

# 电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

巡天遥看一千河 天文学的故事

## 天圆地方

公元前 600 年，亚述帝国刚刚衰亡。在它的鼎盛时期，版图曾经从埃及延伸到巴比伦，两端相距 2200 公里。接着代之而起的是波斯帝国，它的版图西起今日的利比亚东部，东到克什米尔，横跨 4800 公里。

毫无疑问，这些帝国的普通老百姓对于整个国家的范围只有极模糊的观念，他们仅仅满足于在自己那一小片乡土上生老病死，再大不了就是偶尔到邻近的村子去旅行一趟。不过，当时的经商者和士兵们对于帝国疆土的辽阔，以及疆域之外还有那更加遥远的地方，一定是会有所认识的。

在这些古代王国里，想必有一些人曾思索过：大地有尽头吗？这可以说是学者们面临的第一个宇宙学问题了。

当然，没有一个古代人到过大地真正的尽头，不管他曾经旅行得多么远，他充其量是到达了某一处的海岸上，而天涯海角似乎还在那地平线以外呢。就算他登上一条船，向外驶去，也是永远到不了尽头的。

这么说，大地是不是就没有尽头了呢？这个问题的答案如何，要看你认为大地的整个形状是怎样的。

在古希腊时代之前，所有的人都认为大地是平的。真的，它看起来确实就是那样，只不过有一些山丘、河谷的小起伏罢了。可是，如果大地的确是平的，几乎立即可以断定，它非得有个什么样的尽头才行。要不然，它就是个没完没了地向外延伸的平面——换句话说，它的范围是无限的，这是个叫人最不舒服的概念。在历史上，不论对空间或者时间，人们总是力求避免“无限”这个概念，因为这样的东西似乎既不能认识，又无法理解，所以也就无从进行研究和推理了。

另一方面，如果大地的确有个边缘，就是它是有限的，这又会造成另一些困难。人们要是走得太靠边了，不是要掉下去吗？

当然，也许干的陆地四周都有海洋环绕，因此人们是靠近不了那个边的，除非有谁故意乘船向外航行，远远地离开陆地，一直到看不见的地方。事实上，直到哥伦布那个时代，还有许多水手真的害怕发生这样的事情呢。

不过，要是认为人类由一圈水保护着，这又造成了另一个问题，是什么东西挡住了海水，使它不致从大地的边缘流出去呢？

要解决这个问题，一个办法是假设我们头顶的天空是一个坚固的盖子，从四面八方往下罩住了大地。这就是所说的“天圆地方”。真的，天空看起来不就是这样吗？这样一来，可以把整个宇宙想象成一个盒子，天空构成了弯曲的盒盖和盒边，而海水和干的陆地则是平坦的盒底，人和万物都在这个盒底上面生长、活动。

在这么一个“盒子宇宙”里，大地的形状和大小又是怎样的呢？

许多人曾觉得大地像一块长方形的板。说来也很有趣，由于历史上和地理上的巧合，尼罗河、底格里斯河和幼发拉底河、印度河这一系列最早的人类文明发祥地是从西到东，而不是由北向南分布。还有，地中海也是东西走向的，所以古代文明人的那一点模模糊糊的地理知识，似乎在东西方向上来得丰富一些，因而他们也就理所当然地把“盒子宇宙”想象成东西方向长，南北方向短了。

希腊人似乎具有比较强烈的几何学的均衡与对称的观念，他们倾向于把大地想象成一块圆板。不消说，希腊正位于这圆板的中心。这块平板上大部

分是陆地，周围环绕着一圈水，地中海就是从那儿一直向内延伸到陆地中央。

到了公元前 500 年，希腊第一位科学的地理学家喜卡塔乌斯认为，这块圆板的直径最多是 8000 公里左右。就是说，平坦的大地面积大约为 5000 万平方公里。在他那个时代的人看来，这个数字已经够大，大得都有点吓人了。其实它只有陆地实际面积的 1/10。

我们暂且不谈这个“盒子宇宙”的大小和形状，先来问一问是什么东西使它保持自己的位置的？在上面所说的这种扁平的大地看来，有一个特殊的方向叫做“下”，一切重的、实的东西都要“往下掉”，那么，大地本身为什么不会“掉下去”呢？

当然，可以假定构成大地的材料，是一直往下延伸的。但这样一来，又得面临“无限”这个概念。为了避免这一点，我们可以说大地本身立在其他东西上面。例如，古印度人就认为，大地是由四根柱子支撑住的。

可是这只不过把困境推迟了一点而已，这四根柱子又是立在哪儿呢？立在四头大象背上！大象呢？站在一只巨大的乌龟背上！乌龟呢？浮在大海上！那么大海呢？……

总而言之，只要假定大地是扁平的，不管这样的假定似乎是多么“符合常识”，都不可避免地会引起最严重的哲学上的困难。

其实，要是人们能恰当地使用自己的眼睛，那么，这种“扁平的大地”是连常识也不符合的。如果大地真是平的，那么在地面上所有的地方应当能看到同样的星星。但是所有的旅行者都知道，如果向北走去，一些星星会消失在南方的地平线下，另一些星星却出现在北方的地平线上；要是朝南走，情况就恰好相反。而只要认为大地是南北弯曲的，就能毫不费力地解释这种现象。

所以希腊学者阿纳克西曼德就提出，人类生活在一个南北方向弯曲的圆柱面上。就我们今天所知，是他头一个提出了地面的形状不是平面，时间大约在公元前 550 年左右。

但是圆柱形的大地还是解决不了问题。住在海边，经常注意观察海船的人都有这样的经验，朝大海驶去的船只并不是变得越来越小，一直小到只剩下一点，然后才消失的。如果大地是平的，情况本来应当是这样。但事实上，船到消失的时候看上去还相当大，它们像是翻越到了山背后一样，船身首先隐没，然后才是船帆。如果大地是弯曲的，情况就必然是这样。而且，不管船是朝着罗盘上的哪个方向驶去，消失时的情形都是相同的。所以，大地并不只是在南北方向弯曲，而是朝所有方向都同样的弯曲。而在一切方向上弯曲程度相同的表面只有一种，这就是球面。

古希腊的天文学家还发现，对于月食的成因，最好的解释就是：由于月亮和太阳正处于大地两侧相对之处，大地的阴影（由太阳所投下的）落到月亮上，从而造成月食。不管月亮和太阳相对地面的位置如何，月食时可以看到这种阴影的断面总是圆形的。只有一种物体能朝所有的方向都投下断面为圆形的影子，这就是球。

总之，仔细地观察就可以发现，大地并不是平的，而是球形的。但你平时看来，它很像个平面，因为整个大地是这么一个巨大的球体，在它的表面上，用眼睛所能看到的只是一小部分，其弯曲程度是小得难以觉察的。

