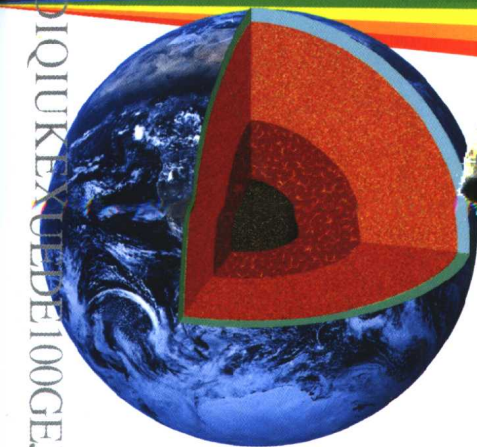
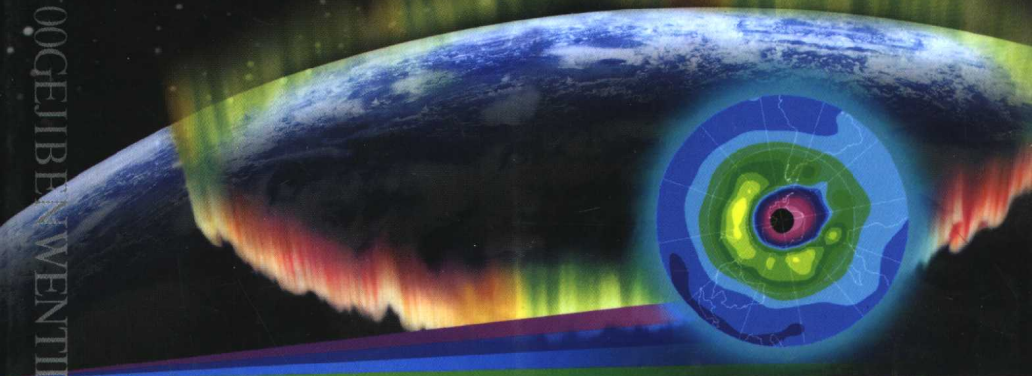


地球科学的

100

个基本问题

柴东浩 编著

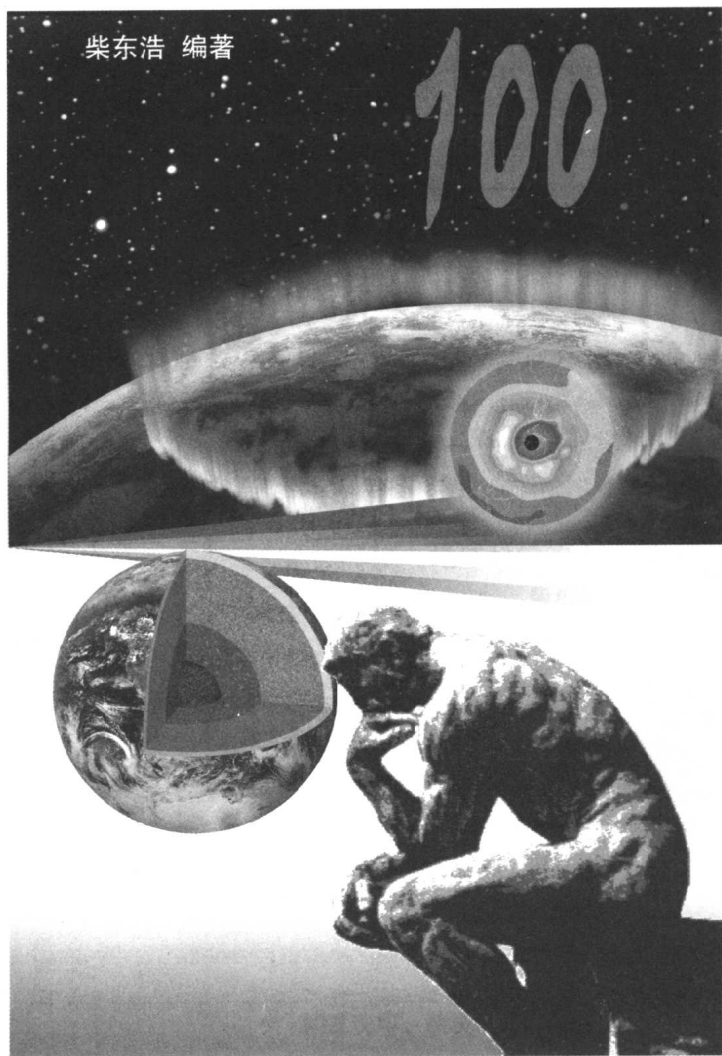


山西科学技术出版社

DIQIUXUEDE100GEJIBENWENTIDIQIUXUEDE100GEJIBENWENTI

地球科学的 100个基本问题

柴东浩 编著



山西科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地球科学的 100 个基本问题/柴东浩编著. —太原: 山西科学技术出版社, 2004.1

