

宇宙

【宇宙】 广漠空间和其中存在的各种天体以及弥漫物质的总称。《淮南子·原道训》注：“四方上下曰宇，古往今来曰宙，以喻天地。”宇宙，一般当作天地万物的总称。常有“观测到的宇宙”和“物理宇宙”之说。观测到的宇宙即总星系。是人们用肉眼或仪器观测到的整个宇宙空间及存在的各种天体、弥漫物质的总称。它有一个边界，即探测工具的极限。现在已能观测 200 亿光年的宇宙深处。这个范围内包含了 10 亿个以上的星系。“物理宇宙”即物理现象上进行解释的宇宙。它在空间上是无边无沿的，在时间上是无始无终的，部分为人们所见，大部分为人们观测所不及。它是一个物质世界，处于不断运动、发展之中。作为总体，它不生不死，无始无终。

【宇宙学原理】 研究观测所及的大尺度的时空特征时所建立的假设。是作为研究宇宙学的前提。认为在宇宙尺度上，任何时刻，三维空间是均匀的和各向同性的。按照宇宙学原理，在宇宙尺度上的空间任一点及任一方向的物理量是相同的，即无论其密度、压强、曲率、红移都是完全相同的。但同一点，不同时刻可以不同；宇宙中各处的观测者，看到的物理现象和物理规律是完全相同的，无特殊例外，即在地球上看到的宇宙演化图景，在其他天体上也

同样可以看到。完全宇宙学原理是宇宙学原理的进一步推广，即不仅三维空间是均匀的和各向同性的，整个宇宙在不同时刻也是完全相同的。

【红移】天体光谱中某一谱线相对于实验室光源的比较光谱中同一谱线向红端的位移。天体的同一谱线波长增加，即为红移；波长减少，即为紫移（蓝移）。现在发现许多天体光谱中存在红移，其中有天体离开观测者引起的多普勒速度红移，也有引力势差造成的引力红移，还有时空大尺度结构引起的宇宙学红移等。如果认为红移是多普勒效应造成的，就会得出我们观测到的宇宙在膨胀的结论。20 世纪 60 年代发现类星体普遍存在较大的红移，其中最大的为 4.89。目前对类星体和星系的红移还没有公认的解释。

【哈勃定律】河外星系的视向退行速度与距离成正比，即距离越远，视向速度越大。这个速度—距离关系在 1929 年由美国天文学家哈勃发现，称为哈勃定律或哈勃效应。在宇宙学研究中，哈勃定律成为宇宙膨胀理论的基础。但哈勃定律中的速度和距离均是间接观测得到的量。速度—距离关系和速度—视星等关系，是建立在观测红移—视星等关系及一些理论假设前提上的。哈勃定律原来由对正常星系观测而得，现已应用到类星体或其他特殊星系上。哈勃定律通常被用来推算遥远星系的距离。

【哈勃常数】简称速度—距离比，或哈勃比。河外星系退行速度同距离的比值，它是一个常数。1929 年由哈勃首先发现并给出比值为 500。1931 年哈马逊第二次测定为 558，后又订正为 526。到 1958 年桑德奇得到的值为 75。目前认为 H 的最佳值在 50—100 之间。

如何得到正确的哈勃常数尚待进一步研究。

【哈勃距离】在适应于哈勃定律的宇宙模型中,可观测宇宙的最大距离叫哈勃距离。也称为哈勃半径。它的数值等于光在哈勃时间内所走过的距离。哈勃时间是哈勃常数的倒数,可由公式 C/H 计算出来。式中 C 为光速。若取 H 为 $55\text{KM} \cdot \text{秒}^{-1} \cdot \text{兆秒差距}^{-1}$,则哈勃距离为 55 亿秒差距,即 180 亿光年。

【红移—视星等关系】视向速度和视星等之间的线性关系。这是哈勃继 1929 年发现哈勃定律后,于 1931 年进一步得到的。此关系为:

$$\lg v = 0.2m + B,$$

式中 v 是视向速度, m 是视星等, B 是与绝对星等有关的常数。以红移为纵坐标,视星等为横坐标,可以画出红移—视星等图,通常称为哈勃图。由图,哈勃假设宇宙间同类天体的绝对星等相同且没有演化效应(即绝对星等不随时间变化),得到视向速度 v 与视星等 m 的线性关系。测定红移—视星等关系和进一步确定视向速度—视星等关系,目的是得到天体的视向速度—距离关系。

【速度—距离关系】星系的退行速度与距离间的关系。哈勃于 1929 年发现这一关系为线性关系。但这一关系不能直接测定,天文观测只能测定星系的红移与视星等的关系,必须作一些假定才能得出速度距离关系。而且只有在红移较小时才存在线性关系。在红移较大时,要以相对论公式来代替多普勒效应公式,速度—距离关系就变得复杂了。许多学者根据不同宇宙模型得出红移与距离的平方成正比,这时红移与距离之间的关系将不再是线性的。

【**K 改正**】河外天体光谱因红移造成歪曲，在进行光度测量时所须加入的改正。在讨论热距离模数 $m_{bol} - M_{bol}$ 时，除要考虑星际消光改正项 A 外，还要再加上一改正项 K ，即 K 改正：

$$m_{bol} - M_{bol} = m - M - K - A$$

式中 $m - M$ 为使用响应曲线为 $S(\lambda)$ 的辐射接收系统所得到的距离模数观测值。 K 改正的单位为星等。

【**宇宙时**】全宇宙都适用的统一时间。也称宇宙标准时或普适时。只有有了宇宙时，才能研究宇宙空间的大尺度结构，它也是宇宙学原理的一个前提条件。因为宇宙中存在着一些宇宙标量场，且处处为单调递减，利用这种宇宙标量场就能确定宇宙时。宇宙时为更好地描述宇宙空间大尺度结构及演化提供了可能。

【**减速因子**】在膨胀宇宙模型中用以表示宇宙空间开团性的参量。一般用符号 q 表示，现在值则采用符号 q_0 表示。例如在弗里德曼宇宙模型中，若 $q_0 > 1/2$ ，对应的是一个正曲率封闭空间； $q_0 = 1/2$ ，对应是一个零曲率开放空间；介于 0 与 $1/2$ 之间的值，对应的是个负曲率开放空间。在这一类宇宙模型中，决定 q_0 就决定了是开放性的还是封闭性的空间，若是开放性的还可知道其空间曲率的正负性。如何决定 q_0 成了宇宙特征的重要问题。与 q_0 有关的因素有：星系数目、星系红移、星系视星等、宇宙平均密度等，以致宇宙中暗物质的研究成为讨论 q_0 重要课题。

【**稳恒态宇宙模型**】关于宇宙的一种学说。承认星系红移的观测事实和其表征宇宙膨胀的意义，但不认为宇宙膨胀会改变宇宙物质

的平均密度。为此提出维持密度不变的物质连续不断由虚空中创生的观点。按目前的观测事实，该学说只要求 5000 亿年中在 1 立方米空间中创生一个氢原子。一般认为它并不是静止宇宙模型，但却是一个单调膨胀的模型，是一个在空间上均匀和各向同性，在时间上稳定的模型。1948 年由英国天文学家邦迪、霍伊尔、戈尔德等人提出。这一类模型对促进宇宙学研究发挥了作用。

【等级式宇宙模型】关于宇宙的一种学说。在宇宙中存在着行星系、星系、星系团等观测事实的基础上，提出的天体逐级成团的结构学说。最早由德国物理学家朗伯特于 18 世纪中期提出，1908 年瑞典天文学家沙利叶发展以等级或宇宙论。

【爱因斯坦静态宇宙模型】爱因斯坦于 1917 年用广义相对论研究宇宙时，建立的现代宇宙学中的第一个宇宙模型。爱因斯坦宇宙模型得到的是一个有限无边的封闭宇宙，有一个有限的宇宙半径。这个模型里物质不运动，因此是静态模型。这个模型是爱因斯坦方程的一个非真空球状静态解，具有宇宙常数项。此模型与星系红移现象矛盾。

【德西特静态宇宙模型】荷兰天文学家继爱因斯坦之后于 1917 年提出的一个宇宙模型。因它与爱因斯坦的宇宙模型一样，认为宇宙空间不随时间而变，故也属于静态模型。但它又认为物质是运动的，只是物质的平均密度趋近于零。此模型得到的是一封闭宇宙，但其中星系有退行，是该宇宙常数决定的德西特斥力作用的结果。

【弗里德曼宇宙模型】前苏联数学家弗里德曼于 1922 年解爱因斯坦引力方程时得到的一种宇宙学说。此学说中宇宙是均匀的、各向同性的、宇宙常数为零的且不断膨胀着的。1927 年比利时天文学家勒梅特把它发展为一个宇宙模型并得出大尺度宇宙空间随时间而膨胀的概念。1929 年哈勃发现星系退行规律后，弗里德曼宇宙模型从此受到广泛重视。由于此模型中膨胀总是在物质密度无穷大时开始，因此就出现了奇点问题。奇点当前是一个正在探讨、仍未解决的课题。

【勒梅特宇宙模型】比利时天文学家勒梅特于 1927 年将弗里德曼对爱因斯坦引力场方程的宇宙解发展为一个宇宙模型。此模型中的宇宙是膨胀的。通常把包含宇宙常数的均匀各向同性宇宙模型称作勒梅特宇宙模型，而将宇宙常数为零的模型称作弗里德曼宇宙模型。勒梅特宇宙模型的特征是宇宙的初始密度极高，最初的膨胀速度也很高，然后愈来愈慢，一直到达某种停顿状态，星系在此阶段形成，并引发新一轮无休止的膨胀。

【尘埃宇宙模型】在大尺度空间中，可将宇宙物质看作是由尘埃组成的体系，尘埃间的压力在其静止能小得多，常可忽略不计。忽略物质间的压力（包括辐射压）时得到的引力场方程的解称为零压宇宙解，由此建立的宇宙模型即为尘埃宇宙模型。

【膨胀宇宙模型】认为宇宙在不断膨胀的宇宙模型。属于这类宇宙模型的学说如弗里德曼宇宙模型，稳恒态宇宙模型和大爆炸宇宙模型。

【开放宇宙模型】弗里德曼宇宙模型的一种。弗里德曼宇宙模型可分为两种。(1) 若目前宇宙物质的平均密度 ρ_0 小于或等于某一特定的临界密度 ρ_c 或减速因子 $q_0 \leq 1/2$, 则宇宙将永远膨胀下去。这种模型就叫开放宇宙模型。其空间曲率 $k = -1$ 或 0 , 即对应于三维双曲空间或平直空间。在此种宇宙中光线永远回归不到“原处”。(2) 若目前宇宙物质的平均密度大于临界密度, 或 $q_0 > 1/2$, 则宇宙的膨胀将逐渐减慢, 最终停止, 然后再收缩。这种模型称闭合宇宙模型。其 $k = +1$, 对应于三维球面空间。在此宇宙中光线有可能返回到“原处”。目前尚不能从观测资料中推判属哪种模型。

【相对论宇宙学】在爱因斯坦的引力理论和相对论力学的基础上建立起来的宇宙理论。它是建立在宇宙学原理的基础上的, 即认为宇宙物质在大尺度上是均匀、各向同性的。同时, 它认为空间各点曲率相同, 正曲率对应于一个无边有限的闭合宇宙; 零曲率对应于一个平直的开放宇宙; 负曲率对应于一个双曲型开放宇宙。

【大爆炸宇宙学说】由星系红移观测事实反推出来的一种宇宙学说。认为宇宙起始于热大爆炸, 此后宇宙由密到稀, 由极高温到冷不断膨胀。由于能较多的解释观测事实, 被称为标准宇宙模型, 反映出它已成现代宇宙学中影响最大的一种学说。1932 年勒梅特提出宇宙产生于一个极端高热、极端压缩的原始原子; 1948 年伽莫夫发表了《宇宙的演化》等论文, 后与阿尔弗、贝特等人联合发表《化学元素的起源》, 发展了勒梅特的观点; 1965 年伽莫夫再发表《膨胀宇宙的物理学》, 进一步阐述了大爆炸宇宙学说。支持这一学说的主要观测事实有: 天体的年龄、星系红移、氦丰度和

宇宙背景辐射等。亦称热大爆炸宇宙论、原始火球理论或 $\alpha-\beta-\gamma$ 理论。

【宇宙年龄】在某些模型宇宙中，存在一个特定时刻——开端，由此直到现在的时间间隔。在宇宙常数等于零的宇宙模型中，宇宙年龄即代表宇宙现在的年龄。在宇宙常数小于零的各种宇宙模型中，宇宙年龄都比哈勃时间（ H^{-1} ，约为 180 亿年）小。在勒梅特宇宙模型中，宇宙年龄可大于哈勃时间。在稳恒态宇宙模型中，因为无论何时都相同，所以不存在宇宙年龄。

【宇宙半径】在均匀各向同性的宇宙模型中，罗伯逊—沃尔克度规取椭圆空间、平直空间（欧氏空间）和双曲空间的空间曲率分别为 $+1$ 、 0 和 -1 。当曲率为 $+1$ 时的椭圆空间的距离标度因子称为“宇宙半径”。而平直空间是无限的，双曲空间是开放的，所以没有半径。由于它只是对距离标度因子的几何意义的一种象征性解释，故常加引号。

【宇宙常数】爱因斯坦于 1917 年为了用他的引力场方程解释物质密度不为零的静态宇宙的存在，便在其场方程中引进了一个与度规张量成比例的项，用符号 Λ 表示。此项在银河系范围内可忽略不计，只在宇宙尺度才可能有意义，所以称作宇宙常数。虽然现在确定静态宇宙模型不符合实际，爱因斯坦也曾多次提出取消此常数，但有些学者认为该常数可能有新的物理意义，不宜轻易抛弃。目前对宇宙常数是正值、负值还是常数或随时间变化仍意见不一。

【物理常数的变化】现代宇宙学关注和探讨的问题之一。物理学中的一些常数如万有引力常数、光速、普朗克常数、电子质量等。都是在地球实验环境下测定的，它们在大尺度宇宙空间，在接近光速运动的条件下，是否还能继续持不变？关系着现有物理定律在宇宙中，在宇宙演化的各阶段都能不加改正地应用的问题。

恒星和星际物质

【星座】星空中一块特定的区域及在其中的一组星群。西方原先用来标志天空中被想象成构成一定图形的一组星群的名字；也用来指天空中任何一块确定的区域。与中国古代将星空分为三垣二十八宿的作法近似。三垣是北天极周围的 3 个区域，即紫微垣、太微垣、天市垣。二十八宿是在黄道和白道附近的 28 个区域，即东方七宿：角、亢、氐、房、心、尾、箕；北方七宿：斗、牛、女、虚、危、室、壁；西方七宿：奎、娄、胃、昂、毕、觜、参；南方七宿：井、鬼、柳、星、张、翼、轸。现在天文上使用的星座体系始于几千年前迦勒底和埃及天文学家，后来为希腊和罗马天文学家进一步发展。他们选出显著的星群，以神话中的人物或动物等为星座命名。公元 2 世纪，北天星座名称已大体确定；公元 17 世纪，环球航行成功，南天 48 个星座名称才逐渐确定。1928 年，国际天文学联合会公布了 88 个星座方案，并规定以 1875 年的春分点和赤道为基准的赤经线和赤纬线，作为星座界线。全天分为 88 个星座，大小不一。

星 座 表

中文名	面积	星数
仙女	722	100
唧筒	239	20
天燕	208	20
宝瓶	980	90
天鹰	652	70
天坛	237	30
白羊	441	50
御夫	657	90
牧夫	907	90
雕具	125	10
鹿豹	757	50
巨蟹	506	60
猎犬	465	30
大犬	380	80
小犬	183	20
摩羯	414	50
船底	494	110
仙后	598	90
半人马	1060	150
仙王	588	60
鲸鱼	1230	100
蝎蜓	132	20
圆规	93	20
天鸽	270	40
后发	386	53
南冕	128	25

中文名	面积	星数
北冕	179	20
乌鸦	184	15
巨爵	282	20
南十字	68	30
天鹅	804	150
海豚	189	30
剑鱼	179	20
天龙	1083	80
小马	72	10
波江	1138	100
天炉	398	35
双子	514	70
天鹤	366	30
武仙	1225	140
时钟	249	20
长蛇	1300	130
水蛇	243	20
印第安	294	20
蝎虎	201	35
狮子	947	70
小狮	232	20
天兔	290	40
天秤	538	50
豺狼	334	70
天猫	545	60
天琴	286	45
山案	153	15

中文名	面积	星数
显微镜	210	20
麒麟	482	85
苍蝇	138	30
矩尺	165	20
南极	291	35
蛇夫	948	100
猎户	594	120
孔雀	378	45
飞马	1121	100
英仙	615	90
凤凰	469	40
绘架	247	30
双鱼	889	75
南鱼	245	25
船尾	673	140
罗盘	221	25
网罟	114	15
天箭	80	20
人马	867	115
天蝎	497	100
玉夫	475	30
盾牌	109	20
巨蛇	637	60
六分仪	314	25
金牛	797	125
望远镜	252	30

中文名	面积	星数
三角	132	15
南三角	110	20
杜鹃	295	25
大熊	1280	125
小熊	256	20
船帆	500	110
室女	1290	95
飞鱼	141	20
狐狸	268	45

注：面积指星座在天球上所占面积，以平方度为单位；星数指星座内目视星等亮于 6 的，肉眼能见的恒星数目。

【恒星】由炽热气体组成的、能自己发光的球状或类球状天体。太阳是离地球最近的一颗恒星。晴朗无月的夜晚，一般人用肉眼可看到大约 3000 多颗恒星；在望远镜中，我们已经看到的恒星在几百万颗以上。太阳所在的银河系中，估计约有恒星一、二千亿颗。在直观上恒星在星空中的位置似乎总是不变的，所以古代人把它们称作恒星。实际上这只是因为它们离我们太远，除太阳外，最近的恒星——半人马座比邻星，它发出的光到达地球需要 4.22 年，不借助特殊工具、特殊方法，是很难发现它们在天球上位置的变化。

恒星的物理特性可用距离、亮度、光度、质量、直径、温度、压力和磁场等基本参量来描述。恒星距离测定的基本方法是三角视差法，即先测得地球轨道半长径在恒星处的张角（周年视差），

再经简单的数学运算，便可求出。但大多数恒星这个张角太小，常使用一些间接方法，如分光视差法、星团视差法等。恒星亮度常用星等表示。恒星越亮星等越小。恒星光度表示其能量的输出，它可以用尔格/秒或太阳光度单位或绝对星等来表示。恒星质量只有在特殊的双星系统中才能测出来，一般只能根据质光关系等方法进行估算。已测出的恒星质量小到太阳质量的百分之几，大到太阳质量的 120 多倍，但多数恒星质量居于 0.1—10 个太阳质量之间。恒星的真直径可根据恒星的视直径（角直径）和距离计算出来。用各种方法算出的恒星直径在几公里到 10^9 公里量级以上的都有，但真直径可靠的不多，因为恒星的距离太远，角直径太小，很小的误差就会使结果相差很多。恒星的表面温度一般用有效温度表示，它等于有相同直径、相同总辐射的绝对黑体的温度。恒星表面有效温度由光谱型早 O 型的几万度到晚 M 型的几千度，差别很大。恒星表面的大气压和电子压可通过光谱分析来确定。电子压与气体压有着固定的关系，都取决于恒星表面的重力加速度，因而同恒星的光度也有密切关系。恒星的磁场可根据恒星光谱中谱线的塞曼分裂或一定波段内连续谱的圆偏振情况来测定。太阳表面的普遍磁场很弱，仅约 1—2 高斯，而有些恒星的磁场可强达数万高斯。

恒星的成分，一般按重量而言约为 70% 的氢、20% 的氦、1.5% 的碳、氮、氧和氖，以及 0.5% 的铁族元素及更重的元素。理论分析表明，在演化过程中，恒星内部的化学组成会随热核反应过程的改变而逐渐改变，重元素的含量会越来越多，但恒星大气中的化学组成却一般变化较小。

恒星的命名从根本上说，是由其赤经、赤纬来确定。但亮星可根据它所在星座，一般用希腊字母来命名， α 代表星座中目视最

亮的恒星，如猎户座 α （参宿四）是猎户座中目视最亮的恒星。

【恒星的亮度】恒星在观测点和视线垂直的平面上造成的照度。在天文学中，天体的亮度常用星等表示。星等的数值越小，相应的恒星越明亮。正常情况下，人眼所能看到的最暗的星是 6 等星。人眼反映的只是天体的视亮度，一颗很亮的星可以由于距离远而显得很暗，实际上很暗的星也可能因离我们较近而显得很亮。使用不同波段敏感的检测元件，所得到的同一恒星的星等一般是不相等的。

【星等】表示天体相对亮度的一种等级。2000 多年前的希腊天文学家伊巴谷把全肉眼可见的星，按感觉的亮度分成 6 等，1 等最亮，6 等最弱。1856 年英国天文学家普森正式提出星等尺度的定义，即 $m_1 - m_2 = -2.5 \log I_2 / I_1$ ，其中 m_1 、 m_2 为两颗星的星等， I_1 、 I_2 为它们的亮度。由此式得出，星等相差 1 等，亮度就相差 2.512 倍。星等值可以为负数和小数。现代最大型望远镜目视可看到 18 等的星，用照相方法可以看到 23 等的星。因此，对应不同探测器有各种星等系统，如目视星等 m_{pv} 是人眼测定的星等；照相星等 m_p 是用蓝敏照相底片测定的星等；仿视星等 m_{pv} 、国际仿视星等 I_{pv} 是用正色底片加黄色滤光片测定的星等；光电星等是用光电倍增管测定的星等；热星等是表征天体在整个电磁波段内辐射总量的星等，等等。为了比较天体的发光强度，消除因距离远近造成的视星等的变化，把天体假想置于距离 10 秒差距处所得到的视星等，定义为绝对星等 M 。若天体视差为 π ，则 $M = m + 5 + 5 \lg \pi$ 。

【恒星质量】恒星最主要的物理特性基本参量之一，也是恒星结构

和恒星演化的决定性因素。利用物理双星的轨道运动推算恒星质量，是最基本的计算方法，用这种方法求得的质量称为动力学质量。除太阳外，只有少数双星的质量能从轨道运动求出。此外，还可以利用引力红移量、恒星真半径和表面重力加速度、质光关系等推算恒星质量，但这些方法都不如动力学质量方法可靠。恒星光度大致与其质量的三次方成正比。恒星在光度和大小方面有很大的差别，但质量方面的差别则小得多。恒星质量的范围大约是在百分之几个太阳质量（如某些红矮星）到 120 个太阳质量之间，有的可能更大，但大多数恒星的质量在 0.1—10 个太阳质量之间。目前已知质量最大的恒星是距地球 1 万光年的 HD93250，为 120 倍的太阳质量；最小的是鲸鱼座 UV 星，两子星质量分别只有 0.08 和 0.04 个太阳质量。恒星质量随时间而变化。除了热核反应把质量不断转变为辐射能以外，许多恒星还因大气膨胀或抛射物质而不断损失质量。如新星、再发新星发亮时抛出质量，超新星爆发后，质量可能大大减少。密近双星有时一颗子星的质量会逐渐转移到另一颗子星上去。

【恒星光度】 恒星的真实亮度，是恒星表面每秒钟辐射的总能量。它表示恒星真正的发光能力。恒星光度大小常用绝对星等来表示，有时以太阳光度为单位表示。恒星光度 $L = 2.512^{4.7-M}$ ，其中 4.7 为太阳的绝对星等， M 为恒星绝对星等。恒星光度变化的范围非常大，已观测到光度比太阳大 50 万倍的恒星（超巨星），如天蝎座 ϵ ($M = -9.4$ 等)，剑鱼座 S ($M = -8.9$ 等)；也有只有太阳光度 5 万分之一的恒星（矮星），如沃尔夫 359 ($M = +16.68$ 等)。

【质光关系】 恒星质量和恒星光度之间存在的一个重要函数关系。

1919 年，丹麦天文学家赫茨普龙通过观测资料证实了这个重要关系。1924 年英国天文学家爱丁顿从理论上得到了此关系的表达式： $L=k \cdot M^{3.5}$ ，其中 L 、 M 分别为恒星的光度和质量， k 为比例常数。后来发现，对于不同的恒星序列，函数关系式略有不同。质光关系提供了一个估计恒星质量的重要方法，恒星质量越大，光度也越大。光度与质量的 3.5 次方成正比。同时，质光关系也为研究恒星内部结构和建立各种理论模型提出了一个判据。除物理性质特殊的巨星、白矮星和某些致密天体外，占恒星总数 90% 的主序星都符合质光关系。