球形大地的概念立即清除了关于大地“尽头”的问题，而又不必引进“无限”这个概念。球的表面有确定的面积，但却没有尽头；它是有限的，但却

没有边。

到了公元前 350 年，地球的观念就已经牢固地确立了。从那以后，西方世界受过教育的人全部都承认这种观念。

这种观念显得如此理想而又完美，尽管没有直接的证明，人们还是承认它。直到公元 1522 年，由葡萄牙航海家麦哲伦率领的一支探险船队里幸存的一条船驶回了港口，人类这才第一次成功地环绕地球航行一周，因而直接地证实了大地不是扁平的。

现在，我们对于大地这个圆球的认识真正达到了“眼见为实”的程度。发射到高空的火箭和卫星拍下来的图像都向我们展示了地球的真实面貌。

## 地球是宇宙的中心吗

自古以来，人们都亲眼看到日月星辰是环绕着人类所居住的大地在运动，而大地又是这样的平静和安稳，所以在人们的头脑中就自然产生所谓大地处于宇宙中心的概念。在这个基础上就产生了古代希腊的地心说，以及与地心说有相似之处的中国的浑天说。

我国古代，提出过与地心说相似的浑天说，浑天说始于战国时代，而我国东汉初期的天文学家张衡是浑天说的代表人物。他把天和地比做蛋壳和蛋黄的关系。这就揭示了大地是悬于宇宙空间的一个圆球，而且宇宙是以地球为中心。可见，我国古代浑天说的宇宙体系，同古代希腊的地心体系是十分相似的。

古希腊的毕达哥拉斯学派认为，一切立体图形中最美好的是球形，一切平面图形中最美好的是圆形，而宇宙是一种和谐的代表物，所以一切天体的形状都应是球形，一切天体的运动都应是匀速圆周运动。但实际观察的结果并非如此，行星的运动速度很不均匀。在柏拉图看来，这只是一种表面现象，可以用匀速圆周运动的组合来解释。于是他就提出了一种以地球为中心的同心球壳结构模型。每个天体都处在各自的球壳上，各同心球之间是由正多面体联接着。

柏拉图的学生欧多克斯发展了他的观点，按照欧多克斯的设想，地球是万物的中心，日、月、行星都是在同心的透明球体上绕地球转动的。他认为所有的恒星都在同一个球面上，而这个球的半径最大，它围绕着通过地心的轴线每天旋转一周。其他天体则由几个同心球结合成一组以及另一组等等。

亚里士多德在欧多克斯同心球理论的基础上，把这些转动的同心球，不但看成是实际存在的物质的实体，而且还把它们看成是一个透明的“水晶球”，各组都成了一个连续的相互接触的系统。在亚里士多德的体系中，各天体离地球由近到远的排列顺序为：月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星和恒星天，在恒星天之外还有一层“宗教天”。亚里士多德认为，一个物体需要另一个物体的推动才能运动，这个“宗教天”的运动，是由不动的神来推动的。当神一旦推动了“宗教天”的运动，“宗教天”就把运动逐次传递到恒星、太阳、月亮和行星上去。亚里士多德就这样把神是第一推动力的唯心思想，第一次塞进了宇宙论中来。这就成为亚里士多德体系中致命的弱点。

以地球为中心的宇宙理论由喜帕恰斯给出了几何模型。从地球上观测到的行星运动相当复杂，它们有时由西向东行，有时逆行，有时又似乎在群星

中不动。为了解释这种复杂的运动，喜帕恰斯提出了本轮均轮的思想。他认为行星在本轮上围绕着一个假想的中心运动，而这个假想中心又绕地球在均轮上运行。

在喜帕恰斯以后 300 年间，希腊天文学没什么新的进展。到了公元 2 世纪，古希腊著名天文学家托勒玫继承了亚里士多德的地球位于宇宙中心静止不动的思想，全面总结了希腊罗马时期的天文学，创立了托勒玫的地心体系，也叫托勒玫的地球中心说。他提出：以地球为中心，外边围绕着月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星，然后是恒星天和最高天，共有九重天。所有行星和太阳、月亮都有本轮和均轮，而且均轮都是偏心圆。这样他就能让实测的天体运动分解成很多简单的圆运动来满足宇宙的和谐。

公元 5 到 10 世纪，是欧洲历史上的黑暗时期，基督教神学占统治地位，按照基督教的教义。上帝是世界的最高主宰，宇宙间的万物是上帝为满足人的需要而创造出来的。基督教还把宇宙的模样也纳于宗教的教义。亚里士多德—托勒玫的地球是宇宙的中心见解，以及神是第一推动力的思想也被教会利用了。在黑暗的中世纪，地心说的宇宙体系统治了西方 1000 多年。

那么，地球真的是宇宙的中心吗？

随着观测仪器的改进和观测水平的不断提高，用托勒玫体系计算出来的行星位置，与实际观测的偏差越来越大。尽管托勒玫的继承者已经把本轮的总数增加到 80 个，但所得的结果仍与实际的星位不相符。在这种情况下，科学家们对托勒玫的宇宙体系越来越产生怀疑。到后来，由于自然科学的迅速发展，自然科学与神学之间的矛盾越来越尖锐，甚至发展到科学起来反叛教会了。于是，科学和神学的这场斗争，首先从对宗教神学宇宙观的基础——地球中心说的批判开始。

## 从哥白尼到牛顿

哥白尼出生在波兰维斯杜拉河畔的托伦城。他所处的时代，正是欧洲黑暗的中世纪的末期，亚里士多德—托勒玫的地心说早已被基督教篡改为基督教义的支柱。但由于天文观测技术的提高，即使在托勒玫的地心体系中已增加到 80 个左右的本轮和均轮，也难以获得与观测相合的结果，而且这类本轮的数目还在继续增加。这就使当时一些具有进步思想的哲学家、天文学家们，对托勒玫的复杂的地心体系发生了怀疑，甚至感到不满。而哥白尼接受了这种进步的思想，由于受到古希腊阿里斯塔克的地球绕太阳转动的学说的影响和启发，哥白尼分析了托勒玫体系中的行星运动，发现每个行星都有一日一周、一年一周和相当于岁差的三种共同的周期运动，但又无法对此作出合理的解释。他认为，如果把这三种运动都归到被托勒玫视为静止不动的地球上，就可消除他的体系里不必要的复杂性。因此，哥白尼认为地球不是宇宙的中心，而是一颗普通的行星，建立了一个以太阳为中心的日心体系。