ISBN 7 - 5377 - 2175 - 0

I. 地… II. 柴… III. 地球科学 - 普及读物
IV. P - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 066591 号

地球科学的 100 个基本问题

柴东浩 编著

*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)
新华书店经销 山西新华印业有限公司人民印刷分公司印刷

*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 10.5 字数: 251 千字
2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月山西第 1 次印刷
印数: 1 - 3000 册

*

ISBN 7 - 5377 - 2175 - 0
P·4 定价: 18.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与印厂联系调换。

地球，我的母亲！
我的灵魂便是你的灵魂，
我要强健我的灵魂，
用来报答你的深恩。

——郭沫若

前 言

地球是现今人类所知惟一具有生命繁衍和高度文明发展的小天体，是生命的摇篮，我们只有一个地球。

历史和现实一再表明：地球运动和地球环境变化，不仅直接影响着人类生命的未来，而且严重威胁到人类社会的发展与进步，因此人类应科学地了解地球，认识自己的家园，并应用地球规律，规范、协调和改造地球人类、地球生物及非生物不适宜的自私和自然行为以及种族和民族陋习、恶习，科学地实行可持续发展。

根据现有资料，地球已有 46 亿 a 的演化历史了。它不是一个单一的星球，而是一个由岩石圈—地幔—地核、大气圈、水圈及生物圈（含人类圈）等共同组成的一个开放系统，即当今科学界所称之的地球系统。地球系统的突出特点是具有很高的复杂性。非常复杂的系统即巨系统，巨系统是不同子系统之间的耦合，物理—化学—生物三大基本过程形成了分枝很多的因果链，构成地球科学新的理论体系，很明显，这一新体系具有 6 大基础自然科学（数理化天地生）大跨度、多层次交叉渗透的特征，是现代地球科学及其可持续发展战略的科学基础。

在人类进化到 21 世纪，人口（持续增长）—资源（过度开发）—环境（日趋恶化）—灾害（频繁发生）对地球人类生存发展的矛盾已尖锐地显现出来、各种反思开始萌动的时候，作为肩负历史重任和新世纪拉幕人的年轻一代，对地球——包括地球的宇宙环境，地球运动及演化历史，地球不同圈层的基本构成及物

质—能量转换，地球系统的过去、现在和未来，人类社会与可持续发展的资源—环境—灾害的基本状况的再认识和再了解是十分必要的。目前世界各国都正在对地球科学的历史使命进行新一轮的战略调整，其总体框架是从对地球过程的认识到付诸实施地球管理，即过程（认识）—资源（利用）—管理（保护）三位一体的主导理念。也基于学科基础，有理由相信经过 20 世纪“地球科学革命”洗礼的这 100 个基本问题，将使人们从之前对地球的盲目猜想和错误理解，以及对地球愚昧迷信和宗教偏见的禁锢中解放出来，朝着保护整个地球村，为子孙后代留下一个适宜的生存基础的长远目标而继续前进。

由于是科普写作，是传播已知的地球科学知识，为了广泛采纳和吸取精华，所以参阅和引用了大量有关资料和文献，以及面向 21 世纪的大学和研究生教材，当然也融入了某些讨论性的问题及不成熟的最新发现和进展，以及基于现有资料的某些个人观点。书中的插图和图片也均取自有关的论著或引文，原作及译作者比较广泛，难以逐一罗列和澄清，在此均一并表示歉意和感谢。

科学需要极大的普及和提高，编者所做的科普努力也正在于此。希望对提高全社会地球科学素质有所帮助，更希望 21 世纪的年轻一代能投身到这一充满奥秘的科学海洋中去遨游和拼搏。