【恒星直径】恒星物理特性的基本参量之一。公认恒星直径为恒星圆面像的直径。由于恒星有延伸的大气，即使用目前最大的天文望远镜观测也很难分清边界，故很难确定其真正直径。人们以恒星圆面边缘上出射光强度的回折处为恒星圆面边界。恒星直径以角秒表示。测定方法主要有：（1）月掩星法。分析月掩星时被掩星亮度的变化求出被掩星的角直径，再由距离推出其真直径。（2）干涉法。利用两光束互相干涉的原理，得恒星角直径。（3）间接法。根据斯忒藩定律，由恒星的光度和有效温度求得。恒星的直径相差甚大。白矮星的半径约为太阳的百分之一量级，即地球半径的量级。中子星的半径理论值通常取为约 10 公里。红超巨星参宿四的半径约为太阳的 900 倍左右，仙王座 VV 双星系统中的伴星，直径约为太阳直径的 1600 倍。

【星风】一种从恒星不断向外运动的物质流。星风现象是恒星在演化中逐渐损失质量的过程，已从恒星光谱中发现了间接证据。如，在所有 M 型巨星和超巨星中，强的吸收线都分成两条谱线：一条

形成于光球之中的宽而浅的吸收线；另一条形成于光球之外的星周物质即包层中的锐而深的吸收线。后者相于前者有一个紫移，相应的速度为 10—100 公里/秒，说明包层正以此速度向外扩张，这一事实可以解释星风。对星风的起源和物理过程尚未完全了解。一般认为，在 O、B 型星中，快速自转和辐射压对星风的形成起重要作用。星风的概念是从太阳风的启示得来的，而事实上，甚至太阳风的起源问题也仍然是太阳物理中最困难的问题之一。恒星因星风损失的质量有大有小。红巨星的质量损失率达每年 10^{-5} 太阳质量，而太阳的质量损失率只有每年 2×10^{-14} 太阳质量，因而不足以影响太阳内部结构和演化进程。

【恒星自转】恒星环绕自身极轴的转动。由恒星形成时的气体所传续下来的。恒星自转会使得光谱吸收线加宽，因此可根据谱线宽度测定其自转速度。实际上这样测量的结果只是恒星自转线速度矢量在视线方向上的投影。测定恒星自转的经典方法是在简化条件下，计算出一套对应于不同自转速度值的理论谱线轮廓，再和观测轮廓相比较。恒星赤道表面的自转速度范围从每秒几公里到 500 公里，当达到每秒 500 公里时，恒星就变得不稳定。恒星自转的特点有：（1）不同类型的恒星有不同的自转速度。早型星的自转速度比晚型星的快。超巨星的自转很小或者没有自转。巨星自转与同光谱型主序星相比，光谱型早的要小、晚的要大。（2）不同年龄的恒星有不同的自转速度。正在形成的年轻星有很大的自转。非常老的星没有自转。（3）密度极高的中子星，自转很快。脉冲星 PSR₁₉₃₇₊₂₁₄，自转周期是 1.56 毫秒，表面速度达 40000 公里

/秒。

【恒星大气】恒星上能被直接观测到的恒星表面层。通过恒星光谱中谱线的研究，可测定恒星大气的化学成分。绝大多数恒星大气的组成和太阳一样，由氢、氦、碳、氮、氧、氖和金属元素组成。恒星正常丰度中，氢占绝对优势，而金属含量甚微。年轻星含氢多，含氦少；年老星含氢少，含氦多。巨星大气比矮星大气广而稀薄。按物理性质不同，可分为四个层次：（1）光球。位于大气底层，是产生恒星全部光学辐射的层次。（2）色球。位于光球之上，主要发出发射线。（3）星冕。位于色球之上，X射线的产生地。（4）恒星包层，又称延伸大气。处于大气的最外层，O型星、B型发射星、沃尔夫—拉叶星等少数星有这层大气，能产生吸收线和发射线。不同星族之间化学成分的差异，对于研究恒星的演化具有十分重要的意义。

【恒星磁场】恒星物理特性的基本参量之一。1946年美国人巴布科克用大望远镜折轴摄谱仪测出，室女座78星的磁场强度约 1500×10^{-4} 特斯拉。这是除太阳外第一次测得的恒星的磁场。测定恒星磁场的基本方法是根据使光谱线分裂的塞曼效应。按理所有恒星均应存在磁场，但大多数恒星视亮度太暗，表面场强又太小，很难精确测定。已测定出100多颗磁场强度高达几千乃至几万高斯的恒星（太阳普遍磁场的强度仅约 $1-2 \times 10^{-4}$ 特斯拉，地球更弱，约 0.5×10^{-4} 特斯拉）。具有强磁场的那些恒星叫作磁星，其中磁

场有变化的叫作磁变星。磁星几乎都是磁变星。对于强磁场的来源，一般解释为是恒星在形成过程中，星际物质中的磁场被冻结并保留了下来。白矮星的表面磁场强度达 $10—10^3$ 特斯拉；中子星磁场更高达 $10^6—10^{10}$ 特斯拉。普通恒星的绝大部分物质都处于高温等离子状态，它们的物态、运动、结构和演化均与磁场有密切关系。在一般恒星内部，估计磁场高达 $10—10^3$ 奥斯特。

【恒星光谱】恒星光谱的形态决定于恒星的物理性质、化学成分和运动状态。光谱中包含着关于恒星各种特性的最丰富的信息。迄今关于恒星本质的知识，几乎都是从光谱研究中得到的。星光经过色散系统（棱镜或光栅）分解后形成的色带就是恒星光谱。绝大多数恒星光谱与太阳光谱相似，都是吸收光谱——连续光谱上有许多暗黑的谱线。这表明恒星是被较冷的恒星大气包围的炽热的气体球。少数恒星光谱中除吸收线外，还有发射线（明线），有些恒星只有发射线。发射线一般是由离星体较远处的稀薄气体即星周气体产生的。研究恒星光谱的谱线不但可以测定恒星的化学组成，而且还可以测定恒星大气的温度、压力和视向速度等物理量。恒星光谱的研究主要有三条途径：（1）证认谱线和确认元素的丰度；（2）测量多普勒效应引起的谱线位移和变宽；（3）测量恒星光谱中能量随波长的变化。

【恒星光谱分类】大多数恒星光谱是连续谱上有吸收线，少数恒星兼有发射线，或只有发射线。恒星连续谱的能量分布、谱线的数

目和强度以及特征谱线所属的化学元素，均有极大的差异。恒星的光谱就是根据这些差异来分类的。随着恒星大气物理研究的深入，人们逐渐认识到，绝大多数恒星光谱的差异，主要不是由化学成分的不同形成的，而是在不同温度和压力下由恒星大气物质的激发和电离状态的变化形成的。恒星的光谱分类可定义为通过对恒星光谱特征的比较，对恒星物理特性进行直接估计。建立一个光谱分类系统，常分为三步：（1）选择判据，即用来区分不同光谱所依据的光谱特征。（2）按这些判据将足够多的光谱排队，获得标准光谱型序列。（3）利用恒星的物理特征为光谱型定标，从而建立光谱型和物理参量（如温度、光度）之间的对应关系。光谱分类系统建立后，若一颗恒星的光谱能排到光谱型序列中去，它的一般物理特性就能立即推断出来，不须对其光谱作详细测量。

常用的恒星光谱分类系统有 3 种：（1）哈佛系统。这是美国哈佛大学天文台于 19 世纪末提出的。此系统是依据光谱线的相对强度和形状制定的分类法。它将恒星按温度下降的次序，依次分为 O、B、A、F、G、K、M7 大光谱类型，又将少数恒星的光谱分为 S 型和 R、N 型，可表示为如下形式：

其中，每型又分为 10 个次型，用阿拉伯数字表示为 O0, …O9; B0, …B9; …。这些序列都是从左到右，温度依次下降的。S、R 和 N

型等分支则可能反映化学组成的差别。还有少数光谱型不能归入上述序列，分别记为：P（行星状星云），W（沃尔夫—拉叶星）。哈佛分类系统是以温度为主要参量的一元分类。为了说明恒星的特点，在光谱型字母的前面和后面附上小写字母。前面的字母表示恒星的种类，如 c 表示超巨星，g 表示巨星，d 表示矮星；后面的字母表示恒星谱线的特征，如 n 表示谱线很模糊，s 表示谱线很锐，c 表示谱线特别窄而深，k 表示有明显的星际钙线。（2）威尔逊山系统。这是 20 世纪 20 年代美国威尔逊山天文台，以温度和光度为参量的二元分类系统。此系统中，光度分类的物理依据是压力效应，除温度对物质的电离状态有重要作用外，压力与物质的电离状态也有密切联系。恒星光度高，大气中气体压力较低，相对于光度低、气体压力高、温度相同的恒星来说，物质更易电离，这会在光谱中表现出来。（3）摩根—基南系统（MK 系统）。这是 20 世纪 40 年代美国天文学家摩根和基南等人提出，并多次改进的二元分类系统。也是以温度和光度为参量。温度型沿用哈佛系统符号；光度级比威尔逊山系统精确，共分 7 级。

在系统分类中，发现有些星具有各种特殊性，必须用化学组成异常来解释。于是出现了以光谱型、光度级和化学元素丰度为参量的“三元分类”，但至今还未形成完整系统。

【光谱型】恒星的光谱因它们的物理性质、化学组成、运动特性不同而各不相同。通常用的恒星光谱分类法主要是根据光谱中谱线的相对强度变化进行排列。对绝大多数恒星来说，这种分类法直接反映了恒星的表面温度。在哈佛分类系统中，按温度下降的次

序，恒星的光谱依次为：O、B、A、F、G、K、M7 大类型；另外还有极少数恒星分属于 S、R、N 等光谱型。最热的 O 型星温度约 40000K，最冷的 M 型星约为 3000K。一般把 O、B、A 型叫作早型，F、G 型叫作中型，K、M 型叫作晚型。各型星的颜色、温度及光谱特征如下表：

光谱型	颜色	温度 (K)	光谱特征
W	略绿白	50000 以上	电离氢发射谱线显著
O	蓝白	50000	紫外连续谱强，有电离氢、中性氢和氢线
B	蓝白	28600	氢线强，中性氢线明显，无电离氢线
A	白	10700	氢线相强，氢线消失，出现电离镁和电离钙线
F	黄白	7500	氢线强，电离钙线大大增强变宽，出现许多金属线
G	黄	6000	氢线变弱，金属线增强，电离钙线很强、很宽
K	橙	4900	氢线弱，金属线更强
M	红	3400	氧化钛分子带最突出，氢线很弱，金属线仍强
R、N (C)	橙红	R 为 2300，N 为 2600	增加了很强的碳和氟的分子带
S	红	2600	氧化钛分子带增强，有氢发射线

【沃尔夫—拉叶星】最炽热的一类特殊恒星其温度与 O、B 型星相近，是由法国学者沃尔夫和拉叶于 1867 年最先发现而命名的，也称为 WR 星或 W 星。其表面温度约 $60000^{\circ}\text{—}80000^{\circ}\text{C}$ ，绝对星等在 -4 等左右，质量约为 10 个太阳质量。此类星主要特性是谱线中具有很强的连续谱及强而宽的中性氢、电离氢和各次电离碳、氮、氧的发射线。从发射线轮廓、宽度可知，有每秒 1000—2000 公里速度向外抛射的物质从星体流出，并在恒星周围形成动态的延伸包层。WR 型星的光谱大多数可归入两类：以电离氮线为主的氮序（记为 WN）；以电离碳和氧谱线为主的碳序（记为 WC）。此类恒星质量损失很大，每年丧失质量约为 10^{-5} 个太阳质量。其寿命较短，在 $10^5\text{—}10^6$ 年数量级上，是年轻的不稳定星。天鹅座 V₄₄₄ 是著名的 WR 星。已发现的 WR 星约 200 多颗。

【天鹅座 P 型星】一种光谱中具有特殊发射线、光谱型大部分为 B 型、气壳向外膨胀的恒星。此类星特征是：在光谱线中有宽度不大的发射线，在紫端有强而多的吸收线。年龄约为几十万年。以每秒 100 公里的速度不断向外抛射物质，并在星体周围形成延伸的气壳。其每年损失质量约 3×10^{-5} 个太阳质量，是年轻不稳定的天体。因典型星为天鹅座 P 星而得名。天鹅座 P 星的目视星等为 4.9 等，绝对星等 -8.9 ± 1.4 等，于 1600 年发现。其质量为 40 ± 20 个太阳质量，半径为 60 ± 30 个太阳半径。其谱线紫端有吸收线，在正常位置上有发射线。据各种元素的吸收线计算得到，其气壳的膨胀速度约为每秒 30—250 公里。

【B 型发射星】光谱中除有普通吸收线外，还有发射线的 B 型主序星。1922 年正式命名，简写为 Be 星。其光谱属于早 B 型，光谱中有发射线氢线，有时也有氦线和一次电离的铁、镁发射线。大多数 Be 星其发射线强度和形状有缓慢而不规则的变化，其光度有十分之几个星等的变化，其空间分布与 B 型星相似，都属于银河系的扁平子系。Be 星的经典模型是：一个快速自转的中心星，外面包着一个跟着自转的延伸气盘。近年来不少人认为 Be 星是有质量交流的双星。快速自转是 Be 星的一个重要物理特征，其自转在赤道上可达每秒 300 公里以上。Be 星是比较年轻的不稳定的天体，已发现 1000 多个，典型星是水委一（即波江座 α ，光电目视星等为 0.46 等）及仙后座 γ 。

【气壳星】具有气壳光谱的热主序星。其光谱型主要为 B 型，也有 A 型和 F 型。气壳的光谱主要特征是有锐而深的氢，中性氦及一次电离的硅、铁、钛等吸收线。同时也具有强的发射线。它是自

转极快的一类恒星，且使星体不稳定而抛出大气，在星体周围形成气壳。这些星多少有些不规则的变光。著名的气壳星有天秤座 48、金牛座 5 和金牛座 28 等。

【A 型特殊星】A 型星中光谱比较特殊的一类星。其光谱特征是：电离硅、锰、铬、锶、钕以及其他一种或几种稀土族元素产生的电离谱线特别强，而电离钙的 K 线和中性氧线一般较弱。A 型特殊星，简记为 A_p ，都具有很强的磁场，强度可达几万高斯。一般 A 型特殊星的光谱和光度有周期性变化，同时磁场也有周期性变化，周期 1—25 天，光变幅常小于 0.1 星等。除了光谱和磁场外，A 型特殊星与正常 A 型主序星没有显著不同。A 型特殊星理论中最有名的是“斜转子模型”，在这个模型中，A 型特殊星的磁轴和自转轴成一较大的角度，且星面上不同区域的元素丰度也很不一样。由此，就可在恒星自转时观测到磁场和谱线强度的变化。A 型特殊星的典型星是猎犬座 α^2 星。

【金属线星】一类光谱线中金属线很强的恒星。其金属谱线近于 F 型星，但其氢线却近似于 A 型星，而且在短波段光谱区求得的光度级比由长波段求得的高。金属线星的金属谱线，尤其是铁和稀土元素的谱线异常强而多。金属线星，记为 A_m ，一般是短周期的分光双星，周期小于 300 天；其物理特性（有效温度、质量、光度、半径）基本上与主序星没有什么区别，只是在赫罗图上离主序星略远一点；其光谱型属 F、G 或 K 型。典型的金属线星有五车三（御夫座 β ）的甲、乙两子星和垒壁阵四（摩羯座 g ）等。

【共生星】具有共生光谱的恒星。光谱中既有低温恒星的吸收线，

又有高激发发射线,属于低温特征的谱线有 TiO 分子带以及 Ca I 和 Ca II 等谱线,属高温特征的有 He II、O III 和更高次电离原子的发射线和禁线,光度增大时还出现 B 型气壳光谱。一般认为它们是由一颗红巨星和一颗 B 型或 O 型的亚矮星组成的双星,两颗子星有一个共同的气壳包围着。已发现约 50 颗,如仙女座 I、飞马座 AG 等。共生星这一名称最早是梅里尔在 1941 年命名的。

【SS 433】在《H α 发射线天体表》中编号为第 433 号天体的名称,因此表编制者为斯特芬森与桑杜列克二人,名字中头一个字母均为 S,故得此名。它之所以引人注目是因其光谱中有三重结构,即在正常波长外还有红移和蓝移的光谱。是一颗在光学、射电、红外和 X 射线几个波段都有变化的变星,周期约 164 天,位置在河鼓二(民间称牛郎星)附近,目视星等 13.5 等。光谱的奇异特性可解释为一颗子星发生超新星爆发的双星,子星绕转的轨道周期 13 天。星的外层有纤维状星云,星的光谱线中所有氢的巴尔末发射线和中性氮发射线均有三重结构,并有周期性变化。

【赫罗图】以恒星光谱为横坐标,光度为纵坐标,展示恒星特性的图。其间存在着的关系是由丹麦天文学家赫茨普龙和美国天文学家罗素于 1905—1913 年各自发现的,所以用赫罗图命名。90% 以上的恒星分布在图中从左上方到右下方对角线附近一个狭窄的带内,称作主序星,右上方分布的属于巨星,左下方分布的属于白矮星。赫罗图对研究恒星的演化十分重要,是恒星物理学和恒星天文学有力的工具。沿着纵方向看,具有同样表面温度的星,发光能力却有巨大的差别;沿着横方向看,具有同样发光能力的星,其表面温度却不相同。恒星在图上的有序性、相对集中性,有着

深刻的物理背景。天文学家有时用它估计天体的距离，有时用它估计天体的光度，有时又用它估计天体的年龄，但使用更多是显示不同恒星的演化过程。恒星的颜色—星等图可以看作是赫罗图的一种。

【主序星】又称矮星，因在赫罗图中位于主星序上而得名。是处于演化中期阶段的恒星，处于壮年期。此阶段的星体比较稳定，内部产生的能量与向外辐射能量相当，且占恒星寿命的大部分时间。银河系中，90%以上的恒星正处于此阶段。恒星的光度和表面温度同质量成正比。质量越小，光度越暗，表面温度越低。20 倍太阳质量的恒星在此阶段成为光度大、温度高的蓝巨星和蓝白巨星；几倍太阳质量的恒星为光度略大、温度略高的白星和黄白星；与太阳质量相当的恒星为黄矮星；小于太阳质量的恒星光度也小于太阳光度为红矮星。在此阶段停留时间的长短与恒星质量和光度成反比。蓝巨星、蓝白巨星要停留几百到几千万年；白星、黄白星要停留 10 亿年；太阳类黄矮星要停留上百亿年；红矮星可停留 1 万亿年。主序星光谱范围很广，从 O 型到 M 型；质量从百分之几太阳质量到 60 倍太阳质量；光度从约 10^{-3} 到大于 10^5 倍的太阳光度。主序星的能量来源于核内氢聚变为氦的热核反应。太阳为 G2 型主序星。

相同光谱型的矮星比巨星、超巨星光度低。矮星的光谱型为 O、B、A 的称为蓝矮星（如织女一、天狼）；为 F、G 的称为黄矮星（如太阳）；为 K 及更晚的矮星称为红矮星（如南门二乙星）。其表面温度为 2000—35000K，质量越小，光度越低。O 型温度最高，M 型温度最低。白矮星、亚矮星、“黑矮星”不属于矮星之列，为另有所指。

【矮星】即“主序星”。

【巨星】光度比一般恒星大而比超巨星小的恒星。在赫罗图中位于主序上方、超巨星序下方。其光谱型从 O 到 M 型都有，绝对星等约为零等。最初定义为比同谱型主序星强，比超巨星弱的恒星，后来引伸为在一定表面温度范围内，依据半径来定义。早型巨星与同谱型矮星的光度、半径相差不多；晚型巨星比同谱型矮星的半径大得多。巨星是主序星后的演化阶段，当主序星内部氢逐步变为氦，且氦核的质量达到恒星质量的 10—15% 时，内部热核反应将变为不循环的“氦燃烧”。此时，星体急剧膨胀，表面温度下降，在赫罗图上离开主序向右运动，变为红巨星。著名的巨星有大角（牧夫 α ）、昴宿六（金牛 η ）、五车二（御夫 α ）等。许多双星的子星和变星都是巨星。

【超巨星】恒星中光亮最强的恒星。在赫罗图中位于巨星序的上方，其绝对星等在 -2 等以上。其光谱范围从 G—M 型，温度范围 30000—3000K，光度为太阳的 10^4 — 10^6 倍，上限为 10^9 倍。温度高的称为蓝超巨星，温度低的称为红超巨星。红超巨星是已知最大的恒星，半径达几千个太阳半径，如仙王座 VV 中的红超巨星半径约为 1600 倍太阳半径。蓝超巨星半径约为几十个太阳半径。超巨星的光度很大，蓝超巨星天鹅座 α 的可见光波段光度为太阳的 85000 倍左右。超巨星的质量大，演化迅速，是年轻的恒星，寿命较短。超巨星常有较强的电磁辐射，比较明显地集中分布于银道面附近及旋臂中。典型的蓝超巨星如参宿七（猎户座 β ）、天津四（天鹅座 α ）；典型的红超巨星如参宿四（猎户座 α ）、心宿二

(天蝎 α)。

【红巨星】红色或橙色的巨星。光谱型为 K 型、M 型，直径比太阳大几十倍，温度约 4000℃。现代恒星演化理论认为，主星序中的很大一段恒星在其中心氢聚变为氦的核反应完毕后，都要向赫罗图上的红巨星区演化。红巨星处于恒星的中年期。此阶段中，恒星中心区的氢已燃烧完，中心区重力大于向外的辐射压，使核开始收缩，并逐渐变热、变稠密。同时，外层得到核心收缩释放的能量，剧烈膨胀，变成了体积很大、密度很稀、表面温度很低、光度强的红巨星。它的演化总伴随物质抛射，在周围形成尘埃云壳。红巨星又据其质量大小，分别会演化为白矮星、中子星或黑洞。太阳将来演变成红巨星时，直径将增大为现在的 250 倍，比目前亮 100 倍，最后演变成白矮星并走向死亡。典型的红巨星如大角（牧夫座 α ）和华宿五（金牛座 α ）。

【亚巨星】光度比矮星大、比巨星小的恒星。在赫罗图上位于主星序的右上方，介于主星序与巨星序之间。与同光谱型的主序星相比，亚巨星的绝对星等要亮约 2 等。亚巨星光谱型多数为 G 型和 K 型，绝对星等平均为 +2.5 等。现代恒星演化理论认为，亚巨星是由主序星演化而来的，是离开主星序向巨星演化的最初阶段。主序星在中心氢核燃烧的末期，中心核收缩，恒星半径、光度逐渐增加，向巨星演化。有些密近双星的子星是亚巨星，如著名的半相接双星大陵五，就由一个主序星和一个亚巨星组成。

【亚矮星】光度比主序星稍暗的一类恒星。在赫罗图上位于主星序和白矮星之间，构成与主星序大致平行的亚矮星序。亚矮星的绝

对星等比同谱型矮星暗约 2 星等，其半径也小一些。其颜色大多呈红色或黄色。亚矮星的化学成分与主序星颇为不同，一般来说其金属含量很低，只相当于普通恒星的 1% 左右，因此也被称为贫金属星。目前认为，处于主序星和白矮星之间的 O、B 型亚矮星，属于恒星演化晚期的最初阶段，正在向白矮星演化。

【白矮星】一类光度低、温度高、密度高的恒星。因其颜色呈白色，体积比主序星矮小而得名。白矮星在赫罗图中分布于主序星左下方相当广阔的区域。白矮星属恒星演化的老年期。此阶段恒星的核能接近枯竭，内部温度相当高，同时高温使恒星外部发生大爆发，并抛射大量物质，最后剩下密实的核。此核若质量小于 1.44 倍太阳质量，则此恒星便由主序星演化成白矮星。其特点为：体积小，半径接近行星半径，平均小于 1 万公里；光度非常小，比正常恒星平均暗近 1000 倍；质量小，约为同光度主序星质量的 1.5 倍；密度高，每立方厘米物质重达上百公斤到几十吨；表面温度高，平均约为 1 万度。而且，许多白矮星还有强磁场。目前已观测到 1000 颗以上的白矮星，据统计估算，白矮星总数约占全天恒星总数的 3%，而理论推算应占 10% 左右。天狼伴星是第一颗被发现的白矮星，也是观测到的最亮的白矮星（8 等星）。