在哥白尼看来，月亮是地球的卫星，它在以地球为中心的圆轨道上每月绕地球公转一周。与此同时，月亮也伴随地球一起绕太阳公转。地球每天自转一周，天穹实际并不转动，是由于地球自转才出现日月星辰每天的东升西落现象。恒星同太阳的距离十分遥远，它们在离太阳很远的一个天体上。行星和地球一样，都在圆形的轨道上匀速地绕太阳公转。就这样，哥白尼把统率宇宙的力量都归于太阳。

哥白尼花费了40年的心血，以严格的科学态度进行反复的观测、研究和计算，完善了他的学说，终于写成了阐述日心说的不朽巨著《天体运行论》。他在这本书里全面讨论了当时天文学的所有问题，使很多过去莫名其妙的问题都得到了合理的解释。

哥白尼的日心体系从根本上动摇了中世纪宗教神学的基础，认为宇宙是可以认识的，有一定规律可供人类研究探寻。从此自然科学便开始从神学中解放出来，大踏步前进了。

但是哥白尼的革命并不够彻底。他还保留了行星作匀速圆周运动的概念，因此对一些天体的不均匀运动还要保持一些本轮。此外，他还保存着固定不动的恒星天球的概念，让太阳成为宇宙中心。这些都要等到天文学进一步发展才陆续得到解决。

在哥白尼之后，意大利的修道士布鲁诺由于善于接受新事物，在学习了哥白尼《天体运行论》以后，他认识到宗教神学宇宙观是虚假的，是没有科学根据的，而科学才是真理，并决心为探求科学真理奋斗终生。由于布鲁诺的“离经叛道”，他不得不离开他的祖国，过着长期流亡的生活。在流亡的过程中，他大力宣传科学真理，还写了大量文章，热烈宣传和颂扬哥白尼的学说，猛烈地抨击了官方经院哲学的教条。

布鲁诺不但捍卫了哥白尼的学说，还充实、发展了这一学说。他认为：宇宙是统一的、物质的、无限的和永恒的；在太阳系以外，还有数不清的世界，我们所认识的世界，是无限宇宙中非常渺小的一部分，而地球又是无限宇宙中一粒小小的尘埃；无数颗恒星，都像太阳一样巨大、炽热，并以极大的速度向各个方向疾驰着……

布鲁诺的宇宙无穷无尽的思想，使几千年来在人们头脑里难以突破的天球硬壳，一下被布鲁诺砸碎了。美丽的天空豁然开朗，伸向漫无边际的远方。由于布鲁诺广泛宣传和捍卫了哥白尼的学说，以及他对哥白尼学说的发展，轰动了整个欧洲，气极败坏的罗马教廷用诡计将他骗回意大利并逮捕了他。他们用尽了一切威胁、利诱和恐怖的手段，但丝毫没有动摇布鲁诺对真理的信仰和捍卫。到1600年2月17日，布鲁诺被烧死在罗马的百花广场上。

真理是不能用火烧尽的。布鲁诺虽然被罗马教廷烧死了，但唯物主义的宇宙观已日益深入人心。

继布鲁诺之后，意大利的天文学家和近代实验科学的创始人伽利略由于受到当时的一种玩具“光管”的启发，制出了望远镜并用它来观察天空，从此获得了一系列新的科学发现，在天文学方面做出了重大贡献，也进一步证实和发展了哥白尼学说。

伽利略发现在望远镜的视野里，行星不再是一个光点，却显出月亮一般的圆面。他惊异地发现金星甚至露出月亮一样的圆缺变化，他还清楚地看到有四颗卫星环绕木星运行。他看到了月亮表面的起伏不平，发现了大量环形山。土星的光环他也观测到了，但当时没有确认。在欧洲，他第一个借助望远镜看到太阳黑子，并发现太阳的黑子在日面上移动，从而得出太阳有自转的结论。他发现随着望远镜口径的增加，可见到的恒星数目大为增加。可是，即使在望远镜里，恒星仍然只是一个光点。因此他断定它们一定无比遥远。他还发现银河实际上是由无数颗恒星组成的。

所有这些发现都是过去闻所未闻的，震动了欧洲的学术界，这些发现都有利于哥白尼的日心学说。他的观测结果，强有力地论证了哥白尼的学说，

使罗马教廷大为震怒。最后教廷把他拘禁起来。他在完成了最后一本论述力学与运动的书并偷运出意大利之后，孤独地死去。

与伽利略同时代的丹麦天文学家第谷创制了许多大型精密的天文仪器，并坚持进行 20 多年的认真观测。根据他对 1572 年在仙后座发现的超新星距离的测定以及对 1577 年一颗明亮彗星运动情况的测算，他也怀疑托勒玫体系，但他并没有接受哥白尼的体系，他认为其它行星都是围绕太阳运行的，可是地球仍然是宇宙的中心，月亮和太阳及其率领的行星队伍则是围绕地球运转的，第谷的功绩主要在于他创制了不少仪器并且详尽地记录了他多年精密观测行星运动的资料。此外，他还非常幸运地在临终前一年接受了一位很好的助手和接班人，德国的天文学家开普勒。

开普勒用了很长的时间，对第谷遗留下来的观测资料进行综合分析和研究。后来，开普勒发现“行星是沿椭圆轨道绕太阳运行的，太阳在这个椭圆的两个焦点之一的位置上”的定律。这就是开普勒的行星运动第一定律，也叫轨道定律。这个发现，把哥白尼学说向前推进了一大步。

接着，开普勒又发现，虽然火星运行的速度是不均匀的，但是从任何一点开始，在单位时间向径（行星和太阳的连线）所扫过的面积却是不变的。这样开普勒又推出了“火星的向径，在相等时间内扫过相等的面积”的行星运动第二定律，又称为面积定律。

到 1609 年，开普勒出版了《新天文学》一书，在这本书里发表了他的轨道定律和面积定律。并且在书中指出：“这两条定律也适用于其他行星和月亮的运动。”

后来，开普勒经过长期繁杂重复的计算和无数次的失败，又发现了“所有行星公转周期的平方与椭圆轨道半长轴的立方的比值都相等”的行星运动第三定律。这是一个十分重要的自然定律。因为不仅行星遵循着它，就是围绕行星运动的卫星，以及太阳周围的其他天体也都如此。这就可以确定，太阳和它周围的所有天体，构成了一个有秩序的行星系统，这个系统就是太阳系。

行星运动三定律的发现，具有划时代的意义，它不但为经典天文学奠定了基础，而且还导致了数十年后牛顿的万有引力定律的发现。

正是伽利略不幸逝世的 1642 年，在英国诞生了伟大的科学家牛顿，牛顿对自然科学的贡献是多方面的，不仅在天文学方面，更主要的还是在数学、力学和物理学，而这些又直接影响到天文学的发展。狭义地说，他在天文学方面的直接贡献之一是发现万有引力定律，并由此建立起天体力学。另一项贡献则是发明反射式望远镜和棱镜分光的天文光学。

