light brown and has several cracks, with some of the shell broken off, revealing a bright yellow yolk. The egg is positioned in the center of the frame, and the background is dark and out of focus.

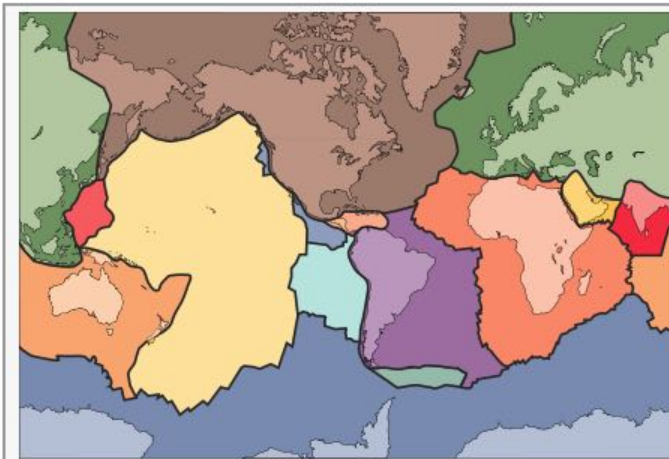


板块构造和漂移

- › 外层的刚性岩石圈分成若干板块；
- › 这些板块漂浮在软流圈之上；
- › 相对聚合、分离、碰撞；
- › 在板块边缘出现地震、火山、造山运动、形成海沟；
- › 板块运动速率每年约几十毫米



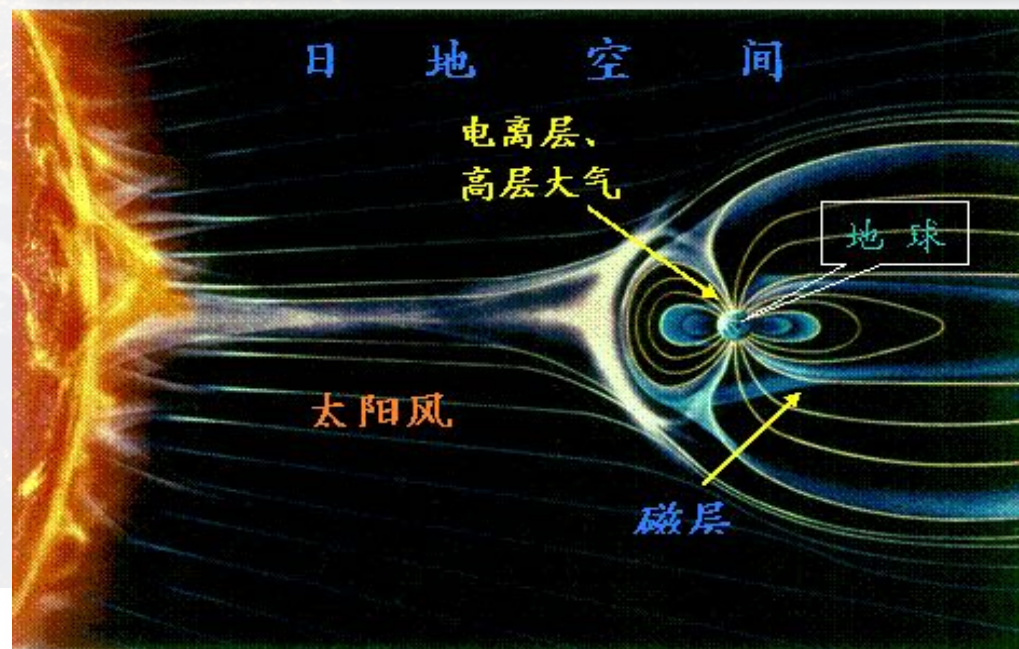
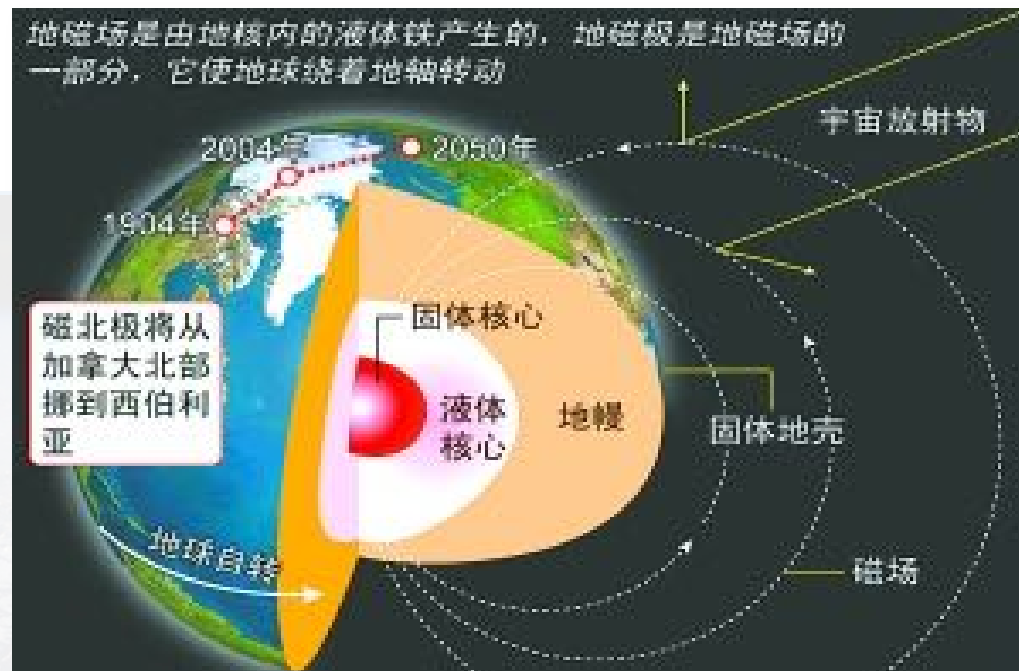
地球的板块构造^[130]