【双星】在空间中视位置相距很近的两颗恒星。通常说的双星，不包括那些因投影造成、实际相距甚远的光学双星，而是由于彼此在相互引力作用下，绕公共重心旋转的物理双星。组成双星的两颗星都称为双星的子星，有时把其中质量和光度较大的子星称为主星，把另一颗称为伴星。利用望远镜能直接分辨的双星称为目视双星；由谱线位移判知的双星称为分光双星；由于子星在绕转

过程中互相遮挡，致使其总亮度发生规律变化的双星称为交食双星，也称食变星。此外，据观测方法的不同，双星还可分为掩食双星、椭球双星、干涉双星、光谱双星、天体测量双星、密近双星等多种。双星是恒星世界的普遍现象，也是规模最小的恒星集团。在太阳周围 17 光年范围内共有恒星 60 颗（包括太阳），而其中双星就有 22 颗（11 对）。据估计，银河系几千亿颗恒星中，双星和聚星（两颗以上恒星组成，如三合星、四合星等）占恒星总数的一半以上。双星的系统研究始于威廉·赫歇耳（1782）。研究双星不仅可提供测定恒星质量最可靠、最重要的方法，而且许多特殊类型的天体，如早型发射星、各种爆发星、白矮星、脉冲星、黑洞等，都包含在双星系统中。此外双星研究还有助于引力辐射、物质互相作用、高能天体物理、恒星演化等课题的研究。天狼、南门二、五车二、南河三、角宿一、心宿二等著名亮星都是双星。

【食双星】交食双星的简称，又称食变星。当双星在相互引力作用下围绕公共质量中心运动，且轨道面与人的视线方向相平行时，就能看到一子星被另一子星所遮掩，使总亮度变暗的现象，这种现象呈规律性变化，这种星就称为食双星。分析食双星的光变曲线，可以比较可靠地求得大星及小星的半径、轨道面倾角、大星及小星的光度等测光轨道解。若此双星能有分光轨道解，则可进而求出组成双星的各子星的质量和半径（以太阳的质量、半径为单位）。因此，某些食双星能为我们提供比较可靠的恒星基本参量，成为研究恒星的重要基础之一。通过研究食双星，我们已得到 100 对密近双星的质量、半径等物理参量；得知许多红超巨星的色球结构及活动资料；推出一些有关恒星的密度分布特点；了解到有关新星、X 射线星、脉动变星和耀星的一系列物理特性……。最早

发现的食双星是大陵五（英仙座 β ）。

【大陵型变星】食双星的一种类型，其食外变化较小。大陵型变星的典型星是大陵五食双星，故名。大陵五食双星又名阿哥尔（Algol），古代因其亮度变化原因不明，又称魔星；中国古称积尸，指英仙座 β 星，这是最早发现的著名变星。它的变光是由于一子星被另一子星遮掩所致。不交食时亮度不变，交食时亮度急剧下降，变化有规律。大陵五最亮时光电目视星等为 2.13 等；甲星被乙星遮掩，光度最暗，为 3.40 等（称为主极小食甚）；乙星被甲星遮掩，光度变化不明显，为 2.19 等（称为次极小食甚）。这是大陵型变星的主要特点。大陵五变光周期为 2.8673075 天，由平时亮度降到最暗约为 4.9 小时，由最暗回到平时亮度也需 4.9 小时。大陵五的主星为 B₈ 型，蓝色，3.7 个太阳质量，2.5 个太阳半径；伴星为 G0 型，黄色，0.81 个太阳质量，3 个太阳半径。两星相距 0.2 天文单位，距离 88 光年。

【渐台二型变星】食双星的一种类型。其食外有显著变光，但主极小食甚比次极小食甚暗得多。渐台二（天琴座 β ）是其典型星，故名。渐台型变星光变周期不长（1 天多），光变幅常不超过 2 等，多数是早型星。属于半相接系统或密接系统。其两子星的大小和亮度相差不多，光谱型为 0—B9，且相距较近，互相影响，亮度呈连续变化，光变曲线周期每秒增长 19 秒。

【大熊座 W 型变星】食双星的一种类型，其食外显著变光，主极小食甚比次极小食甚稍暗。其典型星为大熊座 W 星，故名。大熊座 W 型变星的两子星异常接近，甚至几乎“接触”；其公转周期小于

1 天，变光范围在 0.8 等以下；其光谱在 F5 和 M 型之间。

【分光双星】由子星的视向速度的变化而判知的双星。当两子星靠得很近，用大望远镜也难以分辨时，常用分光的方法，测定谱线的多普勒位移，来得到两子星的真正速度。星对越紧密，其公转轨道周期就越短，绕转速度也就越快，多普勒位移就越大，于是也就更容易利用分光方法发现。双星相距较远时，其视向速度变化范围在每秒几公里；当双星相距非常近，成为密接双星时，其视向速度变化范围可达每秒数百公里。两子星的谱线都已测得的称为双谱（或双线）分光双星，以 SB_2 表示；只测得一个子星谱线的称为单谱（或单线）分光双星，以 SB_1 表示。一般把分光双星都看作为密近双星，其子星有的是巨星，还有的是 X 射线脉冲星。分光双星，特别是双谱双星，对于推求恒星质量、半径等基本参量极为重要；单谱双星也能为有关恒星的基本参量提供约束条件。利用双星的方法测定恒星质量，是目前最可靠最直接的方法。现知轨道周期最长的双星是蛇夫座 70，周期约 88 年；最短的是天箭座 WZ，周期不到 82 分钟。著名的分光双星有五车二（轨道周期 104.023 天）、角宿一（轨道周期 4.0145 天）、大陵五（轨道周期 2.8673 天）等。

【密接双星】密近双星的一种。根据科帕尔 20 世纪 50 年代的分类方法，密近双星被分为不相接双星（两子星都未充满其临界等位面）、半相接双星（只一子星充满其临界等位面）、相接双星（两子星都充满其临界等位面）三种。相接双星即密接双星。大熊座 W 型双星绝大多数是密接双星。

【密近双星】凡一子星影响另一子星演化的物理双星都可称为密近双星。人们通常把分光双星和测光双星称为密近双星。密近双星两子星互相绕转很快，周期长的只有几天，多数约为半天。因相互吸引强，成为椭球状。若双星轨道面的法线与视线角度较大，就成为分光双星或食双星。密近双星是恒星世界中普遍存在的一种天体，可为我们提供可靠的物理参量和恒星演化途径，还可提供研究有关恒星的内部结构状况、星周物质特征、质量交流、星风、吸积过程等的条件。密近双星按引力等位面的分类法可分为三类：不相接双星、半相接双星和相接双星。密近双星的两个子星常有物质交换，将加快演化速度。肉眼可见的五车二、角宿一、大陵五、渐台二都是密近双星。

【临界等位面】也称临界等热面。描述密近双星引力场的一个物理概念。一个球形天体，它对天体外面一个质点吸引时，可把天体当成质量等于天体的质点，引力热等于质点的引力热，等热面是同心的球面。对密近双星，若组成子星的物质向其中心高度密集，可将子星当质点来处理，双星引力场为恒定的曲面即等位面。在无穷多个等位面中有一特例，曲面包围两子星的部分有一个接点叫内拉格朗日点，这个等位面称做临界等位面。它所包围的两个区域用其提出人法国数学家洛希命名为洛希瓣，两个洛希瓣的大小取决于两系星重量之比。

【质量交流】在密近双星系统中，一个子星的物质在引力作用下流向另一个子星的现象。子星演化到一定阶段星体发生膨胀，子星外壳可能充满洛希瓣达到极限，外壳气体不能超越临界等位面，但可以通过内拉格朗日点流向另一个子星。质量交流是密近双星系

统普遍存在的现象，我们不能直接观测到这种现象，例如双星轨道周期的改变可能由两子星质量的变化而引起；子星质量的变化还会造成视向速度曲线和光变曲线出现畸变。密近双星质量交流的方式，已提出多种模型，并用于对观测事实的解释。

【质量损失】恒星演化过程中的质量减少现象。有一些恒星，以强烈的辐射或以星风的形式不断将物质抛射向空间，如参宿四年质量损失率是 1.5×10^{-7} 太阳质量，仙王座 M 星更达到 4.9×10^{-7} 太阳质量；另一些星气壳不断膨胀，质量也不断损失，如行星状星云膨胀速度每秒 20km，B 型发射性星、沃尔夫—拉叶星、天鹅座 P 型星也有不断膨胀的气壳；还有一类恒星在短时间内突然爆发，如超新星抛射物质总的量可达一个太阳的质量，新星爆发一次的质量损失也可达 10^{-5} — 10^{-3} 个太阳质量。此外非常接近的密近双星，不但子星间有物质交流，同时子星还可能通过星风或爆发，将物质抛向星际空间。

【星周物质】在恒星周围并与恒星相互有物理联系和演化联系的物质。中心星的延伸大气、气壳或由中心星的星风、抛射物质在恒星周围形成的气体和尘埃物质。恒星从星云中诞生时，中心形成恒星，其周围残留的原始星际云，可从一些年轻恒星的周围观测到，如金牛座 T 型变星、猎户座 T 型变星就是如此；恒星在演化过程中抛射的物质，尤其是激变变星的爆发，抛射出大量物质，都在中心星周围形成星周物质。双星两子星间的物质交流及抛射物，也可看作星周物质。

【气盘】星周物质存在的一种形式。呈盘状结构。气盘大多趋近于

恒星赤道面，在双星系统中则趋近于子星轨道面。恒星形成过程中，类似于太阳系但并未成为行星系的物质盘；在恒星晚期演化阶段，由恒星赤道区抛射在赤道面附近形成的气盘；由于主星的轨道运动和自转，经内拉格朗日点流向伴星的气体因其较大的角动量，而在伴星周围形成气盘。

【气环】围绕恒星旋转的稀薄气体环。气环同气盘并无严格的区别，只是气盘在光学上是不透明的，物质密度和厚度都较大，而气环在可见光波段上比较透明。1942年，乔伊根据金牛座 RW 光谱中发射线在食的过程中的变化，首次发现了双星有气环存在。据认为气环是由半相接双星中的物质交流，或双星中的气流内的粒子碰撞，或某些早型星的赤道物质抛射形成的。气环是不稳定的，常常引起双星轨道运动和子星自转运动的波动现象。在大陵五型半相接双星、包含致密星的 X 射线双星和 B 型发射星中，都已发现有气环存在。

【热斑】双星的子星间气流活动引起的，在子星表面上的、或绕子星旋转的气盘上的局部高温发光区。双星中热斑的形成据认为是伴星的气流撞击恒星大气层或气盘的结果。具有热斑的恒星，光变曲线会周期性地出现驼峰，而且叠加有不规则的短周期约几十秒钟的起伏，驼峰出现的周期与双星轨道周期相同。热斑不但在双星中的子星上出现，而且还会在星系中观测到，它们光谱中的蓝区和紫外区很强。

【巴纳德星】美国天文学家巴纳德于 1916 年发现的。著名的恒星，位于蛇夫座 β 星附近，历元 1950.0 年的位置：赤经 $17^{\text{h}}15^{\text{m}}$ ，赤纬

+4°33′。这是目前已知的自行最大的恒星，每年自行 10″.31，切向速度为 90 公里/秒，视向速度—108 公里/秒，空间速度 140 公里/秒。巴纳德星呈红色，光谱型为 M，目视星等 10 等，绝对星等 13.3 等，表面有效温度 2500℃，光度为太阳光度的万分之四，距离 5.9 光年。这是除太阳和南门二（三合星）丙星（即半人马座比邻星）外，离我们最近的恒星。巴纳德星半径为太阳半径的 1/5，质量约为 0.2 个太阳质量。它同我们的距离正在缩短，预计公元 11800 年时，将缩短到 3.75 光年。据美国天文学家范德坎普分析认为，它有两颗类行星伴星，质量分别为木星质量的 0.8 和 0.4 倍，轨道周期分别为 11.7 年和 20 年，距巴纳德星分别为 2.7 和 3.8 天文单位。三者可能组成一个类日行星系统。

【聚星】介于双星与星团之间的恒星系统，一般由 3 颗至十多颗恒星组成。普通聚星的成员星由双星组成，例如大熊座 ς （开阳星）目视双星，辅星相距它 19000 天文单位，但开阳本身是四合星，由相距 400 天文单位的两颗分光双星组成，而辅星也不是单星，而是一颗分光双星，所以至少是一个六颗星组成的聚星系统。另一类聚星如四边形聚星，其成员星之间的距离差不多，但成员星之间不存在周期性运动，是一个不稳定系统。猎户座四边星聚星是星协的核心。

【变星】亮度和电磁辐射不稳定，经常变化并伴随其他物理变化的恒星。由两个或几个天体组成的恒星系统，其内部运动引起的交食产生亮度的变化，这种几何原因变光的恒星称为几何变星或食变星。由恒星本身内部机构、辐射机制等物理条件的变化或其大气变化引起的亮度及辐射变化，这种恒星称为物理变星。根据物

理变星变化的状态，又可分为脉动变星和爆发变星两大类。几何变星可称为外因变星，脉动变星和爆发变星可称为内因变星。1881年皮克林曾第一个考虑到光变曲线的形态特征，并照顾到光变的物理起因，把变星分为新星、长周期变星、造父变星、不规则变星和食变星 5 类。现在根据光变本原将变星分为脉动、爆发、几何变星 3 大类，这以下又按光变形态和物理原因细分为若干次型，如造父变星、金牛座 T 型变星、天琴座 RR 型变星、大陵五型变星、新星和超新星等。变星分类法因随认识不断深入而逐渐改变，故分法亦不尽相同。近年来，也有人把在光学波段物理条件有变化的恒星叫作光谱变星或磁变星；把在光学波段以外的电磁辐射有变化的恒星叫作红外变星、X 射线新星等。

中国是最早发现并记载变星的国家。殷墟出土的商代甲骨卜辞“新大星并火”和“有毁新星”，如解释为新星现象，就可将爆发变星的记录向前一直追溯到公元前 14 世纪。而《宋史》中记载的 1006 年 4 月 3 日出现的超新星变光情况，已是世界公认的第一个变星记录。到 19 世纪后半叶，发现的变星只有几十颗。而 20 世纪照相技术的运用，使发现的变星数剧增。1976 年出版的国际天文联合会委托编制的《变星总表》（第三版第三补编），已载有变星共 25920 颗。

变星的命名，采用国际通用的由阿格兰德于 1844 年创制的命名法。每个星座内的变星，按发现的时间顺序，用拉丁字母 R、S、T、U、V、W、X、Y、Z 记名，依次表示为某星座内的第一、二、三……九颗变星。如牧夫座 S，指牧夫座中发现的第二个变星；天鹅座 X，指天鹅座中发现的第七个变星。哈特威又于 1881 年将单字母扩充为双字母。按 RR、RS、…、RZ，SS、…、SZ，TT、…、ZZ，AA、…、AZ，BB，…，QZ（其中不用字母 J）命名一个星

座内第 10 号到第 334 号变星。如天琴座 RR，飞马座 AG。当变星数超过 334 个时，则用拉丁字母 V 加上阿拉伯数字表示。如天蝎座 V861，人马座 V4021。

因为物理变星的演变尺度大大短于正常恒星在主星序留驻的时间，所以物理变量的研究有助于阐明恒星的演变环节，了解各个阶段的内部结构、基本物理参量。

【脉动变星】物理变星的一种。这类变星自身在不断膨胀、收缩（径向脉动）或发生变形运动（非径向运动），其光度、颜色、光谱型和视向速度（有时还有磁场）也随之发生变化。脉动很可能是脉动变星光度变化的原因。脉动变星的密度和绝对光度都与脉动周期有一定关系；而且周期愈长，在某一周期范围内的平均光谱型愈晚。按变光周期的长短、规律性和在银河系内的分布等，可分为：长周期造父变星、短周期造父变星、长周期变星、半规则变星和晚型不规则变星 5 类。还可细分为：经典造父变星、星族 II 造父变星（室女座 W 型变星）、天琴座 RR 型变星、盾牌座 δ 型变星、矮造父变星、仙王座 β 型变星、蒭藁增二型变星、金牛座 RV 型变星、半规则变星、晚型不规则变星、脉动白矮星。

【造父变星】长周期造父变星和短周期造父变星的简称。为脉动变星的一种。因为首先发现仙王座 δ 星（中名造父一）的亮度变化，而定义此类变星为造父变星。长周期造父变星光变周期 1—70 天，光变幅度 0.1—2 星等；短周期造父变星光变周期绝大多数短于 1 天，光变幅度约 1 星等。变星光变原因是恒星本身的膨胀和收缩，有周期性变化。恒星膨胀，亮度变红变暗弱；恒星收缩，则变蓝、变亮。造父变星的绝对星等和光变周期之间有一定的关系（即周

光关系)，可用以测量这类变星及其所在星团或星系与地球的距离。这是天文学上常用的一种测距方法，故造父变星又有“量天尺”、“标准烛光”之称。

【长周期造父变星】造父变星中的一种类型。其中经典造父变星的光变周期为 1—70 天，光变幅度为 0.1—2 星等，典型星为仙王座 δ ；室女座 W 型变星，典型星为室女座 W。它们分别为长周期造父变星的两个次型，亦被称为星族 I 造父变星和星族 II 造父变星。它们有各自的周光关系和零点。一般说，对于相同的周期，前者比后者亮 1.5—2 星等。

【短周期造父变星】造父变星中的一种类型。其中一类为天琴座 RR 型变星或星团变星，光变周期 0.05—1.2 天，光变幅度不超过 1 星等。此外还有三类：盾牌座 δ 型变星、船帆座 AI 型变星、仙王座 β 型变星。

【室女座 W 型变星】脉动变星中造父变星的一种，与经典造父变星（符号 C）同属长周期造父变星，属星族 II，是老年恒星。因其典型星为室女座 W 星而得名，常用符号 CW 表示。室女座 W 型变星的光变周期为 2—45 天，光变幅度为 0.1—2 星等。其周光关系与星族 I 造父变星相似，且能与天琴座 RR 型星的周光关系曲线相衔接。光变曲线与星族 I 造父变星不同，星等暗 1.5—2 星等，视向速度大，为每秒 36.3 公里。

【周光关系】美国天文学家勒维特于 1912 年发现，长周期造父变星的光度和光变周期间存在着确定的关系：光度越大，光变周期

就越长。这一关系使用可从它们的光变周期计算其绝对星等，因而可以推求这类变星及其所在星系的距离。为此，必须根据已知光度的造父变星来校正这个关系，即解决“周光关系零点”问题。但是由于即使是最亮的造父变星，离我们也太远了，不能通过诸如三角视差法等手段来测准距离。半个世纪来许多天文学家为此做了大量工作，但都未使之得到完善解决。

【天琴座 RR 型变星】脉动变星中造父变星的一种，属短周期造父变星。因最初发现的这类变星多存在于球状星团中，故又曾称为星团变星。符号用 RR 表示。其典型星为天琴座 RR 星，故得名。又因其光变曲线几乎是大陵型食变星的反照，故又称为逆大陵型变星。光变周期为 0.2—1.2 天，光变幅度约为 1 星等。可利用它来测量球状星团距离和研究银河系结构。

【盾牌座 δ 型变星】脉动变星中造父变星的一种，属短周期造父变星。因其典型星为盾牌座 δ 星而得名，符号以 δ Sct 表示。其特点是超短周期小变幅，光变周期小于 0.21 天，光变幅度小于 0.3 星等，多数在 0.1 星等以下。存在于银河星场中，也出现在疏散星团中。质量约为 1.5—2.5 个太阳质量，绝对目视星等约为 2 等，是主序星或刚过主星序的恒星。

【船帆座 AI 型变星】脉动变星中造父变星的一种，属短周期造父变星。因其典型星为船帆座 AI 星而得名。属超短周期的脉动变星，光变周期 1—3 小时，光变幅度大于 0.3 星等。其光变曲线形状与天琴座 RR 型变星相似。其光度比长周期造父变星和天琴座 RR 型变星都暗，故又名矮造父变星，用符号 AIVel 表示。

【仙王座 β 型变星】脉动变星中造父变星的一种，属短周期造父变星。其典型星为大犬座 β 星，其特点是体积最小时光度最大，体积最大时光度最小。光变周期 0.1—0.3 天，光变幅度 0.1 星等。光变曲线接近于正弦形。属星族 I 蓝巨星或亚巨星，在赫罗图上位于主星序上方。其中许多星是聚星或密近双星，如心宿一、角宿一等。此型变星又名大犬座 β 型变星，用符号 βC 表示。

【金牛座 RV 型变星】脉动变星中半规则变星的一种。其光变周期为 20—150 天，光变幅度 2—3 个星等。光变曲线呈双波形，其周期很固定，主极小和副极小常相互转换。谱型亦随光变而明显发生变化，极小时谱型晚，极大时谱型早，颜色一般偏蓝。据平均星等变化又分为两个次型：具有正常平均亮度的为 RVa 型，典型星为武仙座 AC；具有周期性变化的为 RVb 大型，典型星为金牛座 RV 星和天箭座 R 星。

【长周期变星】光变周期在 70 天以上的脉动变星。星等变幅不超过 2.5^m 的叫长周期变星，超过此值的长周期变星又称蒭藁型变星，是变星中数目最多的一类，典型星为鲸鱼座 O（中名蒭藁增二）。后者目视星等的变幅甚至可达 10 个星等，大多数大于 5 个星等。当星的亮度极小时，大部分辐射在红外波段。这类星光谱型大多属于 M 型，少数为 S、N 和 R 型，且光谱中有发射线。

【半规则变星】脉动变星的一种。其光变曲线外形和光变周期均呈现很大的不规则性，平均亮度恒定或有长周期变化。半规则变星的光变周期大约从几十天至若干年，光变幅度多为 1—2 星等，也

可达 3—4 星等。半规则变星是光谱型从 F—M 型的晚型巨星或超巨星。一般，按周期性的好坏程度依次分为 *a*、*b*、*c*、*d* 四类，也可分为红半规则变星、黄半规则变星和金牛座 RV 型变星三个次型。在赫罗图上，半规则变星位于巨星分支附近。其光谱型随光度变化而变化。光度极小时，出现氧化钛吸收带；增亮阶段出现氢或硅发射线。半规则变星的符号以 SR 表示。典型星是参宿四（猎户座 α 星）。

【不规则变星】脉动变星的一种。其亮度变化不规则、周期性极不明显。其光谱型从早型（A、F）到晚型（K、M）的巨星或超巨星，大多数为 M、N 型。光谱特征有较强的氧化钛吸收带，在增亮阶段和极大前后，常出现氢和硅的发射线。金牛座 BV、天鹅座 CO、仙后座 TZ 分别是早型的、巨星的、超巨星的典型星。光变短于 150 天的红变星大多数是不规则的，而有分子带光谱的红星可能都是变星。虽然不规则变星的光变周期不明显，但仍可找出有几百天到千天以上的不规则周期。过去划分的不规则变星中有些大概是其他类型的变星，不过是研究得不充分而已。

【爆发变星】一种亮度突然激烈增强的变星，光变起因于星体本身的爆发。其亮度可在几小时内突然增亮达几个星等以上，然后缓慢减弱。通常的爆发变星包括新星、再发新星、矮新星、类新星、超新星、耀星；广义的还包括任何非几何原因的光度突然增强的变星，如某些金牛座 T 型变星、某些共生星等。有人也把部分爆发变星称作灾变变星，其实这种激烈变化对星体本身未必是所谓“灾难性”的，有时只不过是处在由渐变到激变的转折阶段而已。爆发变星在宁静时，处于相对稳定或缓慢变化的状态，为蓝色星，

亮度变化复杂，变幅可达几个星等，光谱特征是在蓝连续谱上叠加着氢、氦、钙等发射线。爆发变星爆发时，会急剧向外抛射物质。

【新星】爆发变星的一种，又称新见星、暂星、客星。新星不是新产生的星，只是这种星在爆发前比较暗，只在爆发后一段时期内才能看见，故名新星。新星光度增加阶段所经时间不长，其光度却会突然增加到原来的几万、几十万甚至几百万倍，然后又逐渐衰减，缓慢地恢复到原来的亮度。这是恒星演化比较晚期阶段所发生的小规模爆发现象。按光度下降速度，可分为快新星、慢新星、非常慢新星三类。不止一次爆发的新星称为再发新星，爆发规模和光度增亮比新星更大的称为超新星。一般新星回复到爆发前的亮度要经历1年甚至10多年的时间。新星的光谱随光变发生阶段性的变化，从光谱可得知爆发时以每秒100—5000公里的速度抛射物质。新星在银河系中已发现的约200多个。中国古代有极丰富的新星观测记录，经考证约有90个。第一颗用光谱观测研究的新星是北冕座T星(1866)，第一颗用照相方法研究的是御夫座T星(1891)，武仙座DQ星(1934)的光学观测资料最为完整。据估计银河系每年出现30—50颗新星。