在开普勒的三大定律发表之后半个多世纪，牛顿总结了前人特别是伽利略所发展起来的力学理论，提出了三大运动定律，具备了归纳提高开普勒三大定律的条件。牛顿同时总结和发展了前人的数学成就，创立了微积分方法。在这两方面的理论基础上，牛顿首先用数学方法根据力学原理从开普勒三大定律推导出太阳对行星的引力定律，其要点就是太阳对行星的引力与行星的质量成正比，而与行星对太阳距离的平方成反比。他并且证明只要有这种距离平方反比的引力，开普勒三大定律就是必然的推论，而且是在行星质量远比太阳质量为小的条件下粗略近似。著名的苹果落地故事里说：他由此悟出重力是地球对它表面物体的引力，并且把地球半径、地月间距离、地面物体重量和下落加速度以及月亮绕地球的运行周期相结合，得出任意两个物体之

间都存在相互引力，这种引力和两物体质量成正比，与两者距离的平方成反比，而且比例常数不论天上地下都完全一致。这就是有名的万有引力定律。这条定律的重要意义不仅因为它至今还广泛应用于众多方面，更值得强调的是它第一次证明宇宙间的自然规律可以认识，地面和天空是统一的。后者实际上是人类认识宇宙、研究天文学的基本出发点。由于万有引力定律的广泛应用和重要性，下面把它的数学形式写出来：

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

其中  $F$  为两物体之间相互的引力， $M_1$  和  $M_2$  分别为它们的质量， $R$  为两者质心的距离， $G$  为比例常数，称为万有引力常数，数值为  $6.67 \times 10^{-11}$  米<sup>3</sup>/（秒<sup>2</sup>·千克）。

牛顿以他的三大运动定律和万有引力定律为基础建立起一个机械力学体系。他于 1687 年发表的不朽杰作《自然哲学的数学原理》一书，全面阐述了他的发现和理论。三百年来经过众多的后继者的发展和补充，牛顿的体系已经十分完整，现在通称为牛顿力学。牛顿力学开始形成植根于天文学，又反过来为天文学开辟崭新的领域，建立起天体力学这个天文学的分支。天体力学的建立标志着历来单纯观测统计的天文学走上了引用物理方法进行研究的新道路。

牛顿在天文光学方面还有两种创造，一种是反射式望远镜，另一种是棱镜分光，对天文学的深刻影响不容低估。反射式望远镜的口径比用透镜构成的折射望远镜更容易做得大些，可以收集到更多的星光，便于观测更暗弱的天体，使人类探测宇宙的深度大为增加。此外，星光不经过透镜的折射就不会产生不同颜色成分发散开的问题，出来的图像更加清晰。因此，现代的大型望远镜无一例外都是反射式，几乎全部遥远的河外天体都是由反射式望远镜发现并观测研究的。至于棱镜分光术对于天文学的影响更是特别深远，甚至可以说它为建立天文学里最活跃、发展最快、成果最大的分支——天体物理学打下了重要基础。

牛顿用万有引力定律解决和说明了一系列宇宙间的重大问题，从而奠定了天体力学这一门新科学的基础，从此天体力学便从它的幼年时期进入到成年时期。到了这个时候，哥白尼的日心说经过布鲁诺、伽利略、开普勒和牛顿等人的宣传、捍卫和发展，已被公认为阐明太阳系实际结构的学说，再很少有人否认了。

又由于天王星、海王星的发现，证实了牛顿万有引力定律能十分准确的推算出行星的位置，也因新的发现而充实了哥白尼学说。

从哥白尼的《天体运行论》于 1543 年公开发表起，直到 1846 年加勒观测到海王星，经历了三百余年的时间，经过无数次曲折和斗争，冲破了宗教和传统观念、习惯势力的重重阻力，克服了哥白尼学说本身存在的缺陷，哥白尼的日心说终于由海王星的发现而取得了最后的胜利。

到 1930 年 1 月 21 日，美国天文学家汤博发现了冥王星。冥王星的发现，再次扩大了太阳系的范围。

## 地球和月亮

### 地球

地球是一个略为扁平，半径约为 6370 千米，质量为  $6 \times 10^{24}$  千克，平均密度为 5.5 克/厘米<sup>3</sup> 的椭圆球体。它的南北向的半径并不相同，因此称它为椭圆球体。但它和一个理想的圆球体差别相当小。

地球表面极不规则，在陆地有崇山峻岭，在海底有深沟大壑，为了便于实际测量应用，往往把海水的平均表面作为地球表面，在陆地上则以海面的延伸部分为基础。

地球内部的基本构造分为地核、地幔和地壳。地核和地幔还各自可以分为两部分。在地球最核心的部位，半径为 1255 千米的区域是内地核，呈固态，它外面是熔融状态的外地核。地核为铁镍物质所构成，据认为地球的磁场和这种铁镍物质在外地核里流动有关。而地幔完全是石质的，密度比地表岩石大，但因温度高刚度却不如地表的岩石，只有与地壳相连并包括地壳在内厚度不超过 80 千米的表层比较坚硬，叫做岩石圈。在它下面距地面总计不超过 200 至 400 千米的上地幔，岩石所受的压力和温度相比不算高，使其处于接近熔融状态，被称为软流圈。在岩石圈有裂缝或缺陷处，软流圈里的物质失去了压力就会成为流动性较好的岩浆或熔岩，甚至可能流到地表来。

地幔以上是地壳，构成地壳的原始岩石和地幔物质全都是硅酸盐矿物质。硅酸盐的主要成分是硅和氧两种元素，它们都是恒星演化过程中核反应合成的重要产物。地壳的厚度很不均匀，海洋下面地壳厚度只有 5 至 8 千米，大陆地壳厚度 16 到 60 千米不等。

地球表面以上是大气层，大气层没有明显的边界，只是愈向上愈稀薄。流星的光迹从 160 千米高处就会出现，太阳的高能粒子在稀薄空气中所产生的极光则可以在高达 1000 千米的地方辉耀，不过通常所说的大气层则指的是 50 多千米以内空气比较浓密的范围。在这范围以上的高层大气只占总质量的 2%。这部分较浓密的大气层还可以细分为对流层和平流层。平流层往上为中间层。自 80 千米以上称为热成层。在高层大气里从大约 100 千米到 350 千米的高度范围里有一系列电离层，含有较多电离气体。电离层可以反射无线电波，有助于越洋的短波无线电通信，并受太阳活动性的影响。

地球各处普遍存在的磁场称为地磁场，一般的磁感应强度为  $5 \times 10^{-5}$  特。在中低纬度区地磁场的方向基本是南北向。地球磁场的真实起源目前还不太清楚，一般认为是地核里液态铁质流动所引起的，但还没有令人信服的说明。