板块名称	板块面积 10 ⁶ km ²
 太平洋板块	103.3
 非洲板块 ^[n 11]	78.0
 北美洲板块	75.9
 欧亚大陆板块	67.8
 南极洲板块	60.9
 印度-澳大利亚板块	47.2
 南美洲板块	43.6

地球的磁场

- › 地核外层是液态的铁
- › 热量对流使得铁熔液变为涡流产生磁场
- › 地球的磁极与南北极接近，但会随时间移动
- › 磁场保护地球大气层不被宇宙射线破坏
- › 也给予许多生物辨认方向的能力



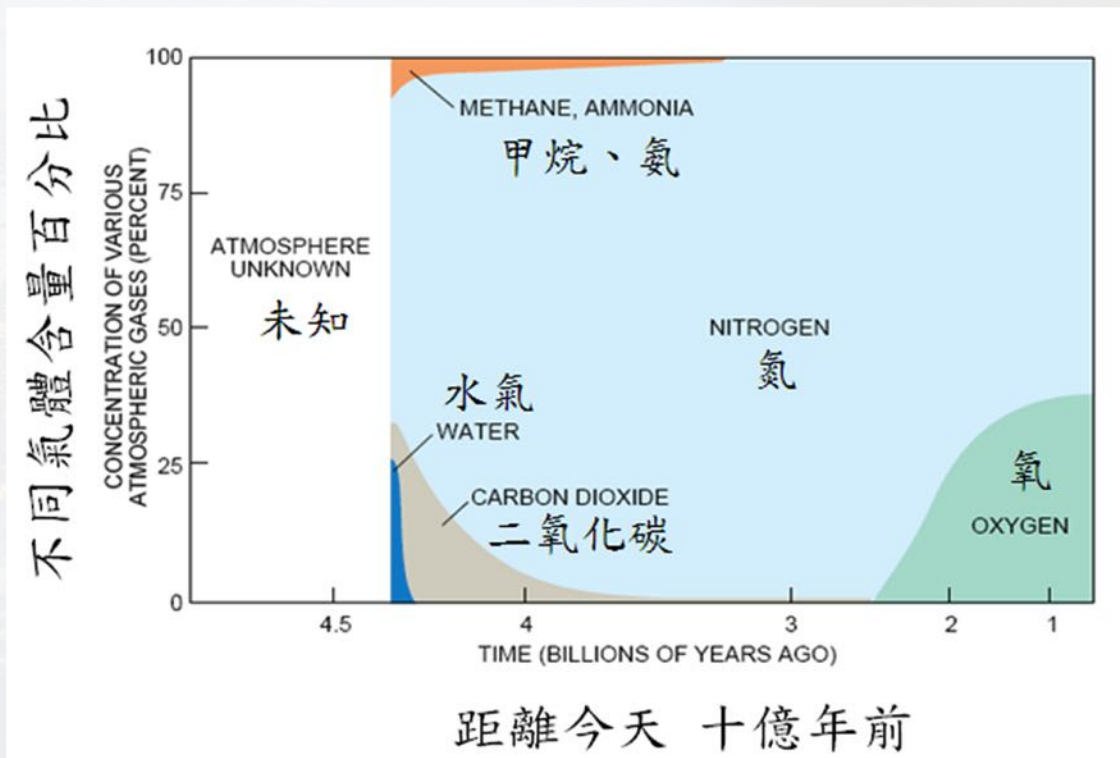
地球的大气

- › 由地球重力保持的一圈混合气体，地球的磁场阻挡了损耗大气的太阳风
- › 几乎所有的大气集中在离地面100公里以下的空间
大气压力表征了大气的浓度，每上升5.5公里，压力约减一半