目 录

一、地球的起源与演化·····	(1)
001 宇宙大爆炸与太阳系的形成·····	(1)
002 地球的太阳系环境·····	(5)
003 地球的天然卫星——月球·····	(8)
004 地球的自转运动·····	(11)
005 地球的形状和大小·····	(15)
006 地球年龄与地质年表·····	(17)
007 地球岩石的剩余磁性及地磁极性年表·····	(21)
008 地球岩石的物理性质·····	(26)
009 地球的物质组成：元素、矿物及岩石·····	(31)
010 地球化学元素丰度及地球化学分类·····	(34)
011 地球的内部圈层结构·····	(37)
012 地球的外部圈层结构·····	(41)
013 地球系统与固体地球系统·····	(45)
014 固体地球系统的流体通道网络·····	(49)
015 地球演化的能源与温度场·····	(53)
016 Pb (铅) Sr (锶) Nd (钕) 同位素与地球演化 ·····	(56)
017 大陆壳与大洋壳·····	(61)
018 地壳的起始增长和重熔再造·····	(64)
019 大陆上地幔·····	(67)
020 地幔的不均一性与地幔演化·····	(70)

021	地幔与地壳的物质交换	(72)
022	岩石圈及其基本构造单元	(75)
023	中国大陆岩石圈的结构特点	(79)
024	大陆科学钻探	(83)
025	地球动力系统	(86)
二、地球的海陆变迁		
026	现代地球地表图像	(89)
027	南极与北极	(91)
028	海底地形与海洋环境分区	(95)
029	大洋中脊与全球裂谷系	(99)
030	魏格纳猜想的魅力：大陆漂移说	(103)
031	古地磁与大陆漂移	(108)
032	显生宙的海陆演变	(113)
033	海底扩张说	(115)
034	海底条带状磁异常	(119)
035	威尔逊与转换断层	(124)
036	海底年龄与深海钻探验证	(129)
037	海洋的起源和发展阶段	(132)
038	地球的积木式结构：板块构造	(137)
039	板块构造的基本单元	(139)
040	板块边界及其演化	(143)
041	B 型俯冲与 A 型俯冲	(147)
042	板块的运动	(151)
043	板块运动的驱动机制	(155)
044	大陆裂谷及其演化	(159)
045	李四光及其构造体系	(163)
046	特提斯海的沧桑巨变	(166)

047	青藏高原隆升之谜	(169)
048	黄土与黄土高原	(173)
049	大别苏鲁超高压变质带	(175)
050	中国及邻区板块构造轮廓	(178)

三、资源、环境与灾害..... (182)

051	地球自然资源中的矿产资源	(182)
052	矿床、矿体与矿石	(185)
053	成矿作用与矿床成因	(188)
054	矿床成矿系列与矿床模式	(191)
055	超大型矿床	(194)
056	层控矿床	(196)
057	与火山作用有关的矿床	(198)
058	风化作用与风化矿床	(199)
059	一次能源的三大支柱——煤、油、气	(204)
060	油气田的形成与分布	(207)
061	地热资源与中国地热带	(210)
062	水资源与中国水资源问题	(212)
063	中国盐湖的类型与分布	(214)
064	神秘的地下世界——岩溶洞穴	(216)
065	海洋矿产资源	(219)
066	波斯湾石油为何如此丰富	(223)
067	中国矿产资源的时空分布	(225)
068	中国矿产资源在世界上的地位	(227)
069	地球地质环境	(230)
070	全球环境变化	(233)
071	地质灾害	(237)
072	沙化、沙尘与沙尘暴	(240)

- 073 黄河断流的呼唤 (244)
- 074 地震活动：基本名词和概念 (246)
- 075 全球地震活动带 (250)
- 076 中国地震活动的时空分布 (254)
- 077 地震灾害 (257)
- 078 地震预测：地球科学的一道世界性难题 (259)
- 079 火山与火山灾害 (261)
- 080 化学定时炸弹与环境地球化学灾害 (265)
- 四、地球生命的诞生与进化 (269)**
- 081 地球生命的诞生奥秘 (269)
- 082 地球生命的太空移植说 (271)
- 083 化石：远古生命进化的历史证据 (273)
- 084 生命进化的其他生物学证据 (276)
- 085 生命演化过程及生物演化年表 (278)
- 086 显生宙生物进化事件 (280)
- 087 寒武纪生命大爆发 (282)
- 088 恐龙与恐龙灭绝之谜 (284)
- 089 人类进化的过程和阶段 (287)
- 090 人类起源于何处：亚洲起源说与非洲起源说 ... (290)
- 091 北京猿人的发现 (293)
- 092 人类进化的新概念及生命的未来 (296)
- 093 生物进化的自然规律 (300)
- 094 生态系统进化幕 (303)
- 095 物种灭绝与生态保护 (305)
- 五、地球的未来 (308)**
- 096 数字地球 (308)