【再发新星】观测到的爆发不止一次的新星。只有观测第二次或更多次爆发的新星，才能确定为再发新星。它们大体上每隔10—100年爆发一次，例如罗盘座T和人马座V2905星，均有五次爆发记录。从光变曲线看，它们与新星并无根本的不同，有人认为所有的新星都可能是再发新星，只不过其中许多新星的爆发周期很长而已。从观测看，再发新星的光变幅在可见波段为7—9个星等，

比新星变幅小；再发新星抛射物质也比新星少。

【超新星】爆发变星的一种，又称灾变变星。爆发时，其亮度增加比新星强得多，光变幅度超过 17 个星等，即增亮千万倍至上亿倍。这是恒星世界中已知的最激烈的爆发现象。超新星爆发是恒星“死亡”的一种形式。爆发结果使恒星或是物质完全抛散，成为星云遗迹，结束了恒星演化史；或是抛射掉大部分质量，遗留下的部分物质，坍缩为白矮星、中子星或黑洞，从而进入了恒星演化的晚期和终了阶段。超新星爆发后形成强射电源、 γ 射线源和宇宙线源。超新星是罕见的一种天象。有历史记载以来，在银河系中观测到的超新星有 5 颗，且都是在望远镜发明以前用肉眼发现的。其中 4 颗是：1006 年豺狼座新星、1054 年中国记载的金牛座超新星（又称“中国新星”，气体状，极大星等为 -5 等）、1572 年第谷发现的仙后座超新星（又称“第谷新星”，极大星等 -4 等）、1604 年开普勒发现的蛇夫座超新星（又称开普勒超新星，极大星等 -2.5 等）。中国历史文献中有丰富的超新星爆发记录，已得到确切证认的有公元 185 年、1006 年、1054 年、1181 年、1572 年、1604 年和 1670 年发现的。河外星系中的超新星于 1885 年在仙女座星云里首次发现，至本世纪 80 年代初，已发现 500 多颗。关于超新星爆发机制的假设和理论有许多种，其中较为公认的是大质量恒星晚期演化阶段的核爆炸理论。超新星用符号 SN 表示。

【矮新星】爆发变星的一种，爆发规模较小、频次较高。矮新星在许多方面与新星和再发新星类似。矮新星准周期地爆发，其爆发平均周期较短，约 10—200 天不等。爆发时，光度陡然增亮，但光变幅度较小，一般不超过 6 个星等，然后又慢慢变暗。矮新星

可分为两类：(1) 双子座 U 型星或天鹅座 SS 型星，已发现 250 多颗；(2) 鹿豹座 Z 型星，已发现 30 多颗（光变幅度 2—3 个星等，周期 10—20 天）。根据综合光谱和光度资料，可以认为矮新星爆发的主要原因是由于冷星突然变热，壳层抛射，外层大气很快脱离冷星，暴露出温度较高的内层所造成。

【类新星】一些特征与新星类似的变星。光变幅比新星小，约为 3 个星等。爆发周期比再发新星短，每隔数年一次。亮度下降时谱线中出现发射线和禁线。类新星在定义上与再发新星、共生星并无严格的区分，如有的老新星和某些共生星也划在类新星之中。

【金牛座 T 型变星】常在星云区观测到的一类不规则爆发变星，以其典型星金牛座 T 而得名。1945 年乔伊首先发现。这类变星亮度变化不规则，变幅 1^m — 3^m 。不同时期亮度变化差别很大，大时可达 3.7^m ，小时变幅只有 0.5^m 。光谱型为 F、G 和 K 型（按吸收线定），但又叠加着 H I、Ca II 等元素的发射线和一些很弱的禁线，表明星周有星云物质。谱线有蓝移，是有物质向外抛射的结果；有的谱线有红移，是有物质向内坍缩的结果。后者看来更年轻，是正在形成的恒星，前者是已停止吸积的年轻恒星。

【耀星】爆发变星的一种。亮度在平时基本上不变，处于极小附近，但突然会在几分钟甚至几秒种内增强，光变幅度从零点几到几个星等，个别的可达到 10 个星等以上，经过几十分钟后又慢慢复原。这种现象称为耀亮或耀变。耀星爆发时有很强的紫外辐射。目前发现有两类耀星：一类是太阳附近的耀星，以鲸鱼座 UV 星为代表，都是 M 型发射矮星；另一类是在星团和星协里发现的耀星，一

般在小色散光谱里平时不出现发射线或发射线很微弱，但爆发时氢或电离钙的发射线出现或增强。太阳附近的耀星，它的耀变不是整个星的爆发，而是类似于太阳的耀斑活动的爆发，不过规模相对要大得多。目前在太阳附近已发现近 100 颗耀星，其中包括半人马座比邻星。而在昴星团区已发现 460 多颗耀星，在猎户座大星云区已发现 300 多颗耀星……这些耀星主要可用来研究在不同年龄的星团中，它们与其他类型天体在演化上有什么联系。

【星云变星】与星云有物理联系的一类变星。根据光变曲线形状和光谱特征，可分为御夫座 RW 型变星、金牛座 T 型变星和耀星等类型，都是诞生不久年轻的恒星。

【猎户座 FU 型变星】一种增光缓慢、减光更慢的与暗星云成协变星。典型星猎户座 FU，在 1936—1937 年一年多时间里，增亮了 6 个多星等，光度极大的时间持续了 2 年左右，在 1939 年以后的十五六年时间里，才减光 0.2 个星等。此外，此类变星还有天鹅座 V1057 和天鹅座 V1515。这类变星可能是接近“林忠四郎演化程”顶部的主序前星。常用符号 FU Ori 表示。

【北冕座 R 型变星】不规则变星的一种。亮度有时会突然减弱 1—9 星等。这类变星光变持续时间由几十天到几百天不等，上升缓慢，而且间有不规则的或锯齿式的起伏。两次减光间隔时间有的很短，有的长达 10 年以上。典型星是北冕座 R，已确定的和可能的对象约 40 颗。这类星大多是含碳丰富的巨星或超巨星。减光原因一般认为是由于变星本身急剧抛出大量含碳丰富的气体物质，使透明度降低而造成星光变暗。北冕座 R 型的光谱型为 F—K、R，

空间分布属星族 I。主要星还有人马座 RY、金牛座 SU。常用符号 RCB。

【磁变星】一般是磁场很强且有变化的恒星。从许多恒星光谱，由塞曼效应可定出它们有很强的磁场，数量级为千高斯，个别达万高斯。具有磁场的恒星（磁星）几乎都是磁变星，且绝大多数为具有特定的强金属线的 A 型特殊星。所有的恒星都有磁场，只是由于恒星离我们太遥远，且磁场大小各有差异，因此恒星磁场很难测定，只有磁场强度大的才能被测到。至今已发现 100 多颗具有磁场的恒星（磁星）。1946 年美国威尔逊山天文台的天文学家发现了第一颗磁变星，即室女座 78。此类星所含稀土族元素和重金属元素比较丰富，其光度和光谱有周期性的或完全不规则的变化，这同磁场的周期性变化或非周期性变化有关。磁变星的自转要比正常 A 型星慢。磁变星不仅包括 A 型特殊星，还包括天琴座 RR、飞马座 AG 等其他类型的星。常陈一、老人星也是磁变星。

【光谱变星】谱线强度有明显的周期性变化的恒星。如许多 A 型特殊星和金属线星，在可见光波段的光度变化不大，变幅通常不超过 0.1 个星等，光变周期 1—25 天；具有强磁场，数量级高达 10^3 — 10^4 高斯；其光谱中有异常强的金属线和稀土族元素谱线，谱线强度随光度变化而变化。磁场强度的变化周期与光变周期相同，位相相反。此外，光度和光谱也存在长周期的缓慢变化。与同一谱型的正常星相比，其自转速度较低。最早发现的光谱变星是猎犬座 α^2 星，故光谱变星也称作猎犬座 α^2 型变星。著名的大角（牧夫座 α 星）也是光谱变星。

【星云】银河系内由气体和尘埃微粒组成的星际云。按形状、大小及物理性质，银河星云可分为弥漫星云、行星状星云、超新星遗迹和暗黑的球状体。弥漫星云又可分为亮星云和暗星云，亮星云又可分为发射星云和反射星云，这类星云无明确边界。望远镜发明初期，将那些云雾状斑点统称为星云，现已知道那里边许多是银河系以外类似我们银河系的星系，并不是星云。

【气体星云】银河星云中主要由气体组成的亮星云。包括行星状星云和发射星云等。在气体星云中有不可忽视的尘埃微粒，只是比其他星云稀少一些。这些尘埃物质和气体一样都是在星云形成初期就已经存在的。气体星云质量不等，从几分之一到几千倍太阳质量，但一般为 10 倍左右太阳质量。气体星云都具有发射光谱，其中氢原子的 $H\alpha$ 线和一次电离氧的禁线最强。气体星云的发光是由于附近的照明星激发所致，但照明星的温度一般低于行星状星云中心星的温度，故激发也低。气体星云在银河系内大部分集中在银道面附近，其中最大的是南天的古姆星云（角直径为 30° ），最亮的是猎户座大星云（M42），最美丽的是天鹅座网状星云（NGC6992）。在许多河外星系中，也观测到了大量的气体星云。

【气体尘埃云】银河中的星云，由气体和尘埃云组成。一般来说，其中尘埃含量相对丰富些。

【发射星云】具有发射光谱线的亮星云。受星云附近的高温恒星紫外辐射激发而发光并出现明线光谱。只有出现在 BO 型或 O 型热星附近的气体星云才能形成发射星云，星云内也有少量尘埃物质。例如 NGC2237 一个叫做麒麟座玫瑰星云的就是一个美丽的样

本。

【猎户座大星云】著名的弥漫星云之一。在《梅西叶星表》中编号 42，在《星云星团新总表》中编号 1976，故又称 M42 或 NGC1976，位于猎户座。用望远镜目视观测，为不规则雾斑，在长时间曝光的照片上则十分壮观。距离约 1500 光年，总质量约为 300 个太阳质量，线直径约 26 光年。星云中的猎户座 O 星是一颗四合星，光谱型分别为 O₅、B₁、B₂、B₃ 的高温星，它们的紫外辐射使光谱中出现发射线，并使星云受激发而成为亮星云。猎户座大星云中正在诞生的恒星和非常年轻的恒星，是研究恒星早期演化的观测目标。

【行星状星云】发射星云的一种。是具有像天王星或海王星那样略带绿色而有明晰边缘的小圆面的星云，故称作行星状星云。它具有较规则、较对称的圆盘形状，中心有一个很小的核心（温度很高的核心星）。其能量来自这个中心星，星云吸收它发出的强紫外辐射而激发发光。其密度为每立方厘米几千个原子，中心较稀薄，边缘较密集而明亮、呈现为绕核的环状物和圆盘状物。化学组成与一般恒星相仿，质量为几百分之一到十分之一一个太阳质量，温度为 6000—10000K，直径为 0.1—1 光年。现认为，大多数恒星都变成行星状星云而平静地死亡。著名的行星状星云有位于狐狸星座中的哑铃星云。据估计，行星状星云寿命平均约为 3 万年左右。现已发现 500 多个行星状星云。

【蟹状星云】一团无定形的膨胀气体云，位于金牛座内，形似螃蟹，故名。又称 M1、NGC1952、3C144。其角径为 $7' \times 4'$ ，视亮度相

当于 9 星等。位置：赤经 $5^{\text{h}}31^{\text{m}}.5$ ，赤纬 $+21^{\circ}59'$ 。距离我们 6300 光年。经证认，这是中国古代于 1054 年观测并记录到的金牛座超新星爆发后的残骸。这个超新星爆发时亮度超过金星，近人称之为中国新星。1968 年发现该星云中的射电脉冲星 NP0532。它的脉冲周期是 0.0331 秒，为已知脉冲星中周期最短的一个。现已公认，脉冲星是快速自旋的中子星，有极强的磁性，是超新星爆发时形成的坍缩致密星。此中子星直径约 10 公里，质量与太阳相当，视亮度为 17 星等。星云的外面是纤维状的气壳，气壳向外膨胀速度为每秒 4 万公里。通过多波段观测发现，它是一个强射电源、红外源、紫外源、X 射线源、 γ 射线源。

【反射星云】具有吸收光谱的亮星云。星云是通过散射或反射在其里面或近旁的星光而发光，故名。反射星云与暗星云本质上是一样的，都是由气体分子和星际尘埃（大小 10^{-5} 厘米）组成，且星云形状都不规则，其区别仅在于反射星云附近有光度足够大温度较高的照明星，而暗星云附近则没有。反射星云与发射星云本质也是一样的，其区别仅在于反射星云附近的照明星温度相对较低且光谱型通常晚于 B_2 型，而发射星云附近或中心，有一个或一团温度较高且光谱型通常早于 B_1 的照明星，以其丰富的紫外辐射激发星云发光。著名的反射星云有昴星团星云（NGC1432）、仙王座星云（NGC7023）和茧状星云（IC5146）等。

【星际物质】存在于恒星之间的物质。星系中恒星之间的空间称为星际空间。由于星际分子、宇宙微波背景辐射和星系冕的发现，使人们认识到星际空间并不是真空，而是充满着物质。星际空间大量的物质处于不可见态，人们感觉到的仅是其中很少一点点。星

际气体、星际尘埃、各种星际云都是星际物质。星际物质的总重量约占银河系总重量的 10%。平均密度为 10^{-24} 克/厘米³，相当于每立方厘米 1 个氢原子，而地球上实验室中目前达到的真空度为 32000 个质点/厘米³，比星际云的密度 $10-10^3$ 个质点/厘米³ 还要高得多。星际气体包括气态原子、分子、电子、离子，其元素的丰度与太阳、恒星、陨石相似，即氢最多、氦次之，其他元素很低。星际尘埃是直径约 10^{-5} 厘米的固态质点，分散在星际气体中。星际尘埃散射星光，使星光减弱，这种现象叫作星际消光。星际气体和尘埃聚集到密度超过 $10-10^3$ 个质点/厘米³，就成为星际云。按现代恒星演化理论，恒星早期是由星际物质聚集而成，而恒星又以各种爆发、抛射和流失的方式把物质送回星际空间。

【星际分子】存在于星际空间的无机分子和有机分子。1937 年，用光学望远镜观测到了次甲基 CH、氰基 CN、次甲基离子 CH⁺ 的吸收光谱。1963 年，第一次用射电天文方法发现羟基 OH 分子后，到 20 世纪 90 年代初，陆续发现 72 种星际分子，其中 46 种是由碳、氢、氧、氮组成的有机分子，18 种由硫、硅等组成的无机分子。有些分子如羟基 OH、一氧化碳 CO、水 H₂O，分布很广。多数星际分子是稳定的化合物，在地球上找得到，少数分子是地球上很难找到或根本找不到的，它们是离子分子，如甲酰离子 HCO⁺、氰基辛四炔 HC₉N、氢化偶氮离子 N₂H⁺、双原子碳 C₂ 等。绝大多数星际分子是靠分米至毫米波段的星际分子射电谱线发现的。也有少数分子只观测到它们的可见光、紫外、红外波段的谱线。星际分子的研究对于天体演化学、银河系结构、宇宙化学等学科都有重要意义。通过谱线观测可以了解星云在其各个发展阶段中的许多物理、化学特性，如星云的成分、形状、密度、温度、运动状

况和同位素丰度等。一般认为，星云和恒星形成的早期和演化的晚期有密切的联系。它揭示了宇宙空间中可能存在氨基酸，这有助于揭开生命起源的奥秘。由于星际分子在天体物理、天体化学等方面的重要意义，被誉为 20 世纪 60 年代天文学上的四大发现之一。

【分子云】 星际空间中由气态分子和低密度星云组成的天体，由小而密的核心和延伸的低密度气体尘埃云两部分构成。前者直径约为 0.15 秒差距，密度 10^{11} 个分子/米³，质量在 5 个太阳质量左右；后者直径超过 10 秒差距，密度不超过 10^9 个分子/米³，质量在 1 万个太阳质量以上。猎户座大星云其实是猎户座分子云的一小部分，可以作为分子云的一个代表。新恒星的形成区域都伴随有分子云，显示出分子云在形成恒星过程中有重要作用。

【H II 区和 H I 区】 在星际空间中有一些区域，其中氢原子处于中性状态叫 H I 区；若是其中氢原子大部分已经电离就叫 H II 区。使用射电望远镜在 21 厘米波段观测，可观测到 H I 区，而 H II 区的形成是受附近 O 型或 B 型热星强紫外辐射而使氢原子电离的，所以光学波段观测就能发现。

【马头星云】 位于猎户座中央的暗星云。从照片上看，形似马头，故名。《IC 星表》编号为 IC434。它在猎户座 ζ 星附近，历元 2000.0 年的中心位置：赤经 $5^{\text{h}}40^{\text{m}}.8$ ，赤纬 $-1^{\circ}55'$ 。它是由气体和尘埃粒子组成，它们吸收背后的星光，在附近发射星云的对照下，显示出它的形状。如果组成它的气体很稀薄或附近没有发射星云对照，则很难发现它。

【三叶星云】位于人马座的弥漫星云。因其形状好像三片叶子连接在一起而得名。因是被暗黑带分裂成三块，故又称三裂星云。《梅西叶星表》中编号为 M20，《星云星团新总表》编号为 NGC6514。是亮星云，呈红色。其平均视直径为 $15'$ ，距离为 3.5×10^3 光年，中心位置：历元 2000.0 年，赤经 $18^h 4.2^m$ ，赤纬 $-23^\circ 2'$ 。

【玫瑰星云】位于麒麟座 ϵ 星附近的弥漫星云。因从照片上看其形为玫瑰而得名。其编号为 NGC2237—9。其角直径为 $60'$ ，距离 3000 光年，中心位置：历元 2000.0 年，赤经 $6^h 32^m.4$ ，赤纬 $+4^\circ 51'$ 。其中心是疏散星团 NGC2244。其周界上，常聚集很多物质，中心区域有一群很热的蓝星。玫瑰星云是亮星云。

【昴星团星云】位于金牛座昴星团的弥漫星云。昴星团即著名的七姐妹星团，其成员星有 280 颗左右，肉眼可见的有 6 颗。在星团里充满着弥漫的星云物质。昴星团星云是反射星云。其角直径为 $40'$ ，距离为 126 秒差距，中心位置：2000.0 年，赤经 $3^h 46^m.9$ ，赤纬 $+24^\circ 9'$ 。

【礁湖星云】发射星云，位于银河中人马座方向。编号 M8。为一颗光谱型为 O5e 的恒星所激发。其角直径 $25'$ ，距离 1200 秒差距，中心位置：赤经 $18^h 1^m$ ，赤纬 -24° 。据观测发现，礁湖星云 (M8)、鹰星云 (M16)、欧米伽星云 (M17，也称马蹄星云) 和三叶星云 (M20) 同位于一个更大的暗星云——人马座大星云之中。它们被认为很可能就是恒星诞生的地方。

【北美洲星云】位于天鹅座内的弥漫星云。因其形状像北美洲大陆，呈现出墨西哥湾和大西洋的外貌而得名。其编号 NGC7000。在它的光谱中既有发射谱线又有吸收谱线，所以，它是发射星云和反射星云的混合型星云。其角直径为 $100'$ ，距离 700 秒差距，中心位置：赤经 $20^{\text{h}}58^{\text{m}}.9$ ，赤纬 $+44^{\circ}19'$ ，历元 2000.0 年。

【蜘蛛星云】一种星云。其中一部分是超新星爆发遗迹，另一部分是发射星云。位于剑鱼座大麦哲伦云方向。其角直径为 $10'$ ，距离 6×10^4 秒差距，中心位置：赤经 $5^{\text{h}}40^{\text{m}}$ ，赤纬 -69° 。

银 河 系

【银河】在晴朗的夜空中看到的斜跨星空的乳白色光带。是由太阳系观测银河系得到的视印象。银河系中绝大多数恒星聚集于银道面附近，构成一个薄盘形状，太阳在银心的一侧。所以看银心方向时，密集的恒星构成光带十分显眼；背着银心的方向，则光带略淡，但银道面仍然构成一周天的光带。可以说银道带在天球上的投影就是银河。中国古代也称它为“天河”、“银汉”、“天汉”等，西方古代将它想象为“牛奶之路”称它为“Milky Way”。沿着人马座由西南向东北方向的天鹅座看，最为显眼，故李白有“疑是银河落九天”的比喻。

【银河系】地球和太阳所在的恒星系统。它是一个普通的星系，因

其投影在天球上的乳白亮带——银河而得名。银河系呈盘状，盘的直径为 25 千秒差距，厚度约为 1—2 千秒差距。这个扁盘状恒星系统称为银盘。银盘上分布着呈旋涡结构的恒星、星团和星云。有一大质量的核球居于银盘中心，银盘被笼罩在直径约 30 千秒差距的银晕中。银河系质量约 1.4×10^{11} 太阳质量，其中 90% 是恒星，10% 是由气体和尘埃组成的星际物质。银河系整体作较差自转。太阳处在距银心约 10 千秒差距的银盘中，以每秒 250 公里的速度绕着银心转动，转一周需 2.5 亿年。银河系在本星系群中为除仙女星系外的最大星系，拥有约一、二千亿颗恒星。它的演化时间尺度为 10^{10} 年，视绝对星等为 $M_v = -20.5$ 。

伽利略是第一个用望远镜发现银河由恒星组成的人。18 世纪后期，威廉·赫歇耳用自制的反射望远镜进行了系统的恒星计数的观测。他计数了 117600 颗星，绘制了一幅扁而平、轮廓参差、太阳居其中心的银河系结构图。由于他不知道星际消光的存在，再加上作了恒星的光度都相同的简化假设，导致他的结论与事实相差甚远。威廉·赫歇耳死后，其子约翰·赫歇耳把恒星计数工作扩展到南半天，并绘制了全天星图。1901 年，卡普坦用统计视差的方法测定恒星的平均距离，求得银河系的直径为 8 千秒差距，厚 2 千秒差距，太阳居中，中心的恒星密集，边缘稀疏。1918 年，沙普利提出了太阳不在中心的银河系透镜形模型，这项工作是建立在对造父变星的周光关系的研究的基础上，已得到天文界的公认。但沙普利也未考虑星际消光效应，把银河系估计过大。1930 年，这一偏差被特朗普勒纠正。

射电天文学诞生后，利用中性氢 21 厘米谱线勾画出银河系旋涡结构，并发现太阳附近有三条旋臂。用射电天文方法观测 OH、CH、CN 等多种星际分子，丰富了银河系的整体结构。

按大爆炸宇宙学假说，银河系是由 10^{10} 年前的大爆炸出现的引力不稳定而逐步形成的。近年还从恒星的形成和演化、元素丰度的变迁、银核的活动及其在演化中的地位等角度去探讨银河系的整体演化过程。在 60 年代，林家翘等人提出的密度波理论，较好地说明了银河系旋涡结构的维持机制。

【银心】 银河系的中心，即银河系的自转轴与银道面的交点。银心在人马座方向。银心也常用来泛指银河系的中心区域。太阳距银心约 10 千秒差距。由于太阳系与银心之间充满了大量的星际物质，在光学波段上难以看到银心。研究银心主要依靠射电、红外、X 射线和 γ 射线波段上的观测。在高分辨率的银心射电图上，发现了一些射电源，其中最强的是人马 A，它发出强烈的同步加速辐射。用甚长基线干涉仪测得银心小于 10 天文单位。银心在 3—20 微米波长范围内辐射强度很大。12.8 微米的红外观测资料表明，在直径在 1 秒差距的银心区域内拥有几百万个太阳质量。“爱因斯坦 X 射线天文台”的观测揭示了银心区域的 X 射线图象。一个与人马 A 位置相符的 X 射线源光度约为 10^{28} 瓦。有人认为银心区是一个大质量的致密核，或许是一个大质量黑洞。正负电子对的湮没辐射和 X 射线辐射也表明银心处可能含有不寻常的天体。

【银道面】 银河系所处的平均平面。它是银道坐标系的基本平面，它与天球相交的大圆称为银道。银河系的绝大部分恒星、尘埃和气体云都对称地分布在银道面的两侧。太阳处在银道面以北 8 秒差距的地方。银道面与天赤道相交，其倾角为 $62^{\circ}36'.0$ ，升交点的赤经为 $18^{\text{h}}49^{\text{m}}$ 。