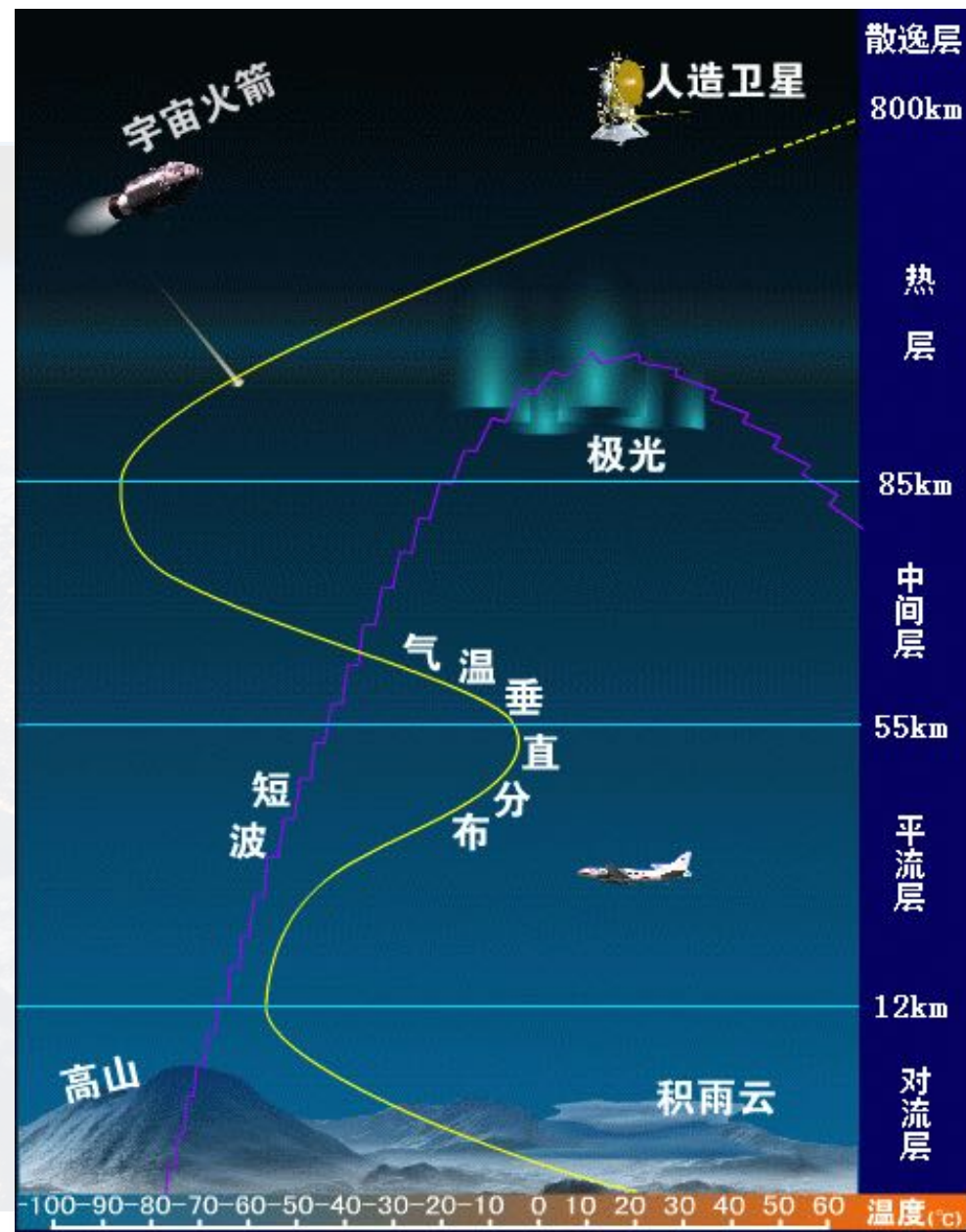
大气成分

- › 地球早期的大气层与现今的完全不同
- › 原始大气推测是：甲烷、氨、氢、水
- › 早期大气主要成分为：二氧化碳、水、氮等
- › 经过长期生物作用，现今大气主要是：氮、氧、氩、二氧化碳、水等



大气的垂直分层

- › 对流层：12公里以下，所有天气现象发生的地方
- › 平流层：12-55公里，含有臭氧，吸收紫外线，保护地球生物
- › 热层包含了电离层，可以反射电磁波，是全球无线通信的基础