097	全球大洲大洋的重组	(310)
098	从地球到月球到深空	(314)
099	天地大冲撞：地外天体冲撞地球	(316)
100	地球的命运	(319)



一、地球的起源与演化

宇宙大爆炸与太阳系的形成

宇宙是怎样开始又是怎样形成的？太阳系及我们居住的地球是从哪里来的？怎么会有这一切？而我们又是谁？这是地球人类不懈追求和热情探索的复杂问题，可以说自古至今奇妙的假说和模型相当多。据有关资料，自 1755 年德国学者康德（I. Kant）提出太阳起源的星云说^①以来，已经有 50 多种假说（刘本培等，2001）问世，但大都为思辨式的假说，而作为观测宇宙的科学学说则是近代物理学发展的结果。目前最有影响，并为科学家所普遍接受的学说则是宇宙大爆炸学说。

宇宙大爆炸学说是由有俄国血统的美籍学者伽莫夫（G. Gamov，1948）等人根据核物理和高能物理研究成果，以广义相对论为理论基础，以宇宙正在膨胀的观测事实为根据提出来的。该学说认为，时间、空间、物质、能量都起始于 150 亿 a 前的一次大爆炸，大爆炸之初是一个超高温、超高密度的“奇点”（宇宙起源于大爆炸奇点）在 10^{-44} s（普朗克时间）的瞬间体积急剧膨胀，在 10^{-34} s 内迅速膨胀约 10^{100} 倍，宇宙的温度高达 10^{32} K^②，辐射热能量为 10^{28} eV^③，原子和分子均无法存在。大爆炸以后，物质

① 康德的基本思路是：尘埃微粒云→团块→太阳、行星和卫星。

② K 即“绝对温度”也称“开氏温标”，热力学温标的零点即绝对零度，用“OK”表示。OK = -273.16℃。

③ $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ 。



开始膨胀，密度相应降低，形成了当今观测到的各种类型天体的宇宙。

怎么才能证明 150 亿 a 前所发生的上述一切呢？按照大爆炸理论，由大爆炸形成的星系，目前测得最老的年龄也只有 100 多亿 a，符合理论推断，这是其一。其二，探测到了宇宙大爆炸所引发的各向同性的“微波背景辐射”。G. 伽莫夫等曾预言，在大爆炸特殊宇宙背景下产生的微波辐射时至今日仍存在于宇宙空间中，其等效温度约为 5K。1964 年，美国贝尔公司的工程师彭齐亚斯 (A. A. Penzias) 和威尔逊 (R. W. Wilson) 为改进卫星通讯系统，意外地发现宇宙中有消除不掉的微波背景噪音，除与 3K 黑体辐射一致外，其空间分布各向同性、均匀。经过科学家们 10 多年的不懈努力，终于证明了在宇宙背景中有 2.7K 的黑体辐射。这一发现使宇宙大爆炸模型获得了最强有力的实验证据。为此，彭齐亚斯和威尔逊分享了 1978 年的诺贝尔物理奖。1989 年在距地面 900km 的轨道上，由美国发射的探测卫星 (COBE) 证明，宇宙背景辐射是 $2.726\text{K} \pm 0.010\text{K}$ 的黑体辐射，能谱畸变幅度小于 0.03%。其三，天文观测发现，多数河外星系的谱线红移^①，即向波长增加的方向移动，而且红移量大致同星系的距离成正比。如果将红移解释为多普勒效应，则所有星系都在离我们而去，意味着宇宙中所有的星系都彼此远离，宇宙处于膨胀之中。如果星系目前正在彼此远离，那么在宇宙创生时必定靠得很近。按照哈勃 (E. P. Hubble, 1929) 定律，全宇宙处于极其高密状态，物质与反物质、物质与能量均呈平衡状态，也就是说，发生“大爆炸”是可能的。其四，现测到不同天体上氦的宇宙丰度为 23.6%，而英国皇家格林尼治天文台的天文学家对原始星云进行