## 月亮，地球的卫星

洁白光明的月亮是天空中除太阳以外最引人注目的天体，又是除流星以外距我们最近的天体，也是人类首先登临的地外天体。月亮诞生的过程大致和地球相差不太多，只不过因为它比较小，内部热量和重力都比地球小得多，才使月亮内部和表面的情况和地球大不相同。

月亮与地球的距离根据雷达探测资料，平均为  $38401 \pm 1000$  米。1969 年 7 月 20 日美国宇航员登上月球后在月面上安放了激光反射器，现在用激光测距精度可以达 7 米。月亮的半径为地球半径的 0.27 倍，即约为 1740 千米。月亮的质量为地球质量的 1/81，即约为  $7.35 \times 10^{25}$  千克。由月亮的半径和它的质量算得的平均密度为 3.3 克/厘米<sup>3</sup>。在太阳系所有的行星卫星组合中，它是与所归属的行星大小最接近的卫星，因此不少人认为它原来也是一颗行

星，后来被地球引力俘获才形成共同围绕它们的质量中心转动并绕太阳公转的姐妹行星。月亮总是用同一个面对着地球。这种情况称为同步自转。

月亮表面最显著的特点就是相当崎岖不平，布满各种山脉、裂谷和大小不一的月坑，另外也有几大块平原称为月海。月坑又称为环形山，小的只有几十厘米或更小，大的直径有 200 千米以上。大月坑底部很平坦，中央有一些尖锥状的小山。绝大部分月坑是陨星撞击而成的，裂谷和断崖则是月面坍塌的结果。月亮上没有水，所谓月海实际是由熔岩流布而成的平原，有的月海四周有一圈山脉，好像原先也是大月坑，但后来被熔岩淹没掉。空间探测器飞越月亮时发现好几个月海下面有大块密度较高的物质，这些物质被认为是巨大高密度陨星撞进月面，撞击产生的大量热能熔化了周围的岩石，可能再加上由月亮内部深处冲破薄弱月面流出来的熔岩，淹没掉原来的洞穴，最后就形成了月海。虽然月亮内部可能不像地球那样完全熔化过，也没有形成铁质的月核，但从登月过程中做的月震波实验来看，月亮内部也分为核、幔和壳三部分。月核半径约为 700 千米，是软流状固态硅酸盐矿物质构成的，温度只有 1000 开左右，远比地核低。月幔和月壳组成刚性的岩石层。月幔厚 1000 千米，月亮的厚度在正面约为 65 千米，而在它的背面却可能要厚上一倍。

1969 年宇航员登月后不仅进行了月震波试验，还作了一系列的“月质”考察。月面的岩石主要是玄武岩，是由熔岩凝固而成的，因此至少月亮表面原来曾经处于熔融状态。月亮上最古老的岩石已有 44 亿年以上的历史，但月面上普遍覆盖的粉尘的年龄却达 46 亿年，这些粉尘估计都是从月亮凝固出的第一批岩石剥落下来的。在月亮上没有明显的磁场，这很可能与月亮内部不存在可流动的铁质核有关。

由于内部热量不足，坚硬的岩石圈厚达上千千米，所以月亮上不存在板块活动，也没有板块撞击的造山运动。然而使历史陈迹原样保存到现代的主要原因是没有大气和水流，不存在风化和水蚀作用。不过月面仍受到另一些因素的剥蚀，一是昼夜温差使岩石表面剧烈热胀冷缩而破裂和剥落；二是大量陨星的撞击，每次陨星撞击都会有崩裂的碎屑，在高温下熔成玻璃珠状的细微颗粒；三是太阳风粒子和其它高能辐射以及宇宙线对岩石分子组的破坏。而最主要的是在行星际空间随处存在的细微尘埃颗粒的冲刷，这些颗粒未受大气阻拦以高速直冲月面，严重磨蚀月面岩石，结果使月面普遍散布着一层粉尘。

## 地球和月亮的运动

由于地球绕日公转，太阳看起来好像是在天穹的繁星之间由西向东运行，它所走的路线夏天在赤道以北，冬天在赤道以南，这种表现的太阳轨道就是黄道。因为太阳和地球都永远在地球轨道面上，所以地球轨道面和黄道面是同一个平面，两种叫法可以互换使用。黄道在天穹上和天赤道有两个交点：一点是视太阳由南向北穿过赤道的春分点；另一点是秋分点。太阳在一年里先后穿行于黄道十二个星座，它们好像是太阳的行宫，所以又称黄道十二宫。

地球轨道的偏心率虽然只有 0.017，地球在轨道上运行的速度仍然有明显变化，反映出来是太阳在黄道上走得快慢不同。每年春分到秋分地球在远

日点一侧，运行较慢，共约需 185 天；而由秋分到第二年春分则在近日点一侧，运行较快，只需约 180 天。这正是开普勒第二定律的反映。

月亮绕地球运行的公转是产生月相变化和形成日月食的原因。月亮与地球的平均距离是 38.4 万千米，绕地一周需用 27.3 天。这个周期不是两次满月的间隔，而是以天空的恒星为背景所观测到的周期，因此叫恒星月。在这期间地球在自己的公转轨道上向前运行了一段，月亮、地球和太阳的相对位置有了变化。例如原来月亮在太阳和地球当中，经过一个恒星月之后，以遥远的恒星为准，月地的相对位置已经和上次一样，但是月亮却还没有来得及第二次走到太阳和地球中间，大约还差  $27^\circ$ ，需要再过一段时间才能到达。月亮先后两次到达太阳和地球当中所间隔的时间叫做朔望月，长度是 29.5 天。

月相变化是因为太阳、地球和月亮相互位置的变化，使我们看到被太阳照亮的月亮部位不同而形成的。当月亮处在日地之间时，面对地球的是阴暗面，称为朔，即农历初一；月亮转到日地连线对面时是满月，称为望，即农历十五。中间还有娥眉月和上弦、下弦。两次朔日或两次望日之间所经历的时间就是朔望月。

在朔日如果月亮刚好穿过地球的轨道面或在附近，它就会把影子投到地球上形成日食，月影经过的地带就是日食带。由于太阳整个圆面都发光，所以月亮投射出的影子分本影和半影两部分。在本影区内月亮完全把太阳遮挡住，而半影区只部分遮挡住太阳。月亮的本影投射到地球上就会发生日全食。在锥形本影经过的地带可以看到日全食，在锥形半影扫过的区域，太阳不会被月亮全部遮挡，只能看到日偏食。在一次日全食中可以看到偏食的地带远比能够看到全食的地带为大。月亮在椭圆轨道运行，距地时近时远，因此有时月亮即使正好处在太阳和地球当中，本影的锥尖却不够长无法投射到地球上，这时月亮距地较远，它的盘面比太阳圆面小，就会形成日环食。本影的锥尖未达到地面，在锥尖的延长线所指位置附近可以看到日环食，半影区内其它地方只能看到偏食，如果在望的时候月亮刚好穿过地球轨道面，月亮就会走到地球的本影里面而接受不到阳光，这样就会形成月食。