【谷德带】由美国天文学家谷德首先发现并研究的一条亮星集中的带状区域。谷德带内含南天最明亮的恒星，绝对星等为 -13 。带长 700 秒差距，带宽 70 秒差距，与银道面交角约 16° 。谷德带中约有 20 万颗星，大部分是 O—B 型恒星。此外，带中还有弥漫星云、中性氢云和暗云。有人认为谷德带是由 O 星协的扩展运动形成的。

【星团】恒星的集团。它是一个由 10 颗以上的恒星通过彼此之间的引力作用而聚集在一起的恒星群。星团可分为球状星团和疏散星团两种。球状星团的各成员星球对称地密集在一起，其中心的恒星密度比太阳附近的恒星密度约高 1000 倍，即使用最大的望远镜也不可能把球状星团成员星分解成单颗的恒星。银河系中的球状星团大部分分布在银晕中。球状星团含有许多变星，是银河系内很老的天体。疏散星团的成员星彼此角距离较大，一般都可以分解成单颗的恒星。疏散星团大部分分布在银道带附近的狭带上，所以又名银河星团。

【球状星团】由 10^4 — 10^7 数量级的恒星密集而成的集团，由于它呈球形或扁球形而得名。球状星团的直径在 5 秒差距（如 NGC6325）到 107 秒差距（如 NGC2419）的范围内，成员星的平均密度比太阳附近恒星分布的密度约大 50 倍，中心密度则大 1000 倍左右。球状星团按成员星中心密集的程度可分为 12 个类型，以罗马数字 I 至 X II 表示。银河系内约有 500 个球状星团，被确认的有 132 个。全天最亮的球状星团是半人马座 ω ，即 NGC5139。它们沿偏心率很大的巨大椭圆轨道绕银心旋转，周期约为 3 亿年。光谱分析表明，球状星团的成员星都是贫金属恒星。

在光学和射电波段上未发现球状星团中的星际气体和尘埃。它的成员星是银河系最早形成的一批恒星，年龄大约 100 亿年。迄今为止，在银河系的球状星团中已发现 2000 多颗变星，其中大多数是天琴 RR 型星，其次是室女 W 型星。近年来，在一些球状星团中发现有 X 射线辐射源，因此有人认为在其中心可能存在黑洞或密近双星。

【疏散星团】由几十至二三千颗恒星密集，且通过望远镜可分辨出单颗恒星的恒星群。它的成员星彼此角距离较大，属于星族 I 的天体。在银河系中已发现并载入表的疏散星团有 1000 多个，形态不规则，半径从小于 1 秒差距到 10 秒差距，且高度集中在银道面的两旁，离银道面的距离在 200 秒差距内，所以疏散星团又名银河星团。它的成员星除了主序星外，还有种类繁多的变星和大量的双星，一些金属线星和白矮星也可找到。采用瑞士天文学家特朗普勒提出的分类方法，可将疏散星团分为只含主序星、含一些黄色和红色的巨星、含很多黄色和红色的巨星三类。按星团中光谱型最早的恒星光谱型又可分为 O 星团、B 星团和 A 星团。利用不同年龄的星团的赫罗图构成的标准主星序，可以测定整个疏散星团和其中已知光谱型的恒星的距离。

【移动星团】有些疏散星团的成员星的自行大小和方向都很接近，有从一个辐射点分散开来或向一个汇聚点聚集的倾向。这种可以定出辐射点或汇聚点的疏散星团称为移动星团。移动星团的成员星除了有各自不太相同的随机运动外，还参与整体的运动。已知的移动星团有毕星团、昴星团、大熊星团、鬼星团、英仙星团、天蝎—半人马星团和后发星团等七个星团。毕星团是被美国天文学

家博斯最早发现的移动星团。根据其成员星的自行和视向速度,可定出星团内个别成员星的视差。这种视差称为星群视差,精度很高,因此移动星团成员星的光度常被用作各类恒星的光度基准。银河系的自转对移动星团产生一种剪切力,促使星团瓦解。可见星群视差的测量以及对移动星团的起源和动力学演化的研究意义重大。

【星族】银河系(以及任一河外星系)内,在年龄、空间分布、化学组成和运动特征等方面十分接近的某种天体的集合。1944年,巴德主张把银河和其他旋涡星系的恒星分成两大类,分别为“星族Ⅰ”和“星族Ⅱ”。认为那些集中于星系旋臂区域内的亮的早型超巨星属于星族Ⅰ,处在银晕和核球中的晚型超巨星属于星族Ⅱ。更深入的研究表明,巴德提出的分类过于简单了。现在被各国天文学家普遍接受的星族分类是将银河系的恒星划分为五个星族:极端星族Ⅰ(旋臂星族)、中介星族Ⅰ(较老星族Ⅰ)、圆盘星族、中介星族Ⅱ、晕星族Ⅱ(极端星族Ⅱ)。极端星族Ⅰ集中分布在银道面附近,主要由年轻的亮星、星团、星协和星际物质等组成。中介星族Ⅰ包括富金属星、A型星和较低光度超巨星。圆盘星族包括银核的恒星、行星状星云和新星等。中介星族Ⅱ包括大多数年龄约为 10^{10} 年的老星和周期短于250天、光谱型早于M5型的长周期变星。晕星族Ⅱ由银河系最古老的天体所组成,其中包括球状星团、亚矮星和周期长于0.4天的天琴座RR型变星。综观五个星族,从极端星族Ⅰ到晕星族Ⅱ,成员星的年龄增大,重元素丰度减小,向银道面的汇聚程度减小,垂直于银道面的速度分量增加。有人建议将银核和其他旋涡星系核心的整体单独作为一个核星族,现在对核星族知之甚少。星族和次系是两个平行的概念,大

多数场合可以统一起来。当今星族的概念被国际天文界更多地采用。

【星协】某一类恒星在天球上呈集结分布的现象。1947年，阿姆巴楚米扬发现O型和B型恒星聚集在一个天区里，认为这是一种互相之间有物理联系的恒星群，因此引入星协的概念。星协与星团不同，它比疏散星团更疏散，且主要由光谱型大致相同、物理性质相近的恒星组成。星协分为三种。一种是OB星协（又称O星协），成员星以O型和早B型星为主，还含少数光谱型较晚的星。第二种叫T星协，以金牛T型星和御夫RW型星为基本成员。R星协是范登贝尔格在1966年提出的，成员星是BO—AO型主序星和A—M型超巨星。星协大致呈球状，在银河系它们向银道面高度集结。大部分星协成员是十分年轻的天体，年龄只有百万年数量级。星协是个不稳定的系统，成员星在向外膨胀。目前已知的OB星协约有50个，T星协有25个，R星协约40个。如果星协在银河系内作均匀的扁平分布，估计银河系内有 10^3 个OB星协， 10^5 个T星协。

【银河系结构】银河系的总体结构如下：银河系呈扁盘状；银河系的物质（包括恒星和星际物质）密集分布在银盘内。银盘所处的平均平面称为银道面。银盘的中心隆起的核球部分称为银河系核球。核球中心的致密区叫做银核。银盘外面是一个大范围的近似球状分布的银晕。银盘中的物质密度比银晕中高得多。在银晕的外面还有大致呈球状的银冕。银河系是拥有1000—2000亿颗恒星的系统，直径约25千秒差距。银盘中间部分的厚度约为2千秒差距，太阳附近的银盘厚度约1千秒差距。在银盘内，年轻的恒星

与气体尘埃密集分布，形成旋臂。根据中性氢 21 厘米谱线射电探测结果，发现银河系的英仙座、猎户座、人马座方向存在旋臂结构。还有一条距银心 4 千秒差距的旋臂，正以约 53 公里/秒的速度向外膨胀。旋臂内主要成员是极端星族 I 天体，如大量的 O、B 型星、金牛座 T 型变星、经典造父变星、银河星团、超巨星、星协等。处在旋臂之间的天体有晚于 A 型的各类主序星、新星、红巨星、行星状星云及周期短于 0.4 天的天琴座 RR 型变星等。银盘中央隆起的区域就是核球，其外边缘离银心约 5 千秒差距，且发出强的射电、红外、X 射线辐射，银心位置被标定在核心区域最强的射电源人马 A 处，赤经 $17^{\text{h}}42^{\text{m}}29^{\text{s}}$ ，赤纬 $-28^{\circ}59'18''$ 。银晕中可观测到的主要成员是球状星团、贫金属星和长周期天琴 RR 型变星等。最近的银河系模型研究表明，银晕的质量很大，但大多数是不可视物质，其中含小光度恒星、小质量天体、白矮星、中子星、黑洞和宇宙线粒子等。

【银核】见“银河系结构”。

【银冕】见“银河系结构”。

【银晕】银河系外围笼罩银盘的球状区域。其范围比银盘大 50 倍以上。主要由晕星族组成，如球状星团、贫金属矮星、周期长于 0.4 天的天琴 RR 型星和极高速星。这些与银河系年龄相当的星绕银心旋转，轨道一般呈长椭圆形。球状子系是由晕星族天体组成，它分布在一个与银盘同心，直径大于 30 千秒差距的球内。银晕中除了晕星族天体外，还含有少量的气体。这些气体大部分被认为是电离氢，主要来自银盘中的超新星爆发、H II 区膨胀和恒星

风。近年来的理论探讨表明，薄薄的银盘除非周围有大质量的晕，否则会影响银盘的稳定性。在新的银河系模型中，银晕含大量不可视物质，银晕的整体质量比过去的估算值要高得多。

【银盘】银河系的主要组成部分，被银晕笼罩的一个薄盘系统。直径约为 25 千秒差距，厚度约为 1—2 千秒差距，自中心向边缘逐渐变薄。银河系总质量的 85%—90% 落在银盘内。银盘中的天体绕银心旋转。观测表明，从银心到 1 千秒差距处的银盘是刚性转动，1 千秒差距以外是较差自转。太阳距银心约 10 千秒差距，以每秒约 250 公里的速度绕银心旋转。星际气体大量弥散在银盘内，其中 90% 是氢，近 10% 是氦，还有微量其他元素。中性氢 21 厘米谱线的射电观测表明，银河系也是旋涡星系。距银心最近的一条旋臂称为 3 千秒差距臂。太阳附近发现有三条旋臂：英仙臂、猎户臂和人马臂。由林家翘、徐遐生等人继承和发展的密度波理论能较好地解释旋涡结构。

【银河系的核球】处在银河系中央的椭球状的核区域。核球的长轴约为 4—5 千秒差距，厚 4 千秒差距。由于核球内有一个由巨大的 H II 区组成的环以及许多分子和尘埃云，人们难以观测到核球内部的结构特征。核球是恒星高度密集的区域，愈近中心愈密集。核球总质量约占银河系的 5%。通过中性氢 21 厘米射电观测，在距银心 3 千秒差距和 300 秒差距处有正在膨胀的旋臂或气环，其中有许多年轻恒星群、分子云和尘埃云。银河系核球的表面亮度分布和椭圆星系表面亮度的分布相似，与距银心的半径 R 的 $\frac{1}{4}$ 次幂成正比，其质光比约等于 12。

【旋臂】具有旋涡结构的星系所特有的螺旋线形的物质带，称为星系的旋臂。旋臂是年轻亮星、亮星云密集的区域。大多数的旋涡星系有两条旋臂，少数星系有三条以上的旋臂。旋臂上不仅有年轻的 O、B 型亮星，还有电离 H 区、经典造父变星、星际气体和尘埃。迄今为止，银河系已观测到几段旋臂，如英仙臂、猎户臂、人马臂和三千秒差距臂等。银河系究竟有几条旋臂，尚不清楚。旋臂结构的本质和维持机制可用密度波理论来解释。关于旋臂的起源和演化问题，还有待进一步研究。

【银河系模型】天文学家们在研究银河系物质分布、旋臂结构、产能机制、星际磁场和银河系的起源及演化等问题时提出的各种模型设计。例如，密度波理论中将银河系看成一个无限薄的含较差自转的自引力气体盘，且满足流体力学规律。

【恒星的空间运动】对恒星在星际空间中运动状态的描述。由于选择的参考坐标系不同，可从不同的角度去描述恒星的空间运动。一般从恒星所处星系在基本静止标准中的运动和恒星在本地静止标准中的运动两方面来描述。对于银河系内的恒星，其空间运动可通过研究恒星相对太阳的运动、太阳相对于星群形心的运动、星群形心相对于银心的运动来得到该恒星的空间运动图象。参见本地静止标准。

【次系】星系中在空间分布、空间运动和物理特性方面相接近的某一类天体的集合。每个星系都是由许多次系组成。次系是一个与星族平行的概念。就银河系而言，由三类次系组成。第一类是扁平次系，它们密集在银道面两旁，是一个扁平状的系统。O 型星

次系、B 型星次系、经典造父变星次系和疏散星团次系就属于这一类。第二类是球状次系，它们以银心为中心，呈球状分布。如天琴座 RR 型变星次系、球状星团次系等。第三类是中介次系，其分布特征介于扁平次系和球状次系之间。如蒭藁型长周期变星次系、白矮星次系等。次系的概念首先由瑞典天文学家林德布拉德提出。深入的研究表明，次系的概念和星族的概念实质上是一致的。同一类次系的总和称为子系。

【子系】同一类次系的总和。银河系和其他旋涡星系可分为三个次系。与此对应，存在着三类子系：扁平子系、球状子系和中介子系。

【银河系自转】银河系内的天体绕银心转动着。俄国天文学家勒·奥·斯特鲁维在 1887 年便利用自行数据研究自转。1924 年，斯特隆堡根据恒星运动不对称性提出了银河系自转的假设。随后林德布拉德提出不同子系统绕银心旋转速度不同的观点。1927 年，荷兰天文学家奥尔特对恒星视向速度进行细致分析，给出了银河系自转的证据。同时，在理论上提出了银河系自转对视向速度和自行的影响的公式，称为奥尔特公式。由此公式可定出，在太阳处，银河系的自转角速度为每年 $0.0053''$ ，自转线速度为每秒 250 公里，自转周期为 2.5×10^8 年。从银河系自转曲线可以看出，在银心附近接近于刚体旋转，距离远些的地方是较差自转。在离银心相当远的地方，自转速度没有明显下降，说明在太阳轨道以外存在着大量的物质。

【银河系的磁场】20 世纪 30 年代起，对银河系的观测表明，银河

系的星际空间存在磁场。通过对来源于银河系的各向同性的宇宙线的分析，通过对具有非热辐射特性的银河系背景射电辐射的观测和分析，表明银河系存在着磁场。同时，纤维状结构的弥漫星云和星光偏振现象的观测也证明了银河系磁场的存在。对银河系磁场的定量测量方法主要有两种。一种是法拉第旋转法，通过偏振辐射穿过有磁场的星际物质前后偏振面方向的旋转量，可测出视线方向的磁场分量的平均值。另一种用较差测量技术测出中性氢 21 厘米谱线的塞曼分裂频率，从而进一步定出星际磁场值。这两种测量结果比较可靠，得到银河系磁场平均强度约为 1×10^{-10} — 3×10^{-10} 特斯拉。在银河系的局部区域和银晕中，磁场取向是紊乱的。而在旋臂区域可能存在有取向规律的大尺度磁场。

【太阳运动】 又称太阳本动，指太阳相对于本地静止标准的运动。本地静止标准是以太阳为瞬时中心，以太阳附近恒星的平均速度运动着的参考系（相对于基本静止标准而言）。在这个动力学静止的参考标架中，太阳附近的具有同样公转速度的恒星是相对静止的。1783 年，威廉·赫歇耳仅从七颗恒星的自行推出太阳运动的存在，并指出太阳向着武仙座方向运动。1837 年，阿格兰德根据 390 颗恒星的自行资料，证实了这一结论。实测表明，太阳以 19.7 公里/秒的速度向武仙座方向运动。该点的赤道坐标分别是：赤经 $18^{\text{h}}4^{\text{m}} \pm 7^{\text{m}}$ ，赤纬 $+30^\circ \pm 1^\circ$ 。这点在黄道坐标系中的位置是黄经 56° ，黄纬 23° （历元 1950.0）。这点叫向太阳的向点。太阳背离方向与向点相对的点叫太阳的背点。太阳运动速度和方向的值，与选定作为参考的恒星的距离尺度有关系。

【向点】 见“太阳运动”。

【背点】见“太阳运动”。

【本地静止标准】为研究像星系这样的巨大恒星系统中某特定点附近的恒星运动而引入的参考坐标系。在绝对静止的基本静止标准中的一点 (x, y, z) 的附近，取一个相对于整个恒星系统足够小，但而包含足够多恒星的小空间区域 σ ，统计出区域中的所有恒星的平均运动速度 $V_0(\sigma)$ 。当 σ 的体积趋于零时， $V_0(\sigma)$ 的值取一个极限值 V_0 。建立在点 (x, y, z) 上，以形心速度 $V_0(x, y, z)$ 相对于基本静止标准运动的参考系就是本地静止标准。恒星相对于本地静止标准的运动速度称剩余速度，也称本动速度。恒星系统的运动状态可用较差运动场和剩余速度的分布来描述。星系中各点的形心速度 $V_0(x, y, z)$ 就确定了星系的较差运动场。

【速度弥散度】通常指相对于本地静止标准而言，恒星系统的剩余速度的弥散程度，可用速度场的均方差值来定量描述。恒星速度与形心速度偏离得越大，速度弥散度就越大。恒星剩余速度遵循速度椭球分布律，即恒星在速度空间中遵从各向异性的正态分布。

【速度椭球】恒星的剩余速度场满足的分布规律。1904 年卡普坦在研究太阳运动时，发现附近恒星存在着有固定的空间取向的彼此相背运动的两大星流。1907 年，史瓦西提出恒星在剩余速度空间大致密集在一个椭球中。该椭球的三轴长之比等于沿各轴方向恒星速度的弥散度之比，比值约为 $8:5:4$ 。椭球的长主轴方向就是太阳运动的向点方向。对于不同类型的恒星，定出的太阳运动速度不同，恒星的速度弥散度不同，所以其速度椭球的轴长比例和

空间取向也是有差别的。

【K 效应】B 型星群相对于形心的一种膨胀（或收缩）的观测现象。在研究太阳运动时，在向点附近取足够多的星，对其视向速度求平均，便得到太阳向点运动的速度。太阳背点附近的星群的平均视向速度也和太阳运动速度大致相同。当对向点和背点附近的 B 型星群作同样的统计时发现，两个 B 型星群的平均视向速度有很大差异。1903 年，伏洛斯特和阿当斯首先发现了这一现象，并测得 B 型星正以约每秒 5 公里的速度相对于它们的形心在膨胀。后来研究表明，对于更远的 B 型星，其相对于形心的膨胀速度在减小，甚至出现负值（收缩）。由广义相对论，引力红移效应对视向速度有一定的影响。另外，用不同色散度的摄谱仪观测 B 型星的视向速度而带来的系统误差也会引起 K 效应。

【星际消光】遥远天体（恒星、星系）发出的电磁波被星际弥漫物质部分吸收、散射，造成光度减弱的现象。由于星际物质对不同波长的星光吸收、散射的程度不同，对长波散射小，对短波散射大，因此接受到的星光比没有散射吸收的星光要偏红些，这称为星际红化现象。1930 年，瑞士天文学家特朗普勒首次证明星际消光现象的存在。星际中各种弥漫星云、行星状星云、尘埃球状体等都是消光物质。对于低银纬的天体，其星际红化现象较严重。对遥远星体的观测必须扣除星际红化的影响，才能得到正确的天体分布信息。

【星际红化】见“星际消光”。

【西利格定理】用恒星计数结果来判断恒星分布的均匀性和消光的理论依据。西利格曾证明，如果恒星在空间均匀分布，且不考虑星际消光现象的存在，则视星等小于 m 与视星等小于 $m-1$ 的天体个数之比为 3.98。将西利格定理与实际计数结果对照，说明了恒星空间分布的不均匀和星际消光的存在。

【星族 I】1944 年，巴德首先把星系中的恒星根据其物理特性、演化和空间分布方面的差别而分成两大星族。银河系以及其他旋涡星系的恒星被分成星族 I 和星族 II。星族 I 是一些早期，高度集中于银道面内的旋臂附近，大部分恒星光谱中有较强的金属线。星族 I 中最亮的是 O 型和 B 型超巨星，绝对星等达 -7^m — -9^m 。

【星族 II】在银河系和其他旋涡星系中的恒星被分成星族 I 和星族 II。星族 II 的成员星集中在星系核心区域和星系晕中，银面的聚度小。观测表明，星族 II 恒星是在银河系演化早期诞生的恒星，到今年龄已老，所含的金属丰度低。星族 II 中最亮的恒星是红巨星，绝对星等达 -3^m ，光度约为星族 I 最亮成员星——超巨星的百分之一。

【密度波理论】用来解释星系的旋涡结构的一种理论。1942 年，瑞典天文学家林德布拉德首先提出密度波观念。但由于未能得到定量的形式，理论没有被人接受。自 1964 年以来，林家翘、徐遐生等人发展了密度波理论。他们从准稳旋涡结构假设出发，从星系应遵循的引力场方程和动力学方程，得出准稳定的旋涡密度波解。密度波理论认为，星系旋涡结构的本质是由引力引起的密度波。当恒星进入螺旋式的引力势波谷后，速度减慢，表现为物质聚集，呈

现为旋臂。恒星进出于旋臂，达到某种动态平衡，使旋涡图案不变，密度波理论对星系的旋涡结构的本质和维持机制作了成功的解释，但关于密度波的起源和演化方面，也遇到一些困难。

【分光视差】利用恒星光谱中的某些谱线特征来求恒星的绝对星等，从而求出视差的测量恒星距离的一种方法。哈佛光谱分类是按恒星温度序列的一维分类。但由沙哈的电离理论，光谱型还应与恒星大气的压力有关，所以无法通过赫罗图中的光谱型而直接得到主序星的绝对星等。1914年，美国威尔逊天文台阿当斯和柯舒特发现同一光谱型的巨星和矮星的光谱中有些谱线的强度相差很大，从而创立了分光视差法。其原理是：对一些已知三角视差的近距离恒星观测，由它们目视星等可得到绝对星等。以绝对星等为横坐标，以特征谱线对的强度差异为纵坐标，用内插法可以从该曲线中得到欲求恒星的绝对星等值。然后用从内差曲线所得的绝对星等和观测得到的目视星等值，通过公式 $M_v = m + 5 + 5 \lg \pi$ ，得到视差 π 。

【造父视差】利用造父变星的周光关系来测定距离的方法。造父变星是一类高光度的周期性脉动变星，其光度与光变周期之间存在着周光关系。由观测可得造父变星的光变周期，由周光关系可定出它的绝对星等。已知造父变星的视星等和绝对星等，便可定出造父变星的距离。只要在星系或星团中发现有造父变星，就可定出该星系的星团的距离。因此，造父变星又有“量天尺”之称。

星 系

【河外星系】由几十亿至几千亿颗恒星以及星际气体和尘埃物质等构成，占据几千光年至几十万光年的空间的天体系统。银河系以外的星系称为河外星系，一般泛称为星系。星系是宇宙中天体存在的一个重要层次。天文学家哈勃是星系天文学的奠基人，是他首先发现仙女座星云、三角星云和 NGC6822 中的造父变星，并根据造父变星的周期——光度关系定出了这几个星云的距离，确定了这几个星云是存在于银河系之外。这标志着星系天文学的开始。研究星系主要从星系的结构和形态；星系的分布；星系的运动和质量；星系的物理性质和星系产生及演化机制等几方面进行。星系的结构和形态是极为复杂的，所以星系的分类也是多种多样。可以把星系分为正常星系和特殊星系两大类。根据星系的形态，可以把星系分为椭圆星系、旋涡星系和不规则星系三大类。而象塞佛特星系、N 星系、致密星系、爆发星系、射电星系和类星体等有剧烈活动的特殊星系称为活动星系或扰动星系。类星体是最遥远的星系之一。星系的视分布为有规律地从银极向银道递减，在银道面左右形成一个隐带。从较小的尺度上看，星系的分布是不均匀的，有星系成群、成团现象。从大尺度上看，星系在空间分布是近乎均匀并各向同性的。星系内部的恒星在运动，而星系作为一个整体也在运动。通过星系运动可算出星系的质量。许多星系的物理性质，如质量、大小、光度、星等、成分、光谱型、星