^① 当发光星体接近观察者时，见到的星光谱线向频率高的蓝光方向移动，称蓝移；当离开观察者时，向频率低的红光方向移动，称红移。



发射光谱观测，结果为 23.5%。这一结果进一步支持了宇宙大爆炸学说。

大爆炸之后，物质开始膨胀，但不是太阳系或银河系等星系在膨胀，而是空间在膨胀，即整个宇宙的尺度在均匀变大，从而构成了今天如此广袤的宇宙空间。大爆炸的整个过程是复杂的，其演化大致可区分为基本粒子（质子、中子、电子、光子及中微子^①等）形成阶段——元素起源阶段（辐射阶段）——实物阶段。实物阶段在大爆炸后约 100 万 a 前后。由于宇宙膨胀，温度下降（约为 10^5K ），辐射减退，所以宇宙间主要是气状物质。气物质在引力作用下凝聚成气体云，气体云收缩就产生了各式各样的星云、星系和恒星。在无数恒星的演化中产生了太阳系、行星、卫星等。原始地球就是在 46 亿 a 前由许多星际颗粒积聚而成的。可知：在地球诞生之前，包括地球在内的太阳系首先诞生。太阳系的诞生时间一般认为在 50 亿 a 前，由于太阳系的前身为在涡流中形成的原始星云，所以一开始就不断旋转，角动量（转动物体对于转动轴的转动惯量与转动角速度的乘积）很大。当原始星云在万有引力作用下收缩，并收缩到一定大小，当边缘处惯性离心力等于原始星云中心的吸引力时，在原始星云的赤道面上便形成了星云盘。星云盘直径约为 $8 \times 10^9\text{km}$ （相当于地球至太阳距离的 53 倍），厚度约为 $6 \times 10^7\text{km}$ ，质量约为太阳质量的 1/10。随着星云盘内大小不等的固体颗粒的相互碰撞，形成了尘层—星云盘，尘层因引力不稳定而瓦解后便形成星子（大星子），星子不断破裂碰撞、集合而聚集成行星胎，星胎的中心即原始太阳。由这种模型形成的太阳行星系统即现代星云说（新星云说）。20 世纪后半叶，天文学家们相继观测到的从星际云到恒星之间

① 中微子（neutrinos）是一种不受电、磁、核力影响的基本粒子，1998 年证实中微子具有极微小的静止质量。



的一系列过渡天体，以及许多恒星周围存在的气体—尘埃星云盘的事实即为现代星云说的主要根据。

现代星云说所形成的太阳行星系统还具备以下共同运动特征：

1. 同向性，大行星和小行星的公转方向都相同，而这个方向即太阳的自转方向；

2. 共面性，大行星环绕太阳的公转轨道几乎在同一平面上；

3. 近圆性，大行星的轨道形状大多接近正圆形，轨道扁平程度即偏心率都很小（惟有水星和冥王星的轨道明显呈椭圆形），这也是现在观测到的太阳系行星的运动特征。

原始行星距太阳有近有远。距太阳近的小行星区（包括水星、金星、地球、火星区域）温度高、冰物质（主要是碳、氮、氧及其氧化物）和气物质（包括电离氢、氧气、氦和氖气）大部分被挥发，因此形成的行星密度大，但小行星区的宽度小，所以小行星的质量和体积都小。离太阳稍远的巨行星区，冰物质和土物质（主要是铁、镁、硅、镍及其氧化物）凝聚为星子，不少气物质也凝聚到行星上，形成体积大而密度小的巨行星——土星和木星。离太阳较远的外行星区（天王星、海王星和冥王星）受太阳的引力弱，一方面气物质易逃逸，因而密度比巨行星为大，另一方面外行星区可以被吸积的物质比土星、木星区少得多，所以外行星区较巨行星区行星质量和体积较小。这种行星排布与观测到的“两头小中间大”的事实是相一致的（图 001 - 1）。