很明显，并不是每个月的朔望日都会发生日月食，只有在朔望时月亮凑巧十分靠近或穿过地球轨道面时才会发生日月食。月亮绕地运行的轨道面即通常称为白道面的平面，既不和黄道面重合又不和地球的赤道面重合，所以月亮的运动看起来显得特别复杂。

发生日食的机会比发生月食的机会多。每年都至少会发生两次日食，两次之间大约相隔半年。最多一年之内可以发生五次日食，它们分为三组，其中两组连续两个月都发生日食，另外相隔约半年还有一次单独日食。日食的发生次数虽多，但月影特别是月亮本影锥尖在地球上扫过的面积每次都极为有限，所以对任何一个具体地点平均经过二百年才能遇见一次日食。月食每年最多只有三次，有些年份甚至一次月食也不发生。但是每次发生月食在夜间的半个地球上都能见到，所以看到月食的机会反而较多。每年日月食总数不会超过七次。

月亮绕地运行还影响海水和潮汐。月亮对地球上各点的距离不同，对地球各部分的引力也不相同。面对月亮的部分距离最近引力最强，地心处次之，背着月亮的一面距离最远引力最小。如果地球完全是刚性固体不会变形，各部分受到的引力差别从整体上起不了什么作用，合起来相当于加在地心处的

总引力。但是地球并不是理想的刚体，更何况表面还有广阔的海洋，能流动的海水是可以随受力情况而变形的。其结果是受引力最强处向月亮移动的加速度最大，地心次之，背着月亮的一面引力最弱加速度也最小。这些力总合的作用是维持地球和月亮相互绕行，但是由地球本身来看，面向月亮的部分向月亮靠拢的趋势强，而背着月亮的部分却跟不上整体的行动。结果不论面对或背向月亮的部分都有离开地心的趋势，也就是说它们都受到向外拉的力，海水受这种力的作用在两个方向上都会凸起来形成海潮。这种引起海水潮汐的力就叫做潮汐力或引潮力。一个天体的质量越大或者和周围物体距离越近，它所施加给周围物体的潮汐力就越大。在中子星或黑洞附近潮汐力可能会大到任何物体都要被撕扯碎裂的地步。潮汐力虽然是万有引力的一种表现，但它是不同距离上引力的差值，所以不再与距离的平方成反比而是与距离的三次方成反比。太阳对地球的潮汐力就因为它的距离比月亮远得多，不像月亮对地球的潮汐力那么强。

所谓潮汐原是指在朝朝夕夕的昼夜周期里，日月潮汐力使海水涨落的变化。太阳和月亮的引潮力还以朔望月为周期。在朔日或望日，太阳、地球和月亮在一条线上，日月潮汐力方向相同，形成大潮。中秋钱塘江大潮就如万马奔腾蔚为壮观。

地球反过来自然会向月亮施加更为强大的潮汐力。月亮早期表面由熔岩覆盖的时候，潮汐力会使熔岩发生涨落的流动。由于熔岩粘滞性很大，流动起来摩擦阻力很大，就使月亮转慢起来，最后达到自转周期和公转周期相等为止。这时月亮固定用一个稍微向外突起的面对着地球，不再有熔岩的流动和涨落，这就是月亮以及已测得自转周期的卫星全部是同步自转的原因。再反过来看地球，地球上海水的潮汐也同样有摩擦力。虽然比熔岩流动给月亮的阻力小，却同样能使地球自转减慢。现在已经测出，地球的自转周期每 100 年大约延长 1 毫秒的样子。有很多证据证明在远古时代地球每年自转 400 多次，而不是现在这样 365 次多一点。

## 太阳系

### 光辉的太阳

太阳是太阳系中唯一自己发光的天体，是一颗稳定的恒星。它光焰夺目，光芒四射，以巨大的光和热哺育着大地，给人间带来了温暖。对于人类来说，地球上万物的生长，气候的变化，江河湖海的出现，各类矿产的形成，直到人们的日常生活，都离不开太阳，所以在宇宙的众星球中，没有一个能比得上太阳更为重要。可以说，没有太阳就没有人类居住的地球，也就没有人类。从这个意义上说，太阳好比是“大地的母亲”。

在我国辽阔的土地上，从很早的古代起，就居住着许多部族，各个部族都有自己奉祀的上帝、鬼神和有关太阳的神话传说。据传说，我国东方殷商人信奉的上帝是帝俊（又称帝誉），西方的周人所奉祀的上帝是黄帝，而且这往往又与太阳的神话传说有关。

传说帝俊长着鸟的头，头上有两只角，称猴的身子，只有一只脚，手里常常拿着一根拐杖，弓着背，一拐一拐地走路。说帝俊有三个妻子，一个叫做娥皇，另外两个一个叫羲和，另一个叫常羲。羲和是太阳的女神，生了十

个太阳。常羲是月亮的女神，生了十二个月亮。

相传，在东海外的汤谷，有一棵大树生长在海水中，这个大树名叫“扶桑”，扶桑有几千丈高，一千多围粗，这十个太阳就住在这扶桑树上，经常有一个太阳住在上面的树枝上，其余九个都住在下面的树枝上。他们轮流出现在天空中，一个太阳回来了，另一个太阳才出去值班，所以虽然有十个太阳，但经常和人们会面的却只有一个。

据说到帝尧当政的时候，十个太阳不再认真地轮流出来值班，却一齐跑出来玩耍。习惯一经养成，就天天都结伴出来，这便给大地上的人们带来了沉重的灾难。十个太阳发出的光和热，把禾苗晒得枯干了，把土地烤焦了，铜铁沙石也快要晒融化了，血液差一点要沸腾，怪禽猛兽纷纷从火焰似的森林、沸汤般的江湖里跑出来残害人们，人们处在垂死挣扎的边缘，就连帝尧也无法活下去了。

在天廷的帝俊见到这般光景，觉得再也不能让孩子们胡闹下去了，于是就决定派擅长射箭的名叫后羿的天神到人间去严厉地教训他们一番。据说后羿的箭法相当高明，即使一只小雀从他面前飞过，准会把它射下来。在后羿离开天廷的那天，帝俊赐给了他一张红色的弓和一口袋白色的箭，这箭不但华美而且坚固锋利。帝俊对后羿还叮嘱一番。后羿领了帝俊的使命后，就带着妻子天神嫦娥降到了人间。