际介质等参量已经由观测和理论来确定。随着观测技术和手段的提高,尤其是望远镜性能的改善、空间望远镜成功升空,以及多波段天文学的新兴,我们对星系的了解将日趋完整。

【星系的质量】研究星系的一个相当重要的物理参量,它决定着星系的演化。测量星系的质量是星系天文学的一个重要课题。从星系的运动、光度,可求得星系的质量。测定星系质量的方法有:(1)根据牛顿定律,由速度—距离的实测曲线得出星系的质量分布和总质量;(2)从恒星在星系内的速度弥散度,通过维里定理可求出星系的质量;(3)对双重星系,可根据测双星质量的方法,由它们的速度求出质量;(4)通过星系的光度、质光比,也可估算出星系的质量;(5)根据星系在星系团内随机运动的弥散度,由维里定理,可求出星系的平均质量,也就是可用星系系统动力学,求出星系的维里质量。星系的维里质量总大于用其他方法得出的质量,出现质量不符。已有多种观点讨论了这一问题。

【星系的质光比】星系质量 M 和光度 L 的比值,即 M/L 。通常以太阳质量和太阳光度为单位。通过对双重星系的观测,可求出不同类型星系的质光比,再根据星系的光度资料,就可以估算出星系的质量。计算质光比,必须知道星系的距离,这就涉及到哈勃常数 H 的选取。当取 $H=50$ 千米/秒/百万秒差距时旋涡星系的质光比 $M/L \approx 2-15$,椭圆星系的质光比 $M/L \approx 50-100$ 。星系的质光比对研究星系成分是很有价值的参量。

【隐匿质量】又称短缺质量,是星系的维里质量和光度质量之间的差额。从星系团成员星系的红移和速度弥散度,以及维里定理,可

以算出星系集团的总质量，这就是维里质量。而分析星系的质光比，也可以估算出星系集团的总质量，这种质量称为光度质量。星系的维里质量总是大于光度质量，也就是说两种质量不相符。这是1933年由兹威基从后发星系团中首先发现的。随着观测技术的不断提高，离星系中心较远的暗弱天体被陆续发现，星系的光度质量有所提高，但是星系团、星系群的质量不相符是普遍现象。虽然有许多观点已被提出，但如何圆满解决质量短缺，仍是星系天文学面临的课题。

【星系的分类】大量星系按一定特征划分为若干类别。哈勃是星系天文学的创始人。1923年哈勃在仙女座大星云中证认出造父变星，并由造父变星的周期—光度关系归算出了仙女座星云的距离，发现它是远在银河系外的独立的恒星系统。在哈勃的开创性工作后，天文学家在宇宙中观测到了约 10^{10} 个星系。这些星系的质量，有的可与银河系相比拟，有的则比银河系大，多数比银河系小。为了便于研究星系的物理特性和演化规律，天文学家把星系分类，以此表征不同星系之间的内在联系。比较著名的星系分类有哈勃分类、德沃库勒分类、叶凯士分类、范登堡分类、阿姆巴楚米扬分类等。

(1) 哈勃分类。根据大量观测资料，哈勃于1926年提出了星系分类的判据为：1. 核球相对于扁盘的大小；2. 旋臂的特征；3. 旋臂和星系盘分解为恒星和电离氢区的程度。哈勃将星系分为三大类：椭圆星系（以E表示）、旋涡星系（以S或SA表示）和棒旋星系（以SB表示）。哈勃分类是一种形态分类法，不是一个演化序列。一些特殊星系不能纳入哈勃分类系统。

(2) 德沃库勒分类。德沃库勒对哈勃分类提出修正，他的划

分法：1. 椭圆星系 (E)；2. 透镜型星系 (L)；3. 旋涡星系 (S)；4. 不规则星系 (Irr)，其中 L 型和 S 型又分为 A、B 两种，A 表示正常形态，B 表示棒状，AB 表示过渡形态。另外引入 r 和 S，r 表示旋臂绕成弧状，S 表示旋臂以核心或棒端出发，成“S”状。例如 SA (r) 表示正常形态的旋臂为圆形的旋涡星系。不规则星系分为两类：Irr I 表示有亮的 O、B 星和电离氢区；Irr II 表示分解不出恒星、有不规则吸收的尘埃带、有的还是爆发星系。

(3) 叶凯士分类。又称摩根分类，根据星系的形态，表面亮度、核的情况、尘埃等因素进行分类。

(4) 范登堡分类。又称 DDO 分类，是美国戴维·邓洛普天文台 (David Dunlap Observatory) 的缩写。它除了沿用哈勃分类参量外，还增加了光度参量，因此是二维分类系统。另外还用一些符号表示哈勃分类中的具体细节。

(5) 阿姆巴楚米扬分类。是阿姆巴楚米扬根据星系核的活动程度把星系分为 5 个类型：1. 无核；2. 核较平静，其光度比星系总光度小得多；3. 核较平衡，但其光度较 2 有所增加；4. 活动十分剧烈，其光度达星系总光度一半；5. 星系总光度几乎全在核内。

另外，根据星系的质量也可把星系划分为矮星系、巨星系和超巨星系等。

【旋涡星系】具有旋涡结构的星系，在哈勃星系分类中用 S 表示。旋涡星系的质量约为 10^7 — $10^{11}M_{\odot}$ ，光度为绝对星等—15 至—21 等，直径为 5—50kpc，其中 $M_{\odot}$ 表示太阳质量。旋涡星系由中央核球和周围圆盘组成。中央核称为星系核，周围圆盘称为星系盘。从核球延伸出若干条螺线状旋臂，迭加在星系盘上。这种旋臂是

旋涡星系外形的主要特征。按哈勃分类，旋涡星系分为正常旋涡星系和棒旋星系两种。按照旋臂缠绕的松紧程度又分为 a、b、c 三种次型，其中 a 表示旋臂紧卷；b 表示旋臂较大并较开展；c 表示旋臂大而且松弛。因此正常旋涡星系有 Sa、Sb、Sc，正常棒旋星系有 SBa、SBb、SBc 三类。旋涡星系旋臂上聚集着星族 I 天体、电离氢区，同时还有大量的尘埃和气体分布在星系盘上。星系外面笼罩着一个结构稀疏的晕，叫星系晕。再往外，还有更为稀疏的气体球，叫星系冕。星族 I 天体组成星系盘和旋臂，星族 II 天体主要构成星系核、星系晕和星系冕。

【椭圆星系】河外星系中的一种，呈圆球形或椭球形。这种星系中央较密且亮度最大，并向边缘递减，直径约为 1—150kpc。椭圆星系由星族 II 组成，在其中没有观测到 21 厘米射电辐射，表明没有或仅有少量星际气体和星际尘埃。典型的光谱类似于 K0—K5 型恒星光谱，辐射大部分来自 K 和 M 型巨星，但成员主要是矮星，没有蓝巨星。椭圆星系的产能效率远低于旋涡星系。其质量差别也很大，有超巨型和矮型。椭圆星系用字母 E 表示，按椭率大小分为 E0 到 E7 共 8 个次型。E0 是圆星系，E7 是最扁的椭圆星系。E 后面的数字 n 由： $n=10 \frac{a-b}{a}$ 来确定， a 、 b 分别是椭圆的半长径和半短径， n 取整数。

【棒旋星系】见“旋涡星系”。

【不规则星系】外形不规则、没有明显的核和旋臂、没有盘状对称结构或者看不出有旋转对称性的星系，用 Irr 表示。不规则星系又

分为 Irr I 和 Irr II 两类。Irr I 颜色偏蓝、色指数 $B-V$ 约为 0.35；有约隐约现、不甚规则的棒状结构；体积小、质量约为 $10^9 M_{\odot}$ 、多层矮星系；主要由 O—B 型星、电离氢区、气体和尘埃等年轻的星族 I 天体组成。Irr II 具有无定形的外貌，分辨不出恒星和星团等组成成分，有明显的尘埃带；颜色呈黄色， $B-V$ 等于 0.8 左右；有一部分可能是正在爆发或爆发后的星系，有些则是受到星系引力扰动而扭曲了的星系。Irr I 和 Irr II 的起源可能完全不同。在已观测到的星系中，不规则星系占的比例很小。

【特殊星系】形态和结构不同于哈勃分类中正常星系的河外星系。它包括类星体、塞佛特星系、N 型星系、射电星系、马长良星系、致密星系、蝎虎座 BL Lac 天体、有多重核的星系和有环的星系等。这种分类有的是交叉的。特殊星系的特殊性质表现在：(1) 有一致密亮核；有的外围有伴星系；有的有外环；有的有射电双子源或射电包层；有的有喷流或爆发；有的还出现尘埃或不规则电离氢区分布。(2) 核有很高光度，且光度有快速变化，时标短的只有几分、几小时，长的以月、年计；有较强的偏振；连续谱多呈幂律谱；有较宽的发射线和高激发、高电离的禁线等。这些性质主要是因星系核的活动和主星系与伴星系之间的相互扰动造成的。星系核的活动是一个多次反复的爆发过程，它可释放高达 10^{53} 焦耳 (10^{60} 尔格) 甚至更高的能量。一般认为星系核的爆发会加速星系的演化，改变星系结构和类型，但什么原因致使星系核活动并产生如此复杂的特性，仍存在疑难。研究特殊星系，对探索星系的起源和演化有重要意义。

【塞佛特星系】星系核有强烈活动的旋涡星系，是美国天文学家塞

佛特于 1943 年发现的。它的特征是：(1) 有一小而极亮的恒星状核。(2) 核的光谱显示有很宽的发射线，特别是氢线。它具有非恒星的起源并处于极高激发、高电离的状态。存在 O III、O II、Ne III 等禁线。这些谱线是多普勒运动所致还是物质大尺度运动，仍正在探索中。(3) 有较强的光度和很蓝的连续谱。塞佛特星系有两种类型：I 型塞佛特星系有很宽的发射线（相当于每秒几千千米的速度），强的 H β 发射和极小的核；II 型的发射线宽度弱于 I 型（约相当于每秒 500—1000 千米的速度），有更强的禁线和稍大的核。II 型塞佛特星系的形态与 I 型不同，它们大多没有完整的旋臂，而有明显的喷射物。

【马卡良星系】前苏联天文学家马卡良通过物端棱镜光谱底片发现并汇编成表，具有反常强紫外连续谱的特殊星系。马卡良星系分为两类：第一类为亮核型，紫外辐射来源于核，这一类占总数的 2/3。第二类为弥漫型，紫外连续辐射来源于整个星系，占总数的 1/3。第一类大多为塞佛特星系，第二类中有不规则星系、阿罗星系等。马卡良星系中有多重星系。

【致密星系】表面亮度很高的星系，又称兹威基星系，是瑞典天文学家兹威基在 20 世纪 60 年代在编制《星系和星系团总表》过程中发现的。兹威基把致密星系分为四类：(1) 一般致密；(2) 中等致密；(3) 甚致密；(4) 极端致密。兹威基是把星系像和恒星像进行比对来判定的。致密星系中红致密星系可能是正常星系，而蓝致密星系也许是星系际电离氢区。致密星系也有非热辐射。

【蝎虎座 BL 型天体】一类具有类似于蝎虎座 BL 的特征的天体，它

是活动星系核中很有代表性的一类。它的特征主要有：(1) 射电、红外、光学辐射都有迅速而强烈的光变，时标为小时到几天、数月；(2) 辐射谱中没有或只有很弱的宽发射线，吸收线和发射线或者没有、或者很微弱；(3) 有快速变化的偏振；(4) 具有恒星像，具有非热连续谱；(5) 在厘米波段有平的或者是倒转的射电谱，红外亮度特别高。因 BL Lac 型天体的活动十分激烈，红移较大而且覆盖范围也较大，因此它的产能机制、辐射机制显得尤为重要。一般采用的理论模型为：BL Lac 天体的中心为超大质量黑洞，周围有吸积盘，沿转动轴向有喷流。吸积盘和喷流的成分主要是等离子体。因吸积盘、喷流的作用，导致了 BL Lac 天体的各种特性。蝎虎座 BL 型天体的一些物理特性非常类似于类星体、塞佛特星系和 N 型星系的一些特性。蝎虎座 BL 型天体目前认为也是非常遥远的天体。

【N 型星系】最初由摩根引入作为星系叶凯士分类中的一个形态，其特点为亮核叠加在一个非常暗的背景上，光度大部分来自中心核。N 星系非常类似于类星射电源，但 N 星系显示一个云状外壳，而类星射电源则呈恒星状外貌。在 B—V 和 U—B 双色图上可把两者区分开。N 星系的红移和光度处于塞佛特星系和类星射电源之间。

【射电星系】射电辐射功率大于 10^{34} 焦耳/秒的星系。射电星系是一种活动星系，绝对星等约为 -20.8 等左右。射电星系大多是椭圆星系 (E)、巨椭圆星系 (D)、ED 星系和超巨型椭圆星系 (cD)，有的是不规则星系。有的射电星系是 N 型特殊星系和塞佛特星系。射电辐射并不全在星系核内而大多在星系核外。按形态结构，

射电星系可分为：(1) 致密型：射电辐射区不大于照相底片上星系光学像的范围。M87 是典型的射电致密星系。(2) 双源型：射电辐射区十分延伸，在光学星系的两边有两个巨大的射电瓣。这种星系的射电辐射不是来自光学星系，而是它的双瓣。每个射电瓣都是具有较高磁场的高能电子云。双源射电星系是宇宙中本质上最亮的射电辐射天体。用甚长基线干涉仪 (VLBI) 观测还发现射电双源的横向分离视速度是超光速的。3C273 是一个著名的例子。(3) 头尾型：前面是一个有光学星系对应的致密源，随后有几对逐渐增大的双射电子源并拖着范围逐渐增宽、频谱指数逐渐变陡、强度逐渐减弱的射电尾巴。射电星系同时也是强的红外源和 X 射线源。射电星系与类星体、塞佛特星系有相似之处，但又有区别。射电星系是很重要的一类活动星系核，它的形成、演化和产能机制等，都是尚待解决的课题。

【互扰星系】星系间因引力强烈相互作用而产生的星系对或多重星系。正如恒星世界有相互作用一样，星系也不是孤立存在，它们间有相互作用。当作用非常强烈时，星系的正常形态会遭到破坏，形成针状的、纤维状的或扫帚状的星系际桥状结构、尾状或环状结构。互扰星系在宇宙中数目不多，但其结构引人注目。沃龙佐夫—韦利米亚诺夫编制了互扰星系的图和表。互扰星系可以用计算机进行理论上数字模拟。

【激扰星系】又称活动星系，具有明显的激烈活动，而存在的时间远远短于正常星系演化时间 10^{10} 年的星系。激扰星系的特征：(1) 核通常小而亮；(2) 有快速光变；(3) 光谱中有宽发射线、禁线；(4) 有非热连续光谱；(5) 有吸积盘和喷流结构。激扰星系包括

塞佛特星系，致密星系、马卡良星系、N 星系和阿罗星系。活动星系是当今天体物理学中最活跃的领域之一。

【活动星系】见“扰动星系”。

【星系核】星系中心质量密集的部分。星系核的质量约为 $10^8 M_{\odot}$ ，或者更大。星系核有“宁静”和“活动”两种。星系核中包含大量的恒星、等离子体、磁场和高能粒子等。宁静核中已经观测到各种谱型的恒星，可能还存在中子星、白矮星等致密星。宁静核常产生幂律谱形式的射电辐射。星系核存在红外极大辐射。活动星系核表现出许多特殊性质，一般认为它的核心为一黑洞，存在吸积盘和喷流。

【活动星系核】具有剧烈活动现象的星系核，包括塞佛特星系、BL Lac 天体、射电星系、类星体等。活动星系核活动的形式表现在：(1) 剧烈光变，即光学和射电辐射强度随时间有很大变化；(2) 非常强的光度，甚至超过爱丁顿光度；(3) 巨大的非热辐射，尤其在红外区的非热辐射达到最大；(4) 强烈的气体运动和规模巨大的喷流。因星系核活动表现出的剧烈高能现象，迫切需要回答活动星系核的中心区的质量、大小、结构、演化和产能机制等问题。一般理论模型认为活动星系核中心区有一个大质量黑洞，周围有一吸积盘。要对活动星系核有一深入、完整的研究，必须综合黑洞物理学、相对论、量子物理学、磁流体力学和等离子体物理学等诸多的方面知识。

【星系冕】环绕在星系可见部分之外的一个巨大的包层。它是在测

定星系——伴星系系统的速度弥散度时发现的。星系冕的质量非常大，甚至超过星系的质量。星系冕的尺度也非常巨大，有几十万秒差距，有的甚至达到百万秒差距。星系的质量和光度越大，它的冕的质量也越大。有了冕，星系内的恒星的逃逸速度就可比估计值高，星系就更为稳定。同时，星系冕的质量对认识宇宙物质将有深远影响。另外，星系冕在星系的起源和演化研究中有重要作用。

【星系盘】规则星系中具有盘状结构的部分。规则星系最常见的形态为星系盘加上一个中心核球。星系盘有旋涡状或棒状结构，或者二者兼而有之。旋涡状形态一般存在旋臂。根据林家翘、徐遐生等人提出的密度波理论，这种旋臂不是固定的物质臂，而仅仅是一种因密度波导致星系里的物质暂时性的增涨或压缩。观测表明，星系盘绕着中心核作较差自转，即旋转角速度随距离增大而减小。星系盘中的恒星主要是星族Ⅰ中属于主序星的年轻恒星。星系盘中还存在大量的气体、暗星云和尘埃等。典型的星系盘直径为 10^5 光年左右，厚度约为 10^3 光年，质量约为 $10^{11}M_{\odot}$ 。星系盘的产生及其角动量的来源仍是悬而未决的重要课题。

【星系晕】旋涡星系外围由稀疏分布的恒星和星际物质组成的球状区域。星系晕中主要是星族Ⅱ天体，其典型代表是球状星团，它随机地分布在星系盘周围空间。

【巨星系】在星系团中央出现的一个或几个光度、质量和体积都极大的一类星系。巨椭圆星系不包括星系晕直径可超过 100 千秒差距，巨旋涡星系直径也可达 5—10 个秒差距，前者质量可达 10^{11} —

10^{13} 个太阳质量，绝对星等可达—20等——22等；后者质量可达 10^{11} 个太阳质量，绝对星等可达—20等。例如室女座星系团中心约 1° 的地方，有巨椭圆星系 M87 (NGC4486)，它同时还是强射电源和 X 射线源；后髮座星系团中心附近有两个超巨星系。巨椭圆星系 NGC4889 和巨旋涡星系 NGC4874。这里说的超巨星系是光度和质量更大的星系。

【矮星系】光度最弱的一类星系，其绝对星等 M 为—8——16等，质量为 $10^6—10^9 M_\odot$ 。矮星系是椭圆星系，有的是 I 型不规则星系。矮椭圆星系是椭圆星系中质量最小的星系。不规则矮星系包含着星族 I 的恒星，还有大量中性氢。大麦哲伦云和小麦哲伦云均为矮星系中的不规则星系。矮星系在宇宙中广泛存在。

【星系的分布】1934年，哈勃对 44000 多个星系的视分布进行了研究，证实了星系的数目有规律地从银极向银道递减，在银纬约 $\pm 20^\circ$ 范围内，几乎完全观测不到星系，在那里形成一条很明显的星系空缺带，称为隐带。这种视分布是由于银河系的银道面附近强烈的星际消光造成的。从较小的尺度上看，星系的分布是不均匀的。星系可成团为星系团，星系团还可二次成团为超星系团。有两个或多个星系结为双重或多重星系，有的是几百甚至几千个星系聚为一团。如银河系和仙云座大星云、大麦哲伦云、小麦哲伦云以及其他 30 多个星系组成一个集团，称为本星系群。本星系群和室女星系团等星系团又构成更高层次的集团，即本超星系团。实际上，对更暗弱的星系计数和星系团计数表明，星系在小尺度范围分布不均匀，但在更大的宇宙空间尺度上，星系的空间分布可能是均匀的。任何关于星系的起源和演化的学说以及宇宙模型，都

必须对星系的成团现象和星系的空间分布作出合理的解释。

【多重星系】有一定相关性的若干星系组成的一个集合。在小于 0.1 百万秒差距的尺度上，星系有成对、三重或多重出现的现象。统计表明，大约有半数的明亮星系构成双重星系或多重星系。例如，大、小麦哲伦云是双重星系，它们又和银河系构成三重星系。这个三重星系又与玉夫星系等近距星系构成多重星系。众多多重星系可形成星系群或星系团，众多星系团又可构成超星系团。星系成对、多重以及成群、成团是宇宙中一种普遍现象。

【隐带】沿着银河 $\pm 20^\circ$ 范围内有一个轮廓不规则的带。在此带内，除了很少几处极小的天区外，其他天区几乎观测不到星系，这条带就称为隐带。在隐带邻近天区，星系的密度也较南北银极小。这种现象是由于银道面附近集聚了很多星际物质，形成了强烈的星际吸收而导致的。

【星系群】尺度在 100—200 万秒差距范围由相互间有一定关联的若干星系组成的星系群体。星系群包含的星系数目约在 100 个之内，它是尺度和星系数都较小的星系团。星系群结构很松散，形状也相当不规则，主要成员为旋涡星系、不规则星系和某些矮椭圆星系，巨椭圆星系和 SO 星系则很少。本星系群就是一个很著名的星系群。

【本星系群】以银河系为中心，半径约为百万秒差距的空间内的星系的总称。本星系群的成员约 40 多个星系，其中有银河系和仙女星系两个巨旋涡星系，还有三角星系这个中型旋涡星系、大麦哲

伦云和小麦哲伦云,以及其他一些矮椭圆星系和不规则星系等。本星系群的特性为:(1)是个疏散的天体系统,没有向中心集聚的趋势;(2)其中大的椭圆星系和旋涡星系在光度和尺度上相差不大,不规则星系与矮椭圆星系可以相比拟;(3)不规则星系稀少。本星系群的总质量约 $10^{11}M_{\odot}$,其中银河系和仙女星系二者质量占了绝大部分。本星系群是本超星系团中的一个成员。

【仙女座大星云】位于仙女座方向的巨旋涡星系,在早期望远镜中呈云雾状椭圆斑点而得名,是一个肉眼模糊可见的星系。距离 220 万光年,直径约 16 万光年,绝对星等 -21.1 等,质量约为 3.1×10^{11} 个太阳质量,为本星系群中最亮和质量最大的星系。它的自转周期为 1800 万年,自转角速度为每秒 600 千米,其构造与我们银河系相似,成为了解银河系的一个范本。它有由 K 型超巨星组成的核心和 9 条旋臂,内有亮星云、暗星云、星团、变星、新星等各类天体,其中造父变星可用来确定距离。它和星系 M32 (NGC221) 和 NGC205 构成仙女三重星系。仙女座大星云也称 M31 或 NGC224。

【麦哲伦星云】银河系的两个伴星系。它们在天球上离南极只有 20° 左右,在北纬 20° 以南的地区开出地平面。它们是南天银河附近两个用肉眼清晰可见的云雾状天体。1521 年葡萄牙航海家麦哲伦航海到南美洲南端时发现了它们并作了精确描述。后来就称这两个天体为麦哲伦云,其中较大者为大麦哲伦云,简称大麦云 (LMC),小的为小麦哲伦云,简称小麦云 (SMC)。大麦云位于剑鱼座 (Dor) 和山案座 (Men),约 6° 大小。小麦云在杜鹃座 (Tuc),张角约 2° 。两个云在天球上相距约 20° 。大、小麦云离太

阳分别为 52 千秒差距和 63 千秒差距。它们是矮星系。大麦云属矮棒旋星系或不规则星系，质量为银河系的 $1/20$ 。小麦云属不规则棒旋矮星系或不规则星系，质量为银河系的 $1/100$ 。1912 年，美国天文学家勒维特发现小麦云中造父变星的周光关系。赫茨普龙和沙普利随即测定了小麦云的距离，成为最早确认的河外星系。大、小麦云中有众多类型的天体：O 型星、B 型星、WR 星、变星、星协、星团、行星状星云、超新星（如 SN1987A）、超新星遗迹、脉冲星、X 射线源等，其中变星的种类有：造父变星、天琴 RR 变星、不规则变星、新星等。射电观测表明，大小麦云有一共同的氢云包层，并与银河系之间形成“气体桥”，该桥的成团与银河系的潮汐力有关。大麦云中还有一个引人注目的天体，即剑鱼 30，因其形似蜘蛛，又名蜘蛛星云，它是迄今天文学家发现的最巨大的发射星云。大、小麦哲伦云是离银河系最近的小型星系，其成员天体大致位于离太阳相同的距离处，因此对研究星系、研究恒星的固有性质是十分有利的。大、小麦哲伦云是重要的天文观测对象。