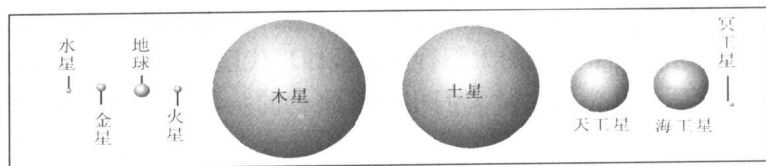


图 001 - 1 太阳系各行星的大小



现代星云说由我国著名天文学家戴文赛等(1978)提出,基本思路是:星际弥漫物质→原始星云→星云盘→尘层→粒子团→星子→行星胎和卫星胎→行星和卫星。戴文赛等主张共生星云说,反对偶然性的灾变说(分出说),但不排斥灾变在太阳系演化中的作用,并认为水星、金星、火星、月球,甚至小小的火星卫星和许多小行星上的环形山和凹坑都是星子撞击的遗迹,而太阳系里的重元素可能是来自太阳星云附近超新星爆发时的“污染物”。

现代星云说虽然较好地解释了太阳系的现有结构和运动特征,但也仍然存在许多疑团。既然地球是太阳星云引力吸引收缩而形成的,引力应同等吸引所有物质,为什么地球上的元素丰度不一致;在地球形成时星云环中的粒子不断地冲击地球,由碰撞动能转化来的热能否将地球熔化,这种熔化过程又怎样影响着地球等等,诸如此类的问题都是未解之谜,还需要随着航天科技的发展和观测空间的扩大去进一步地探索和解决,以彻底揭开宇宙大爆炸及太阳系形成之谜。

地球的太阳系环境

地球是宇宙中的一个特殊天体,是目前所知宇宙中惟一有人类居住、有高度文明发展的星球。地球是太阳系家族的成员之一,是太阳系内的一颗普通行星,因此,地球的宇宙环境主要是地球的太阳系环境。太阳系是由中心天体太阳及其在巨大引力作用下环绕它运行的行星、卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质所组成的天体系统。在地球上生活的人类,以地球为参考系看太阳系等天体系统的其他星球,它们都在“天上”,而在宇宙飞船和其他天体上看地球,则地球也是在“天上”,是“天上”一个生机盎然的星球。

在太阳周围分布着9大行星,行星是太阳系的主要成员。按距太阳距离由近到远排列成行星系,依次为水星—金星—地球—

火星—木星—土星—天王星—海王星—冥王星。9 大行星^① 在绕轴自转的同时，也在各自轨道上绕太阳公转。

围绕行星运动的天体称卫星，除水星和金星外，其余 7 大行星都有卫星。就地球而言，除天然卫星（月球）外，还有许多人造卫星。此外还有不少空间探测器和宇宙飞船在太空中遨游。

小行星是沿椭圆轨道绕太阳运行的小天体，直径大多小于 60~70km。数以万计的小行星分布在火星和木星轨道间，构成小行星带。彗星外貌呈雾状，并以扁长椭圆轨道绕太阳运行，为质量较小的天体，目前观测到的彗星已超过 1000 多颗。行星际物质由气体微粒和固体尘埃所组成。

太阳是太阳系的中心天体，太阳的质量占太阳系质量的 99.865%，也是太阳系中惟一有热核能源辐射的发光恒星，与地球的平均距离约为 14960 万 km (1.49597870 亿 km)，即 1 个天文单位 (AU)。这是一个十分美好的距离，因为在这个距离内，地球从太阳射出光线中吸收的热量与地球辐射到宇宙中的热量恰好达到平衡，而这种平衡正好使地球表面的大部分水分呈液态形式存在，液态水对地球生命的存活是至关重要的。太阳的半径是地球半径 (6371km) 的 109 倍，体积是地球体积的 130 万倍，质量约 $2 \times 10^{27} \text{t}$ ，相当于地球质量的 33.3 万倍，平均密度约为地球平均密度 (5.52g/cm^3) 的 $1/4$ ，但各部分密度差别很大，表面为 10^{-7}g/cm^3 ，中心高达 90g/cm^3 。太阳系的引力范围为 15 万 AU。太阳又是太阳系光和热的源泉，它的能量主要来源于太阳中心的氢—氦聚变。据学者们估算，1g 氢聚变为氦核时能产生 $6.21 \times 10^{11} \text{J}$ 的热能 (相当于 2700t 标准煤所产生的热量)。然而地球从太阳获得的能量

^① 近年来根据观测与理论推算，太阳系的第 10 颗行星“冥外星”很可能是存在的。但也有一些天文学家动议，因冥王星太小了，建议将冥王星从太阳系家族中“开除”出去。冥外星就更不用说了。