后羿在茅草屋里见到了愁苦的帝尧，又亲眼目睹了人们受难的情景，勾起了他怜悯人们、痛恨太阳的怒火，这时已顾不上帝俊的嘱咐了，便弯弓对准太阳射出一箭，嗖的一声上去，隔了片刻，只见天空中一团火球无声地爆裂，流火乱飞，黑色的羽毛纷纷四散，坠落到地面上一团黑色的东西。人们跑去一看，原来是一只带着箭的硕大无比的三脚乌鸦，它就是太阳精魂的化身。天上果然少了一个太阳。后羿见大祸既已闯下来了，索性一不做二不休，把箭一支接一支地射向太阳，三脚乌鸦一只接一只地落下来。站在一旁看射箭的帝尧，想到一个太阳出来的时候，太阳对人们有很大的好处，不能全射下来，便急忙命人暗中从后羿装满十支箭的箭袋里抽出一支，所以最后天空中只剩下了一个太阳。

后羿虽为人们除了害，但由于射下了九个太阳而闯下大祸，就再没回到天廷，嫦娥也因此受到了连累。后羿为了永远生活在人间，就引出了后羿向西王母讨药，以及嫦娥奔月的故事。

我国是最早观测和研究太阳的国家之一，早就注意对太阳黑子和日食现象进行观测，并留下了大量的资料。据《汉书·五行志》记载，在西汉成帝河平元年（公元前 28 年）“三月乙未，日出黄，有黑气大如钱，居日中央”，这是世界有名的公元前 28 年 5 月 10 日的太阳黑子记录（据考证，“乙未”应为“己未”）。后来在我国的史籍上，不断出现类似的记载，对科学家们研究黑子周期有很大的参考价值。

但首先用仪器观测太阳的要算是伽利略了。在 1609 年，伽利略第一次用望远镜观测太阳黑子。1826~1843 年，法国有位药剂师，名叫施瓦布，是个天文爱好者。他对太阳黑子连续观测 17 年后，发现黑子有 10 或 11 年的周期变化。1848 年，瑞士的 R·沃尔夫提出黑子相对数的概念，并利用历史上望远镜观测积累下来的黑子资料，推算出上溯到 1700 年的黑子相对数的年平均值，进一步证明太阳黑子活动确实存在着明显的周期性变化，周期平均长为 11.1 年，这就是大家所知道的太阳黑子 11 年周期。

到了 19 世纪最后 10 年，美国的海耳和法国的德朗达尔分别发明太阳单色光相机和太阳谱线速度仪，从而开创了现代的太阳研究的新时期。他们通过单色光观察太阳光球和色球，发现了钙云（谱斑）。20 世纪初，在威尔逊山天文台安装了太阳塔和分光设备，广泛地巡视太阳，发现了黑子的磁性和 22 年的磁周期。1931 年，李奥制成了日冕仪，为人们平时观测日冕提供了条件。到 20 世纪 50 年代初，太阳光磁象仪研制成功，进一步推动了对太阳活动规律和活动区物理的探讨。

此外，在 20 世纪 30 年代，詹斯基等人发现了来自地球以外的无线电波。射电天文学的诞生，使人们可以用无线电方法接收并研究太阳的射电波，并取得越来越多的成果。

随着空间科学技术的发展，空间天文学也发展起来。在卫星上天以前，已开始利用飞机、气球、火箭进行探测。近年来，又发展到利用地球轨道太阳观测卫星、某些深空探测器和天空实验室上的阿波罗望远镜装置，从空间观测太阳，此外，许多地球物理探测卫星，也进行太阳观测。

美国在 1960 年 6 月～1976 年 3 月，发射了太阳辐射监测卫星（英文缩写为 SOLRAD）系列。这个系列共发射 13 颗，其中有三次发射失败，后发射的几颗成果较大。它们的任务是对太阳 X 射线进行连续监测。从 1961 年 1 月以来，利用这些卫星监测太阳 X 射线辐射，测定了这个黑子周期内的极小和极大的辐射流量，以及辐射流量随太阳活动的变化情况。

此外，美国从 1962 年 3 月～1975 年 6 月，还发射了轨道太阳观测台（英文缩写为 OSO）系列。它也是观测太阳的卫星系列。这个系列共发射八颗，主要任务是通过观测太阳的紫外线、X 射线和  $\gamma$  射线，系统而连续地研究太阳的结构、动力学过程、化学成分以及太阳活动的长期变化和快速变化。

除了美国以外，苏联、欧洲空间局、日本等国也先后发射了太阳观测卫星，进行对太阳的观测和研究。

1973 年，美国的“天空实验室”发射成功，使空间太阳观测发展到了空前的程度。天空实验室是美国实验性的大型载入轨道空间站。它上面的阿波罗望远镜是一组观测太阳的天文仪器，在远紫外线或 X 射线等不同波段，对太阳色球和日冕进行了电视或照相观测，拍摄了太阳活动景象的大量照片。而且，通过天空实验室的高分辨率成像观测表明，日冕不是宁静的均匀结构特征。科学家们还注意到，当太阳赤道有大冕洞时，地球附近就会观测到高速太阳风。为此，人们认为冕洞可能是高速太阳风的源泉。

可见，人类在漫长的岁月里，通过不同手段对太阳的观测，使人们知道了太阳上有着壮丽的景色，变幻的风云，甚至猛烈的爆发，太阳上是那样生气勃勃，丰富多采。这里，我们对太阳的知识只做简单的介绍。

太阳是太阳系的中心天体，它以巨大的引力控制着太阳系中的天体。地球自形成以来，已绕太阳运行过 46 亿年了。太阳是离我们最近的一颗恒星，它的直径为 139 万公里，比地球大 109 倍，体积相当于地球的 130 倍，质量是地球的 33 万倍。

太阳是一个炽热而发光的气体球，严格地说，它是一个高温的等离子体天体。太阳是由一系列类似同心圆的气层组成的。

我们肉眼看到的光芒夺目的太阳表面，通常称为“光球”。厚度约有 500 公里，表面温度达 6000 K。我们接受到的太阳能量基本上是从光球发出的。在光球上没有受到干扰的地方，布满了米粒组织，估计米粒组织的总数达 400