【星系团】相互之间有一定力学联系的十几个、几十个甚至成百上千个星系聚在一起组成的星系集团。星系团的尺度约为 5 百万秒差距，平均而言，每个星系团内的星系成员约为 130 个，成员星系特别多的星系团称为富星系团，成员星系不太多的为贫星系团。当然这二者是相对的，本星系群就是小的星系团，而象后发星系团则为大的星系团。星系团有 5 个分类系统：其中兹威基（Zwicky）和阿贝尔（Abell）分类是基于星系团形态和结构；Rood—Sastry 用形态和 10 个最亮成员分类；Bautz 和 Morgan（简称 BM）分类则依赖于较亮星系相对于其余星系的亮度反差；

Oemler 的分类则基于星系团的星系成分。现分别简述如下：Zwicky 的分类为：(1) 致密星系团：亮星系密集、至少有 10 个成员看上去相连；(2) 中等致密星系团：有一个或多个致密区，其中最亮的 10 个成员之间距离只有几个星系的直径；(3) 疏散星系团：无明显密集区。Abell 根据对称度和中聚度把星系团分为：(1) 规则星系团：具有球对称，高的中聚度，团内常常包含有几千个成员星系，其中至少有 1000 个的绝对星等亮于 -16 等。规则星系团内的成员绝大多数为椭圆星系或透镜星系。(2) 不规则团：没有一定的形状，没有球对称，不是单一的而是可能有几个中央密集区，所以在团内形成次一级的成群结构。不规则星系团中包含各种类型星系，而且其中往往以暗星系占绝对优势。

Rood—Sastry 的分类为音叉形状：

其中：

- (1) cD：星系团内有一主导的超巨星系，如 Abell 团中的 A401，A2199；
- (2) B：有两个主导亮星系，如后发团；
- (3) L：至少有 3 个星系排成一行，如英仙团；
- (4) C：中心区至少有 4 个最亮成员，如 A2065；
- (5) I：没有确定中心，成员分布不规则；
- (6) F：10 个亮星系中有几个成扁平组态，如 A397。

Bauty 和 Morgan 根据主导星系的特点将星系团分为 5 类：

- (1) BM I：星系团中有一处于中心位置的 cD 星系，如 A2199，IC2082。

(2) BM II：最亮的一个或几个星系外表上介于 cD 型和室女团中的 gE（巨椭圆星系）之间，如后发团。

(3) BM III：团中无主导地位的星系，如室女（Virgo）团。

(4) 此外还有 BM I — II 和 BM II — III 作为中介类型。

Oemler 根据星系团的成分将星系团分为 3 类：

(1) cD：形状呈球形，在中心有一个或多个 cD 星系。

(2) 富 S：形态不规则，旋涡星系丰富。

(3) 贫 S：介于前两类型之间，由 SO 星系起支配作用。

星系团的运动特征包括两个方面：整个团的视向运动和团内各成员星系间的随机性相对运动。观测证明团的视向运动满足哈勃定律：距离越远，视向速度越大。星系团内成员星系的相对运动情况用速度弥散度表示，随着星系团的范围的扩大和成员数目的增加，速度弥散度也越来越大。星系团的系统红移给予宇宙膨胀学说有力支持，但宇宙在星系团这个层次上分布是不均匀也不是各向同性。

【规则星系团】见“星系团”。

【不规则星系团】见“星系团”。

【室女星系团】离银河系最近的星系团，因位于室女座（Virgo）而得名，是一个不规则星系团。室女星系团的距离为 16 百万秒差距，拥有的成员星系超过 2500 个，其中约有 200 个亮星系，68% 为旋涡星系，19% 为椭圆星系，其余为不规则星系。室女星系团中最亮的 4 个星系为椭圆星系，M87（NGC4486）便是其中之一。超巨型椭圆星系 M87 位于室女星系团的中心。M87 是全天最强的

射电源之一，也是强的 X 射线源。室女星系团和本星系群（银河系在其中）是本超星系团中的主要成员。

【后发星系团】位于后发座（Coma）天区，距离银河系较近的一个规则星系团。后发星系团的角直径为 4° ，分布具有对称性，其中心附近有两个超巨星系：椭圆星系 NGC4889 和 SO 型星系 4874。后发星系团距离为 38 百万秒差距，成员星系有数千个，中心区亮成员星系超过 1000 个，成员星系中大部分为椭圆星系和 SO 星系，是个显著的富星系团。后发星系团中有炽热的星系际气体（有 X 射线发射）和强的射电源。后发星系团离北银极只有 2° ，十分有利于观测。

【超星系团】又称二级星系团。若干星系团聚集在一起构成的更高一级的天体系统。星系团聚合成超星系团的现象，称作超级成团。超星系团是由星系团、星系群甚至单个星系这些系统组合成的大星系集团。本超星系团就是超星系团中的一个典型例子。超星系团的质量范围为 $10^{15}—10^{17}M_\odot$ ，它具有扁长形状、长短径之比平均为 4 : 1，长径范围为 60—100 百万秒差距。超星系团内成员星系团的速度弥散度约为每秒数千千米，成员星系团间的引力作用与星系团内成员星系间的引力作用相比要弱得多。超星系团的存在，表明了宇宙空间的物质分布在 100 百万秒差距的尺度上是不均匀的。宇宙学原理要求物质均匀和各向同性，这说明该原理在超星系团这个尺度上仍存在困难，要在更高的尺度上才可能实现。

【本超星系团】星系团是星系的一级成团现象，由星系团集成更大的集团——超星系团，是星系的二级成团现象。银河系所在的本星

系群、室女星系团、后髮星系团和一些较小的星系群、星系团所组成的超星系团，就称作本超星系团，因含本星系群而得名。估计它的长短为 30 兆秒差距，厚 1.8 兆秒差距，其质量中心在室女星系团或其附近。我们的银河系位于本超星系团靠边缘的地方。本超星系团所属成员分布在一个扁平的范围内，其对称中心为本超星系赤道，这种形状和视向速度观测显示，它存在着自转。

【星系际物质】存在于星系与星系之间的气体和尘埃，其密度约为 10^{-31} 克/厘米³。星系际物质和星际介质一样，具有消光效应。在一些星系际物质较密集的地方会形成星系际暗云。星系之间的物质桥、星系团中的隐匿物质、星系团际物质均为星系际物质。星系际物质在宇宙中广泛存在，它的来源之一便是活动星系的喷射。宇宙的总密度中包含了星系际物质密度，因此研究星系际物质对研究星系的起源和宇宙的演化都有重要意义。

【总星系】宇宙中人类观测所及的部分。是比超星系团还要更高层次的天体系统，一般认为它的尺度为 100 亿光年。通过星系计数和微波背景辐射观测，证明了总星系的物质和运动的分布在统计上是各向同性和均匀的，正符合宇宙学原理。总星系中含量最高的物质是氢，其次是氦。总星系存在系统红移，说明总星系在均匀膨胀。总星系是通过大爆炸形成的，还是由比它更大的系统坍缩而成，尚无定论，但前者得到更多的支持。

太 阳 系

【太阳系】由太阳、大行星及其卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质构成的天体系统。太阳是太阳系的中心天体，占总质量的 99.86%，其他天体都在太阳的引力作用下绕其公转。太阳系中只有太阳是靠热核反应发光发热的恒星，其他天体要靠反射太阳光而发亮。太阳的角动量只占整个太阳系的不足 2%，而质量占 0.2% 以下的其他天体的角动量却占 98% 以上。

太阳系中的九大行星，按距太阳远近排列依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。它们到太阳的平均距离符合提丢斯—波得定则。按性质不同可分为三类：类地行星（水星、金星、地球、火星）体积和质量较小、平均密度最大，卫星少；巨行星（木星、土星）体积和质量最大，平均密度最小，卫星多，有行星环，自身能发出红外辐射；远日行星（天王星、海王星、冥王星）的体积、质量、平均密度和卫星数目都介于前两者之间，天王星和海王星也存在行星环。九大行星都在接近同一平面的近圆形的椭圆轨道上，朝同一方向绕太阳公转，即行星的轨道运动具有共面性、近圆性和同向性，只有水星和冥王星稍有偏离。太阳的自转方向也与行星的公转方向相同。地球、火星、木星、土星、天王星和海王星的自转周期都在 10—24 小时左右，但水星、金星和冥王星的自转周期分别为 58.6 天、243 天和 6.4 天。多数大行星的自转方向与公转方向相同，但金星则相

反，而天王星的自转轴与轨道面的交角很小，呈侧向自转。除水星和金星外，其他大行星都有自己的卫星。

太阳系内还存在为数众多的小质量天体，主要集中在火星和木星的轨道之间。已准确测出轨道并正式编号的小行星有 3000 多颗，可分为碳质小行星和石质小行星两类，其质量总和约为地球的万分之四。目前已发现的彗星约有 1700 颗，其轨道倾角和偏心率彼此相差很大，有些彗星的轨道是双曲线的或抛物线的，一些长周期或非周期彗星是逆向公转的。太阳系内还有多得难以计数的流星体，有些流星体成群分布，称流星群，已证实一些流星群是彗星瓦解的产物。流星体一旦落入地球大气层便成为流星，大的流星体落到地面成为陨石。另外，在行星际空间还弥散着稀薄的气体和尘埃，主要集中在黄道面附近，晴朗无月的夜晚可观测到的黄道光就是由它们产生的。

【太阳】太阳系的中心天体，是行星的光和热的源泉。它是银河系中的一颗普通恒星，位于距银心约 10 千秒差距，银道面以北约 8 秒差距处，并与其他恒星一起绕银心转动。

太阳是一个直径约 1.4×10^6 公里的气体球，由于引力的作用，太阳的密度和温度是向内增加的。表面温度约 6000K，密度极其稀薄。在这样高的温度下不可能存在固体和液体，在太阳表面温度最低的区域有少量的分子，但绝大多数物质以原子的形式存在。在太阳中心，温度超过 1.5×10^7 K，压力约 3.4×10^{12} 牛顿/厘米²，密度达 160 克/厘米³，在这种高温、高压、高密度的环境中，发生着氢变为氦的热核反应，释放出大量的能量，这些能量主要以辐射的形式稳定地向空间发射，其中约 22 亿分之一的能量到达地球，是地球上的生物所需的光和热的主要来源。太阳是除

地球以外与人类关系最密切的天体，而且是唯一的可以详细考查其表面结构的恒星，所以对太阳的研究人们历来十分重视。下表列出了有关太阳的一些基本数据。

太阳基本数据

日 地 平 均 距 离	149, 598, 000 公里
平 均 角 直 径	31'59". 3
半 径	696, 000 公里
扁 率	0". 05
质 量	1.989×10^{33} 克
平 均 密 度	1.409 克/厘米 ³
总 辐 射 功 率	3.83×10^{26} 焦耳/秒
有 效 温 度	5, 770K
自 转 会 合 周 期	$\begin{cases} 26.9 \text{ 天 (赤道)} \\ 31.1 \text{ 天 (极区)} \end{cases}$
光 谱 型	G2V
目 视 星 等	—26.74 等
绝 对 目 视 星 等	4.83 等
表 面 重 力 加 速 度	2.74×10^4 厘米/秒 ²
表 面 逃 逸 速 度	617.7 公里/秒
中 心 温 度	约 1.5×10^7 K
中 心 密 度	约 160 克/厘米 ³
中 心 压 力	约 3.4×10^{12} 牛 顿/厘米 ³
年 龄	5×10^9 年

我们能够直接观测的是太阳的大气层，它从里向外可分为光球、色球、日冕三层。从总体来说太阳是稳定的，但它的大气层却处于激烈的局部运动之中，黑子、耀斑等日面活动现象就是这种运动的结果。通过太阳光谱分析得知太阳大气的化学组成情况。其中含量最丰富的元素是氢，其次是氦、氧、氮和碳及其他金属和非金属元素。按质量计，氢占 71%，氦占 26.5%，其他元素占 2.5%。已经确定存在于太阳大气中的化学元素约有 69 种，它们在地球上都能找到。目前还无法直接探测太阳内部的情况，但一般认为太阳内部与太阳大气的物质组成相差不大。太阳的自转非常缓慢，而且不同纬度处自转的周期不同。在赤道上，自转一周要 25 天，而两极附近自转一周需 35 天。

太阳的寿命估计为 100 亿年，目前已度过了约 50 亿年。目前太阳是一颗黄矮星，在氢原料耗尽之后，将由氦和其他较重元素的核反应维持其能源，变成一颗红巨星，然后再转变为红超巨星。当太阳上所有的核能都耗尽时，它将坍缩成一颗密度很高的白矮星，并释放出引力势能。最后，白矮星的收缩停止，变成一个不发光的黑矮星，太阳的生命也就终止了。

【光球】太阳大气中最低的一层。太阳发射到空间的能量几乎都从光球发出，并且大部分集中在光谱的可见光区，太阳的大部分连续光谱及夫琅和费线（除个别强吸收线线心在色球形成外）基本上都在光球处形成的。它远比色球和日冕明亮，因此用白光看到的太阳表面实际上就是光球。光球很薄，厚度仅 500 公里。各部分亮度很不均匀。在非扰光球中布满了大约 400 万个米粒组织。在光球的活动区，有黑子、光斑，偶尔还会发出白光耀斑。光球上每平方厘米每秒发出的辐射流量为 6.3×10^3 焦耳，由此可推算出

光球的有效温度为 5770K。随着高度的增加，光球的温度逐渐降低，在光球与色球交界处，温度降到最低值，只有 4000 多度。光球的物质密度约为 10^{-7} 克/厘米³，气体压力大致为 1 牛顿/厘米²。光球里的各种化学元素都处于中性原子状态或低电离度的离子状态。

【米粒组织】又称米粒。在太阳光球层中由气体对流形成的极不稳定的多边形气泡。在高分辨率的太阳白光照片上呈米粒状的明亮斑点，故名。整个光球层约有 400 万个米粒，它们的直径一般为 700—1400 公里，平均为 1000 公里（从地球上看到约 1".3），米粒间的暗纹约 200 公里宽。米粒比光球的温度高 300—400℃，亮度约强 10—20%，平均寿命为 7—8 分钟。米粒形成于光球底部与对流层相接的地方。为了传出太阳内部产生的热量，对流层中的气体在不断作剧烈的升降运动。刚升上来的气体较热较亮，即“米粒”，温度较低的气体沉入对流层中，形成了米粒之间的暗纹。由多普勒效应可测出米粒组织中心上升的速度为 0.4 公里/秒，并且有 0.25 公里/秒的水平外流速度。

【超米粒组织】又称超米粒。由于太阳光球大尺度水平运动所形成的日面结构。在整个可见的宁静太阳半径约有 2500 个超米粒，直径 2—6 万公里，平均 3.2 万公里。寿命一般为 20—40 小时，平均 24 小时。超米粒的底部位于光球表面下 7000—10000 公里深的对流层中。

【5 分钟振荡】太阳表面气体以 5 分钟为周期的一种不断起伏的运动。1960 年由美国学者莱顿发现。气体沿日面铅垂方向振动，运

动的平均速度约 0.3 公里/秒，上下脉动的范围约 25 公里。一般认为与光球下面的对流层所产生的波动有关。日面上还有多种不同周期的振荡，但都不如 5 分钟振荡明显。

【光斑】用白光观测到的太阳光球上比周围明亮的区域。它的平均温度比周围高 100 度左右，亮度大 10%。大多数光斑与黑子关系密切，它们由明亮的纤维组成，宽 5000—10000 公里，长 50000 公里，大致垂直于赤道分布。比黑子早出现几小时或几天，寿命比黑子长约 3 倍。少数与黑子无关的光斑出现在 70°的高纬区，略呈圆形，直径约 2300 公里。光斑同黑子一样，也具有 11 年的活动周期，但纬度活动范围比黑子宽 15°左右。光斑向外延伸到色球层便成为谱斑。

【临边昏暗】太阳圆面的亮度由日面中心向边缘逐渐变暗的现象。这是由于我们看到的太阳圆面是光球层在垂直于视线方向的投影，光球上不同深度处沿半径方向发出的辐射可以认为是相等的，我们只能沿径向方向观察太阳。辐射经过的光球层越厚，被吸收的能量也就越多。另一方面，在经过相同厚度的光球层的情况下，日面中心部分的辐射来自光球中最深的层次，越靠近日面边缘，发出辐射的层次越浅。在光球层中层次越深，辐射就越强。基于上面两个原因，便产生了临边昏暗。

【日面坐标】为了测定太阳黑子位置而建立的太阳表面球面坐标，从而成为测定日面特征现象位置的坐标系统。类似地理坐标的建立方法，以太阳自转轴与日面的交点为极，以过太阳中心垂直于太阳自转轴的平面与日面的相交大圆为日面赤道。由赤道沿经圈

向两极方向量度到目标的大圆弧叫日面纬度，用 L 表示，向北为正，向南为负。为了决定日面经度，也定一个本初子午圈，即以 1854 年 1 月 1 日格林尼治平时 12 时的日面赤道对黄道的升交点为本初子午圈经过的点，决定了零经圈。向西由 0° 量度到 360° 。这一量度方法由英国天文学家卡林顿提出。在实际测量中采用查表和网格测量法，可简化计算。

【谱斑】 太阳色球中的活动现象。用色球望远镜获得的太阳单色像上呈现的大片增亮区域，有时也可观测到一些暗黑的区域，前者称亮谱斑，后者称暗谱斑。另外，通常把 Ca II 的 H 线和 K 线观测到的谱斑称为钙谱斑，把由 H_α 线观测到的称氢谱斑。谱斑与光斑出现的位置基本一致，位于光斑上面，实际上是光斑在色球层中的延续。但光斑只能在日面边缘观测到，而谱斑在日面的大部分区域均可观测到。谱斑与黑子有密切的联系，多位于黑子群附近，一般比黑子早出现而晚消失。黑子多时，谱斑也较多、较大、较亮。谱斑的大小从几千公里到几十万公里不等，其形状、结构和亮度经常变化，寿命可长达几千太阳自转周期。

【色球】 太阳大气的中间一层，位于光球之上，日冕之下。呈玫瑰红色，辐射的光线很微弱，平时淹没在光球的光辉里，只有发生日全食时才能用肉眼直接看到。研究色球常用的仪器是色球望远镜，它可以得到太阳在 H_α 线和 Ca II 的 K 线、H 线处的单色像，在这些谱线附近色球的亮度超过光球，因而可以观测到。色球厚度约 2000 公里。如忽略它的不均匀性，按平均温度随高度的分布曲线可分为三层：白光球层顶部至约 400 公里的高处为低层，温度由 4600K 上升到 5500K；400—1600 公里处为中层，温度缓慢上

升至 8000K；1600—2000 公里处为高层，温度急剧上升到几万度。色球没有明显的边界，这反映了色球的不均匀性。在色球的照片上，与光球中的超米粒组织引起的网络相对应的位置上，也存在着网络结构，称色球网络。色球是一个充满了磁场的等离子体层，物质十分稀薄，平均密度约为 10^{-12} 克/厘米³。由于磁场的不稳定性，色球中常产生耀斑及与耀斑共生的爆发日珥、冲浪、喷焰等许多活动现象。

【针状物】又称日芒。宁静色球从网络区射向日冕的一种细长而明亮的喷射流。在色球单色像的边缘呈密集的齿状结构。平均宽度约 815 公里，视高度在极区约 9500 公里，在赤道附近约 7300 公里，真高度平均为 9800 公里。密度为 2×10^{-13} 克/厘米³，数目随高度的增加而减少。平均寿命约 5 分钟。针状物在中层色球开始形成，以 25 公里/秒的速度射向日冕，绝大部分在到达顶点后落回色球，少数留在日冕中，补偿了由于太阳风造成的日冕物质损失。用远紫外线还可观测到巨针状物，它们可达到 35000 公里的高度，能量是针状物的 100 倍。

【冲浪】又称日浪。太阳活动区内光球物质的一种抛射现象，可与耀斑或小亮点共生。它的实质是太阳活动区强磁场范围内高密度等离子体的抛射现象。由一簇精细的纤维（小于 1''）组成，纤维间距约几角秒，具有轮廓分明的边界，底部位于黑子中。冲浪爆炸区的线度从几百公里到 5000 公里，抛射物质总质量约 100—200 公里/秒的极大速度，抛射高度可达 1—2 万公里，最后落回太阳表面。具有明显的重复出现的趋势，一次冲浪结束后，又会触发新的冲浪，但极大速度和最大高度一次比一次小。

【细链】用色球谱线拍摄的太阳单色像中，一种与色球网络和光球米粒组织相连的精细结构物。在离 H_{α} 线心红端 α 埃处拍到的单色像中最为明显。由大小约 $0''.25$ 的亮点组成，在色球网络元集中的活动中心附近的下层最易发现，可以看成是色球亮网络向下层的延伸。

【喷焰】又称耀斑喷焰。耀斑区物质的高速抛射现象。运动方向多垂直于太阳表面，速度超过 610 公里/秒的色球逃逸速度，因而喷射物质将直接进入日地空间。由于速度很高，喷射剧烈，不象冲浪那样具有轮廓分明的界线，而呈碎片状。

【闪光光谱】色球层的发射光谱。在日全食食既和生光的瞬间，月球并未完全遮住太阳，露出很窄的一段弧形的色球层，这起到了天然狭缝的作用，此时摄得的色球光谱就是闪光光谱。闪光光谱的谱线呈弧形，有数万条，每条谱线实际上就是一个未被月面遮住的色球部分的单色像。分析闪光光谱可以获得有关色球的许多信息，如化学组成、元素丰度和它们随高度的分布等。

【日冕】太阳大气的最外层。可分为内冕和外冕两部分。内冕的范围包括从色球层顶部到离太阳表面 0.3 个太阳半径处；外冕位于内冕外侧，延伸到行星际空间，可达几个太阳半径，甚至更远。日冕由完全电离的等离子体组成，主要是质子、高度电离的离子和高速运动的电子，物质极为稀薄，只有地球高层大气密度的百万分之一，温度却高达几百万度，比下面的光球高得多。形状同太阳活动密切相关。太阳活动峰年大致呈圆形，并有很长的喷流射

向远方；太阳活动谷年则收缩变扁，在赤道区域向外突出。日冕的精细结构包括冕流和极羽、冕洞、日冕凝聚区等。其结构存在缓慢的变化。日冕的亮度仅为光球的百万分之一，平时地球大气的散射光会将日冕淹没；用肉眼无法见到。发生日全食时，光球被月面遮住，大气的散射光随之减弱，才能观测到日冕。1931年发明日冕仪后，使得平时观测日冕成为可能。但日冕仪也只能观测到内冕，随着航天技术的发展，还能将日冕仪送出地球大气外，彻底消除大气散射光的影响，实现了对整个日冕的可见光、紫外、远紫外和 X 射线波段的观测。

【冕流】比背景日冕明亮的延伸结构。其尺度在太阳活动峰年约为 1 个太阳半径，在太阳活动谷年可达 2 个太阳半径，宽度大于 0.1 个太阳半径。是由日冕磁场分布不均匀造成的。可分为两类：(1) 盔状冕流，形如钢盔，以 1 公里/秒的速度膨胀。(2) 活动区冕流，位于日面活动区，膨胀速度为 2—10 公里/秒。

【极羽】比背景日冕亮的羽毛状延伸结构，出现在日面的两极区域，宽度小于 0.05 个太阳半径，在太阳活动谷年最为明显。由于太阳存在偶极磁场，其磁力线作用于太阳极区日冕中的等离子体，因而形成了极羽。

【冕环】在日冕中不同高度处形成的或被激活的环状结构，由许多冕环组成的环系是太阳耀斑的基本结构，耀斑可通过环之间的相互作用而发生，在耀斑发生后仍可持续 10—20 小时。在 X 射线、可见光和射电波段都可观测到通过耀斑冕环的相互作用而释放能量的现象。

【冕洞】日冕中的一些辐射很弱，亮度比周围小得多的区域，在日冕的 X 线和远紫外线照片上清晰可见。由瑞士天文学家瓦尔德迈尔于 1950 年最先发现。可分为三类：（1）极区冕洞，位于两极区，常年都有；（2）孤立冕洞，位于低纬区，面积较小；（3）延伸冕洞，在日面沿南北方向延伸，面积较大。冕洞的寿命较长，一般为 5 个太阳自转周，多的可达 8—10 个自转周甚至一年。冕洞相对于日面基本不动，随太阳一起作等角速自转，它的密度和温度都比周围的日冕低。冕洞是太阳风的风源之一。

【M 区】冕洞的早期名称。意为神秘的区域。地球上的重现磁扰，存在 27 天的周期，恰与太阳赤道附近的自转周期相等。人们推测重现磁扰可能发源于太阳上的某个固定区域，名为“M 区”。空间观测证实重现磁扰是由高速太阳风引起的，而冕洞正是高速太阳风的风源，故 M 区就是冕洞。