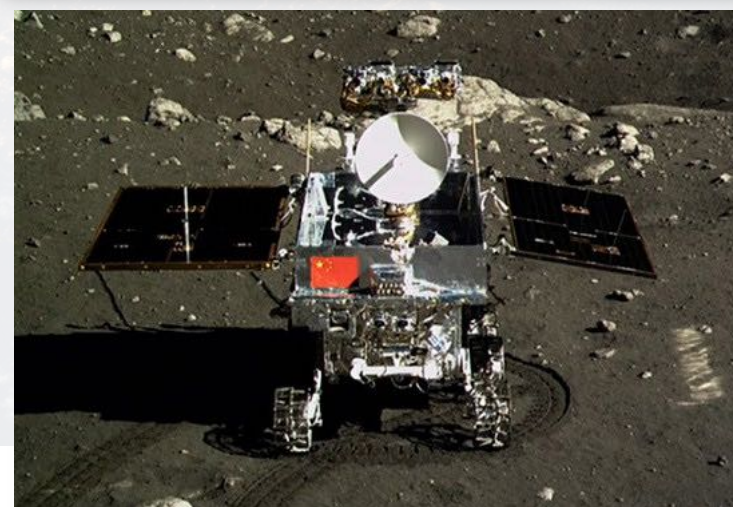
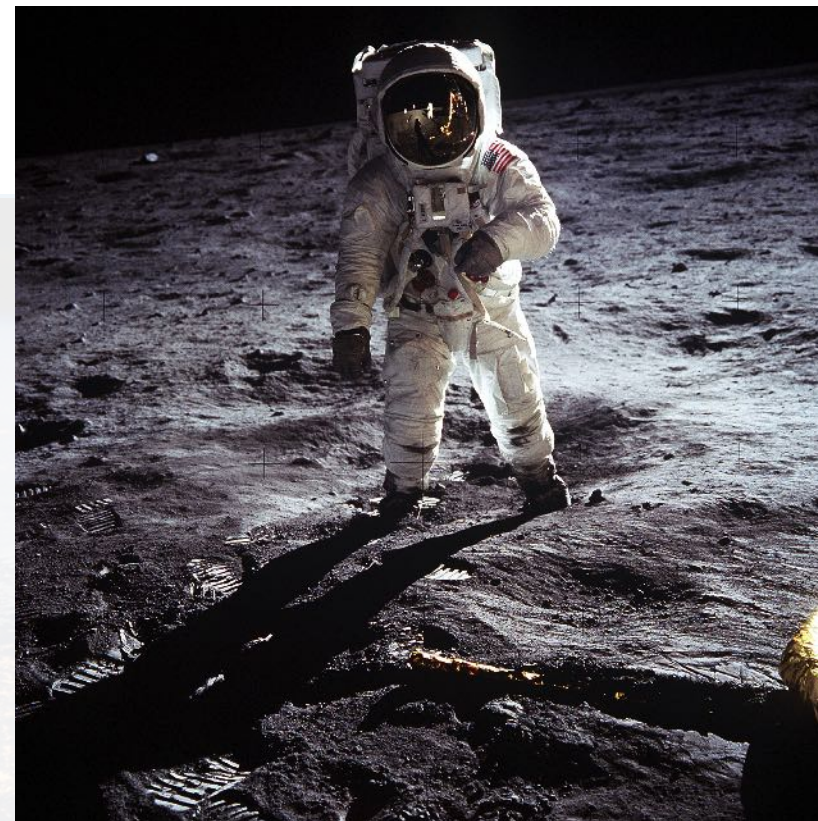
月球

- › 地球的唯一天然卫星
- › 直径是地球的1/4
- › 与地球同期形成，是巨大撞击产生的碎片
- › 自转和公转同步，始终以同一面朝向地球
- › 距离地球约40万公里，1.26光秒
- › 对地球的引力牵引引起地球的潮汐，对生物演化有重要作用



人类登月

- › 月球是人类唯一登陆过的地外星球
- › 1969年阿波罗11号首次载人登陆月球
- › 至1972年人类共6次登月成功
- › 中国的月球车玉兔号于2013年12月14日登陆月球，预计2025-2030间载人登月



关于分组

- › 原则1：每组不超过6人
- › 原则2：每组同一个学院不超过2人
- › 分组后由组长报助教
- › 课堂报告每次1人
- › 每次报告不超过10分钟（严格控制）
- › 报告分：归组
- › 表达分：归报告人



课堂报告1：古文明对宇宙的认识

- › 请查找资料，分组讨论某个古文明对宇宙的认识，包括如下几个方面：
 - 宇宙的起源（创世）；
 - 世界基本元素；
 - 宇宙图景；
 - 天地人的基本关系；
 - 关于时间、空间、物质规模的各类数据；
 - 并与现代科学给出的答案进行对比。
- › 课后阅读：科幻小说《最后的问题》

古希腊
古埃及
古印度
古巴比伦
中国
美洲