万颗。在光球活动区有太阳黑子、光斑，偶尔还有白光耀斑。

“米粒组织”是光球下面气体对流所引起的一种日面结构。它在高分辨率的光球照片上，呈现出米粒状的明亮斑点，它们的直径往往达 700 ~ 1400 公里。

在光球上出现的大小不等、形状不一的黑点，就是我们熟悉的太阳“黑子”。在太阳表面，黑子像一个不规则的洞，充分发展的黑子是由中心较暗的本影和周围较亮的半影构成的，它比光球低约 500 公里。温度比光球低，只有 4500 。黑子往往成对成群出现，黑子群几乎全都呈椭圆形。有的年份黑子出现得多，有的年份出现得少，通过长期观测和对观测资料的分析，发现黑子数的变化平均有 11 年左右的周期，人们把 11 年周期称为“太阳活动周”或“黑子周”。在一个太阳活动周里，黑子数升到最高的年份叫做“太阳活动峰年”（极大年）；黑子数降到最低的年份，称为“太阳宁静年”（极小年）。至于太阳黑子的成因，现在还不能确知，但是黑子与强大的磁场有关系，磁力现象一定与黑子的来源有密切关系，这是没有疑义的。

在太阳东西边缘部分的黑子周围，往往可以看到亮的条纹或小块，这就是“光斑”。光斑一般环绕着黑子，与黑子有着密切的关系。同黑子有关的光斑由明亮的纤维组成；同黑子无关的光斑出现在 70 度的高纬地区，面积小，略呈圆形。

光球上面的气层是“色球”。在日全食时，当月亮挡住了太阳的光球，就可以看到太阳边缘出现一圈明亮而狭窄的玫瑰色圆环，这就是色球。色球层的厚度各处不同，平均厚度约有 2500 公里。

用色球望远镜观测太阳圆面时，可以看到太阳单色象上有一些较明亮的区域，叫做“谱斑”。谱斑是在色球层中出现的类似光斑的亮区。

最好看的要算是从色球层喷出的“日珥”了。如果把太阳比做一团熊熊燃烧的火球，那么日珥就是从火球上冒出来的火焰。日珥的形状多种多样，有的像火焰，有的像半圆环，也有的像喷泉，有时一个巨大的“气柱”升腾而起，达到几万公里甚至一百多万公里的高度，然后再落回日面，有的便脱离太阳而去。日珥比日面的亮度小得多，所以它在日面上的投影是暗黑色的。在太阳单色光照片上，像是一条蜿蜒曲折的长蛇，称为“暗条”。

有时，一个亮斑点在黑子群的上空突然出现，在几分钟甚至几秒钟内，它的面积和亮度增到极大，以后又慢慢减弱以至消失，这种变化快而且比谱斑更明亮的亮斑，叫做“耀斑”，它可能是色球和日冕过渡层中的一种大气不稳定过程。耀斑的出现和黑子有密切关系，因为 95% 以上的耀斑都产生在黑子群范围内。一个耀斑发出的总能量相当于 100 亿个百万吨级的氢弹爆炸的威力。当耀斑出现时，除了发出很强的无线电波外，还发射大量的紫外辐射、X 射线、 $\gamma$  射线，抛出高能带电粒子。当它们到达地球时，有时会使短波无线电通讯受到干扰，产生磁暴和极光，有时也会间接地影响地球物理现象。

色球层向上是“日冕”，日冕是太阳最外层的大气，从色球层顶部一直向上延伸到几个太阳半径。日冕的光度比较暗弱，所以平时看不到，日全食时可以看到在圆轮周围有个银白色的圈，就是“日冕”。

日冕是由很稀薄的、完全电离的等离子体所组成，其中主要是质子、高速电离的离子和高速的自由电子。温度很高，高达 100 多万度。

日冕的精细结构，有冕流和极羽、冕洞、日冕凝聚区等。日冕的形状和

太阳活动有关，在太阳活动极大年，日冕接近圆形，而在太阳宁静年则比较扁。

太阳发出的能量，99%是由内部产生的。关于太阳产能的秘密，直到20世纪30年代以后，才逐渐被人们所认识。在半径约为太阳1/4的日核部分，集中了1/2的太阳质量，温度高达1500万度，压力为 $25 \times 10^{10}$ 大气压。在那里进行着大规模的四个氢原子核(质子)聚变成一个氦原子核的热核反应。当四个氢原子核聚合成一个氦原子核的时候，我们会发现有质量的亏损，即一个氦原子核的质量比四个氢原子核的质量要少一些。这些亏损的物质则变成了光和热。产生的能量，主要以辐射形式稳定地向空间发射。

太阳是一颗平凡的恒星，它居于无数颗恒星之中，正由于这颗恒星离我们最近，人们就可以通过对太阳的仔细研究，为对遥远的恒星世界的研究提供了条件。

## 大行星和它们的卫星

早在几千年前人们已经把太阳、月亮和水、金、火、木、土五颗行星从大量恒星中区分出来了，因为它们都穿越恒星组成的星空背景运行。太阳和月亮又以其特殊外貌与另外五颗行星相区别。今天我们已经知道，它们全都属于远离星空背景诸星的太阳系。太阳系里还包括地球本身和后来陆续发现的三颗大行星、众多卫星、无数小行星，还有彗星、陨星以及大量尘埃物质和稀薄的气态物质等等。

现在一般把水星、金星、地球和火星归为一类，称为类地行星。它们的共同特点是其主要由石质和铁质构成，半径和质量较小但密度较高。把木星、土星、天王星和海王星归为一类，称为类木行星。它们的共同特点是其主要由氢、氦、冰、甲烷、氨等构成，石质和铁质只占极小的比例。它们的质量和半径都远大于地球，但密度却较低。冥王星是特殊的一个，虽然成分和天王星、海王星相似，但它比月亮还要小。另外还有一种分法把木星和土星归为一类，称为巨行星或类木行星；而把另外三颗归为一类，称为远日行星。其理由是木星和土星的成分与其余三颗不相同，特别是大气的成分有明显差别。前者保有较丰富的氢和氦，而后者则包含较多的冰、甲烷和氨。

大行星的公转轨道大多数是近乎正圆的椭圆形，只有水星和冥王星的偏心率比较大。

大多数卫星的公转轨道和大行星的轨道类似，也是近乎正圆形的椭圆形，行星围绕太阳和大部分卫星围绕行星都和地球的绕行方向一致。行星运行轨道所构成的平面都很接近，差别最大的冥王星轨道面和地球轨道面之间的夹角也只是 $17^\circ$ 多。大多数卫星的轨道面和行星轨道面之间的夹角也不大，最多 $30^\circ$ 左右，只有天王星的几颗卫星例外，它们的轨道面几乎和天王星的轨道面垂直。以上是行星与卫星运行的主要情况，总的来说，它们的轨道运行有近圆性、同向性和共面性。

有四颗行星的自转轴与它们的公转轴有20多度的夹角。水星、金星和木星的两轴夹角仅有几度。金星的夹角虽小，自转的方向却与公转方向相反。天王星和冥王星差不多是躺在轨道面上自转的，它们的自转轴接近与公转轴垂直。在卫星中只有少数几颗的自转周期已知，全部和它们围绕行星运行的公转周期相同，被称为同步自转。