【日冕凝聚区】日冕的内冕中电子密度比周围大的区域。是光球和色球中局部活动区在日冕中的延伸，其电子密度比周围大 2—10 倍，温度也较高。寿命约为几个月，有精细结构，成环状或亮节。X 射线和射电辐射都比周围的日冕区域强。

【色球—日冕过渡区】从光球之上约 2000 公里的高度向外延伸 1000 公里的区域。太阳大气的物理状态在这一层中发生了急剧变化，温度由约 10^4K 陡升到接近 10^6K ，电子密度则随高度的增加而大大减小。导致以上变化的原因仍不清楚。

【黑子】太阳光球上经常出没的暗黑斑点,是太阳活动的基本标志。温度比光球低约 1000°C — 2000°C ,因而在明亮的光球的反衬下显得黑暗。黑子是日面的磁场最强的区域,小黑子的磁场约 10^{-1} 特斯拉,大黑子的磁场可达 40^{-1} 特斯拉。磁场强度随时间变化,刚出现时磁场强度迅速增加,达到最大值,随后一段时间保持相对稳定,随着黑子的逝去,磁场也缓慢消失了。关于黑子低温的成因目前存在两种有代表性的解释。一种是德国天文学家比尔曼 20 世纪 40 年代提出的,他认为强磁场抑制了来自下面对流层中的能量的传入。但近年来大量的观测事实对这一理论越来越不利。70 年代,美国科学家帕克提出了另一种解释,他认为磁场大大促进了能量的传递,黑子强大的磁场把绝大部分热能转变为一种非热辐射的磁流体波,黑子对这种波非常透明,它沿磁力线传播时几乎没有损失,正是这种波把黑子的能量带跑了。黑子偶尔单个出现,但多为成对或成群出现,每个黑子群由几个到几十个黑子组成。黑子群一般有两个主要黑子,按太阳自转方向,位于西侧的称前导黑子,东侧的称后随黑子,前导黑子大都出现较早,消失较晚,面积也较大。典型的黑子由本影和半影组成,形状像一个线碟,本影比半影低约 500 公里。因此当黑子处于日面边缘时,本影看起来不是处在半影的中央,而是贴近靠日面中心的半影。黑子的形状各异,大小也相差很多,小的约 1000 公里,大的可达 20 万公里,大黑子内部有着复杂的精细结构。本影中存在着本影点和本影闪耀。本影点是本影中明亮的小斑点,亮度与光球相近,直径约 200 公里,寿命为几十分钟。一个中等大小的黑子往往同时存在着 20 几个本影点。本影闪耀出现在钙的单色像上,范围约 2000 公里,寿命一般不超过 1 分钟。半影中有一种半影波,产生于本影的边缘,以 20 公里/秒的速度向黑子以外奔驰。黑子的寿

命长短不一，短的只有几小时，长的可达一年多，平均为几天到几十天。数目明显的以 11 年为周期变化，称为太阳黑子周期。大黑子群的出现会对地球产生影响，发生磁暴、电磁层扰动和引发极光。太阳黑子在日面的分布主要表现为随纬度分布的不均匀性，这是 1858 年由卡林顿发现的。绝大多数黑子都分布在日面纬度 $\pm 45^\circ$ 范围内，不过在赤道两侧 $\pm 8^\circ$ 的范围内却很少有黑子。黑子主要出现在赤道两旁且平行于赤道的宽为 $15^\circ\text{—}20^\circ$ 的带状区域内。每个黑子周期开始时，黑子一般都出现在纬度约 $\pm 15^\circ$ 处，而在黑子周期快要结束时，黑子在 $\pm 8^\circ$ 处消失。以黑子群的平均日面纬度为纵坐标，以年份为横坐标，可以绘出黑子群随日面纬度的分布图，称为蝴蝶图，从蝴蝶图上还可看出黑子数有 11 年的变化周期。黑子除随纬度分布具有不均匀性外，东西方向的分布也不均匀，任何时候看到的日面东半边的黑子总比西半边多，这可能是由于太阳自转引起的视觉效应。

【本影】 发展完全的黑子中的暗核。直径约为包围着它的半影的 40%，温度约 4200K，总辐射强度约为对应光球的 25%。本影有很强的磁场，强度通常为 $10^{-1}\text{—}40^{-1}$ 特斯拉，面积越大，磁场越强，磁场的方向大致呈径向。本影内物质分布不均匀，因而存在精细结构。在成熟的黑子的本影内，常会出现一条明亮的光桥，它可以将整个黑子一分为二，光桥的出现是黑子走向衰亡的标志，它往往沿光桥分裂开，然后便逐渐消亡了。

【半影】 围绕着黑子本影的较亮的边框，由许多径向的纤维组成，结构复杂的半影呈漩涡结构，是本影和光球之间的过渡区。温度约为 5680K，总辐射强度是对应光球的 75%。半影内部的磁场强

度随着与黑子中心距离的增加而迅速降低。

【埃费希德效应】黑子半影里的吸收线由于多普勒效应造成的谱线轮廓不对称的现象。1909年由英国太阳物理学家埃费希德发现，故名。谱线的位移对应于1—3公里/秒的径向速度，埃费希德效应说明在黑子内部（主要是半影）有物质从本影沿磁力线外流，而上层则有物质流入。

【黑子相对数】表征太阳黑子活动程度的一种指数。最先由瑞士苏黎士天文学家沃尔夫于1949年提出，所以也称“沃尔夫数”或“沃尔夫相树数”。以 g 表示观测到的黑子群数， f 表示观测到单个黑子总数，则黑子相对数 $R=K(10g+f)$ ，式中 K 为换算因子，可看作一种权重。沃尔夫自己取 K 值为1，视天气情况、使用仪器、观测技术的不同并与苏黎士天文台观测结果比对而得 K 的值。现今每天的沃尔夫数可由日本东京天文台出版的《太阳活动季刊》上查取，我国的观测结果刊于北京天文台出版的《太阳地球物理资料》上。沃尔夫数有大约八年变化周期。

【黑子周期】太阳黑子活动所具有的周期性。1843年，德国人施瓦贝首先发现黑子出现的数目有约为10年的变化周期，1848年，瑞士天文学家R. 沃尔夫进一步确定了周期平均长度为11.1年，即太阳黑子的11年周期。国际统一规定，以1755年开始的11年周期作为第一号，以后各周期的顺序依次排列。随着对太阳活动研究的深入，又发现了一些其他的太阳黑子周期，如22年周期、80年周期等。

【蒙德极小期】公元 1645—1715 年太阳活动非常微弱的时期。1843 年，德国天文学家斯波勒首先发现这一现象，1894 年英国天文学家蒙德将其称为“延长极小期”。1976 年埃迪综合了欧洲的极光记录、东方肉眼所见的黑子记录、树木年轮与 ^{14}C 测年的结果、早期的日冕记录等，认为 1645—1715 年间太阳活动确实异常微弱，甚至可以说是停止了，并将其称为“蒙德极小期”。他还进一步指出，从更大的时间尺度上看来，近 200 年人们所见到的 11 年的黑子周期可能仅仅是一种暂时现象。目前有越来越多的证据证明蒙德极小期确实存在。

【日珥】升腾在日面边缘的一种太阳活动现象。数目的多少与太阳活动的强弱有关。比光球暗弱得多，平时被地球大气散射的太阳光淹没，只有在日全食时或使用太阳分光仪等仪器才能观测到。主要存在于日冕之中，但下部常与色球相连，密度比周围的日冕大 10^3 — 10^4 倍，温度约 7000K。日珥有各种各样的形状和运动特征，大体上可分为四类：（1）宁静日珥，变化缓慢，寿命较长，可达数目，并与黑子的存在有关，黑子多时，它也多一些；（2）活动日珥，由宁静日珥变化而来，运动速度较快，但低于太阳表面逃逸速度，因此多为环形，抛出的物质最终仍落回日面；（3）爆发日珥，活动最激烈的一种，有时运动速度可超过太阳表面逃逸速度，达 1000 公里/秒，甚至更高，高度可达上百万公里，厚达 2 万公里；（4）冕形日珥，貌似浮云，是一种比较特殊的日珥。典型的日珥长约 20 万公里，高约 3 万公里，厚约 0.5 万公里，内部有很复杂的精细结构，并有自己的磁场，磁场从几高斯到 0.02 特斯拉不等，正是磁场的隔热作用使得它能够存在于 100 多万度的日冕之中。日珥在日面不同纬度处都有可能出现，但主要分布于低

纬区，低纬区的日珥分布与黑子分布相似，随 11 年的太阳活动周期不断漂移。高纬区的日珥并不漂移，主要存在于 45° — 50° 范围内。

【暗条】太阳单色光圆面像上暗黑而窄长弯曲的结构。实际上是日珥在单色像上的投影，在色球望远镜里或者在日全食的时候，日珥边缘呈火焰等形状的日珥并非只出现在日面边缘，在色球上出现暗条正是其它区域日珥的投影。低纬度暗条常出现在太阳黑子区域，随太阳活动周期向高纬度区域漂移，但高纬度区的暗条不漂移。大的暗条长度可达百万千米，寿命可持续十几个月。

【耀斑】又称色球爆发。日面局部区域释放的能量急剧增加的现象。在可见光波段，耀斑的辐射主要集中在氢的 $H\alpha$ 线和电离钙的 H、K 线上，所以研究耀斑最常用的是氢和钙的单色光仪器，一般情况下用白光是观测不到的。面积超过 3 亿平方公里的称为“耀斑”，不足 3 亿平方公里的称为“亚耀斑”。耀斑分为 4 级，分别以 1、2、3、4 表示，在级别后面加上 f、n、b 分别表示亮度是弱的、普通的或强的。故最大最亮的耀斑为 4b，最小最暗的是 1f。耀斑与太阳黑子关系密切，常出现在大黑子或黑子群附近。寿命从几分钟到几小时不等，爆发过程中可见光、紫外线、X 射线、 α 射线、红外线和射电辐射都迅速增强，释放的总能量高达 10^{23} — 10^{26} 焦耳。接近太阳平时 1 秒钟辐射的总能量 (3.9×10^{26} 焦耳)。还要抛射出大量的高能粒子流和宇宙射线，这些射线会危及宇航员的生命安全和空间设备的正常运转，并可以在地球上引发磁暴、极光和短波通讯中断等地球物理效应。

【色球爆发】见“耀斑”。

【白光耀斑】某些大耀斑中用白光可见的小片增量区域，是一种剧烈的太阳活动现象。绝大多数耀斑要通过 H_{α} 线和电离钙的 H 线和 K 线才能观测到，白光耀斑十分罕见，只记录到几十次，持续时间仅几分钟。一般认为白光是由色球和日冕的耀斑区中的高能粒子流进入低层大气并与光球的稠密气体碰撞而产生的。

【太阳质子事件】太阳上出现大耀斑时，常发出大量高能带电粒子（即太阳宇宙线），到达地球的数量可以测出并能引起强烈的地球物理效应的现象。与高能粒子共生的耀斑称质子耀斑。由于日地空间的磁场具有扇形结构，因此并非所有的质子耀斑都能引发太阳质子事件。太阳宇宙线中绝大部分是质子，其次是 α 粒子，单个粒子的能量在 10^7 — 10^{10} 电子伏特之间。能量大于 5×10^8 电子伏特的称相对论性事件。太阳质子事件对空间飞行有很大危害。

【太阳电子事件】太阳出现耀斑时发射高能电子的现象。于 1964 年由行星际探测器“水手”4 号首次探测到。电子能量一般在 40 千电子伏以上，绝大多数为非相对论性电子，90% 以上的电子事件与耀斑明显对应。在空间探测中，常有观测到电子流却观测不到质子成分的情况，称纯电子事件。它与一般电子事件的差别在于电子流的强度，后者的强度较大。

【莫尔顿波】太阳耀斑爆发期间由耀斑区产生的一种强激波。因莫尔顿于 1960 年最先发现而得名，也可称耀斑波。这种波发生于耀斑的爆发相（也称脉冲相），激波以 1000km/秒的速度由色球向外

传播，激波波前的摆动横穿色球。据研究认为它起因于磁流体动力学快模式振动，并在日冕中很快膨胀，可触与射电Ⅱ型爆发振动的起因相同。

【太阳磁场】分布于太阳和行星际空间的磁场，一般根据磁场中光谱线分裂的塞曼效应来测量。太阳磁场与太阳的物态、运动、演化和太阳活动都有密切的关系。太阳活动区是日面的强磁场区，磁场强度从几高斯到几千高斯不等。黑子的低温、耀斑能释放出巨大的能量及日珥、暗条能长期存在于温度高得多的日冕之中，这些都与磁场的作用息息相关。除太阳活动区外、日面宁静区也有微弱的磁场。总的来说，太阳具有与地球相似的普遍磁场。由于在极区的日面较稳定，所以普遍磁场比较显著。如果让太阳光不成像直接进入磁像仪，可测得日面各处混合而成的整体磁场。这种磁场在每个太阳自转周内强度和极性有规律的变化两次。太阳风可将太阳磁场带行星际空间，由于太阳的自转和日面上相邻磁区的极性相反，使得行星际空间的磁场呈扇形结构，随着与太阳距离的增加，磁场强度越来越弱，在地球轨道附近，强度不足万分之一高斯。但由于行星际空间的物质极其稀薄，所以这样弱的磁场也能对物质的运动产生支配作用。

【太阳活动预报】对太阳活动及可能造成的地球物理效应的预报。一般分为短期预报（提前几天）、中期预报（半个月至几个月）、长期预报（一年以上）及提前几分钟至几小时的警报。做得最成功的是短期预报，特别是未来24小时内的预报，主要预报耀斑及其引起的电离层骚扰和高能粒子流的到来。太阳活动预报需要完整的太阳和地球物理数据，必须进行国际合作。太阳活动预报对于

无线电通信、宇宙航行、空间研究以及水文、气象、地震等的研究都有重要意义。

【太阳自转】太阳绕轴自旋的运动，与地球自转方向相同。由于太阳是一个炙热的气体球，其自转与地球等天体有很大的差别，其自转速度随日面纬度的变化而改变，赤道区自转最快，纬度愈高自转速度愈慢。通常取日面纬度为 17° 处的自转速度为太阳自转的恒星周期，为 25.38 日；此处相对于地球的自转周期称为太阳自转的会合周期，为 27.275 日。在观测太阳黑子时使用后者为依据。

【太阳巡视】对于耀斑为主的太阳活动现象的连续监视，需要国际合作。截止 1990 年为国际天文学联合会出版的《太阳活动季刊》提供耀斑数据的太阳巡视台站，进行光学观测的有 30 多个，进行射电观测的有 40 多个，巡视时间几乎达到了 24 小时完全覆盖。

【太阳单色像】由选定的某一波长处的狭窄波段 $\Delta\lambda$ 内的单色辐射所成的太阳像，它能反映出太阳大气中形成该单色辐射的那一层气体的状态。早期利用太阳色谱仪使太阳像与底片同步移动进行全日面扫描来获得太阳单色像。双折射滤光器发明后，利用装有双折射滤光器的色球望远镜可同时获得整个日面的单色像。常用的太阳单色像有：氢的 $H\alpha$ 单色像（6563 埃），电离钙的 H 线和 K 线单色像（波长分别为 3968 埃和 3934 埃），氦单色像（3883 埃），中性氢的 10830 埃和电离氢的 304 埃单色像，3835 埃单色像，日冕的 5303 埃和 6374 埃单色像等。

【宁静太阳】指太阳大气中没有（或很少）出现耀斑、黑子、谱斑、日珥等激烈的太阳活动的状态。此时可将太阳看成静态的、对称的炽热气体球。实际上宁静太阳的大气也是在不断运动和变化的，只是规模和速度比存在激烈活动时小很多。

【负氢离子吸收】一个中性氢原子与一个额外的电子在氢核引力场作用下组成的松弛体系叫负氢离子。恒星大气中的负氢离子在某些情况下对辐射产生连续吸收，例如光谱型晚于 A5 型的恒星，负氢离子的吸收是恒星大气不透明度的主要原因。中性氢原子核外只有一个电子，它不能完全屏蔽氢原子核的电场，致使其它自由电子与其结合成负氢离子，通常以 H^- 表示。这种过程在恒星大气中形成大量负氢离子。

【太阳活动】太阳大气里一切活动现象的总称。主要包括太阳黑子、光斑、谱斑、耀斑、日珥和太阳射电变化等。它们是由太阳大气中的电磁过程引起的。太阳活动的强弱以 11 年为周期变化。当活动强烈时，太阳紫外辐射、X 射线、高能粒子辐射等显著增强，在地球上引起极光、磁暴和电离层扰动等现象。

【太阳综合图】由每天观测到的太阳图综合成一个太阳自转圈内的太阳活动特征图。每日太阳图上绘制了当天观测到的许多太阳活动特征，例如太阳黑子、光斑、谱斑、日珥和暗条、冲浪、日冕等，一般来说是收集多个天文台观测资料绘制的。有许多国家的天文台如法国墨东天文台、俄罗斯普尔科沃天文台、美国博尔德天文台等，均发布每天的太阳图。综合一个太阳自转周内的太阳图资料，可绘制出不同种类的太阳综合图。如 $H\alpha$ 综合图，太阳磁

场综合图等。

【国际太阳联合观测】20 世纪 50 年代中后期和 60 年代初期,国际上相继组织了两次大规模的太阳联合观测,共同研究太阳活动和日地关系。第一次称作国际地球物理年计划,后一个称国际宁静太阳年。国际联合观测可以克服地理位置和天气状况以及观测仪器的限制。随着空间太阳观测的开展,国际太阳联合观测转向新的研究目标,如 GONG 计划就是以美国为主的全球太阳振荡观测网,以研究和发现太阳长周期振荡。国际科联为进一步研究日地关系,组织了 90 年代大规模国际合作——国际日地能量计划。并发射一系列太阳观测卫星与地面观测计划相配合。

【太阳常数】在地球大气外距太阳一个天文单位处,垂直于太阳光束方向每平方厘米面积上在 1 分钟内接收到的所有波长的太阳总辐射能量。其数值约为 $8.25 \text{ 焦耳}/(\text{厘米}^2 \cdot \text{分钟})$ 。由于太阳的周期性活动,这一数值可能存在不足 1% 的微小变化。

【日地关系】又称日地物理学。研究太阳活动产生的太阳短波辐射和粒子流对地磁场、电离层的影响及太阳辐射、太阳活动和气候变化之间的关系。由于太阳紫外线、X 射线和粒子辐射的作用,造成了距地面 80—500 公里范围内的地球大气分子全部或部分电离。太阳活动增强时会使地球大气进一步电离,造成离子浓度增高、电波吸收增强。引起地面短波通讯中断。太阳活动增强还会引起磁暴。来自冕洞的高速太阳风会造成以 27 天为周期的地磁扰动。另外,太阳辐射和太阳活动随时间的变化还会引起地球上的气候变化。

【太阳风】从日冕层向行星际空间抛出的高温高速的稳定的粒子流。由于日冕具有 100 万 K 以上的高温，作用于日冕气体上的引力不能平衡压力差，因此日冕中无法维持流体静力平衡，而是稳定地向外膨胀，日冕中的物质不断流向行星际空间，便形成太阳风。它由等量的电子和阳离子组成，阳离子主要是质子和 α 粒子，分别占 91.3% 和 8.6%，其他较重的元素约占 0.1%。太阳风中夹带着磁场，由于太阳的自转，太阳风中的粒子流和磁场均呈扇形结构。在地球轨道附近太阳风的数据为：速度 300—1000 公里/秒，质子温度 $4 \times 10^4 \text{K}$ ，质子密度 8 个/厘米³，磁场强度 5×10^{-9} 特斯拉。

行星 · 卫星 · 彗星

【行星】在偏心率不大的椭圆轨道上环绕太阳运行的、近似球形的天体。行星本身不发光，靠反射太阳光而发亮。太阳系内有九大行星，按距离太阳远近依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。行星在恒星背景上有明显的相对运动，而且总是在黄道附近运行，行星存在一定的视圆面，在大气抖动下，不象点状的恒星那样闪烁不定。通过望远镜还可以发现水星和金星有类似月亮的位相变化。九大行星中人类最先认识的是水星、金星、火星、木星和土星。中国早在战国时期就有了“五星”的说法，五星分别称为辰星、太白、荧惑、岁星、镇星

(或填星)。地球是行星中的普通一员，但人类认识到这一点是在 16 世纪中叶、哥白尼提出日心说之后。太阳系的另外三颗行星是在发明望远镜、建立开普勒定律和牛顿万有引力定律以后发现的。1781 年发现了天王星。1846 年发现海王星。距离太阳最远的冥王星是 1930 年发现的。另外，太阳系内还存在众多质量较小的行星——小行星，它们主要集中在火星和木星的轨道之间。除太阳外，其他恒星也可能有自己的行星，广义上说，凡是环绕恒星运动的，质量未达到能产生热核反应的主序星质量下限的近似球形的天体都可称为行星。

【太阳系外行星系】围绕其他恒星运转的行星系统。根据恒星起源理论，恒星周围存在气体或尘埃是一种普遍现象，这些气体或尘埃在一定条件下有可能演化为行星、卫星等固态天体。据推算，在银河系内数以 10^{11} 计的成员星中，伴有气体或尘埃的恒星不少于 10^8 个，能演化成行星的也应有 10^6 个。经典的探测方法是选择一批近距离的太阳型恒星，精确测量它们的空间运动，考察是否存在由于行星的引力作用产生的摆动，经过长期努力，发现了一小批可能带有行星或行星系的候选恒星。由于质量小于木星的行星根本不发光或者只发出微弱的红外或射电辐射，难以用光学望远镜加以检证，因而经多年探测始终未得到可靠的结论。

【水星】距离太阳最近的行星。中国古代称为辰星。最亮时目视星等为 -1.9 等，与太阳角距最大不超过 28° ，由于它离太阳很近，经常淹没在太阳的光辉里，只有在大距前后才能观测到。至今尚未发现有卫星。水星的轨道倾角为 7° ，是除冥王星外轨道倾角最大的行星。公转的平均速度为 47.89 公里/秒，是太阳系中运动速度

最快的行星，轨道半长径约 5790 万公里，偏心率较大，为 0.206，仅次于冥王星。公转周期为 87.969 日，会合周期为 115.88 日，自转周期为 58.646 日，恰为公转周期的 $\frac{2}{3}$ 。19 世纪中叶发现水星的近日点进动每百年为 5601″，用经典力学只能解释 5558″，余 43″无法解释，即“水星近日点进动问题”。有人提出是由尚未发现的“水内行星”引起的，并计算出“水内行星”的轨道，但多次利用日全食进行观测都未发现。直至 1915 年，爱因斯坦建立了广义相对论后，才得以解决。水星的赤道半径约 2440 公里，是地球的 38.3%，体积是地球的 5.6%，质量为 3.33×10^{26} 克，也是地球的 5.6%，平均密度为 5.46 克/厘米³，仅次于地球，表面重力加速度为 373 厘米/秒²。反照率为 0.06，色指数为 +0.91，都比月球的略小。水星的表面很象月球，有很多大小不一的环形山及平原、裂谷、盆地等。水星有极稀薄的大气，气压小于 2×10^{-9} 百帕，由氦、氢、氧、碳、氙、氟、氫等元素组成。由于大气非常稀薄，所以昼夜温差很大，白天温度高达 700K，而夜间可降到 100K。水星有偶极磁场，赤道上磁场强度为 4×10^{-7} 特斯拉，两极为 7×10^{-7} 特斯拉。

【金星】太阳系九大行星之一，按距离太阳由远到近的顺序排列第二。中国古代称“太白星”，为除日、月之外全天最亮的星，最亮时达 -4.4 等。由于金星位于地球轨道内侧，所以总是出现在太阳附近，它与太阳的角距不大于 48°，当位于太阳西方时为晨星，位于太阳东方时为昏星，古代的人为它们分别命名，称晨星为“启明”，称昏星为“长庚”。至今尚未发现金星有卫星。金星的公转轨道是一个很接近正圆的椭圆，偏心率仅 0.007，轨道倾角为 3°

.4。与太阳的平均距离为 0.723 天文单位，平均轨道速度约 35 公里/秒，公转周期 224.7 日。金星与地球间的距离变化相当大，最近时仅 4×10^7 公里，此时视直径为 $61''$ ；最远时可达 2.57×10^8 公里，视直径仅 $10''$ 。金星是太阳系内唯一逆向自转的大行星，也就是说，在金星上太阳是西升东落的。金星的自转非常缓慢，周期为 243 日，比它的公转周期还要长。金星上的一昼夜相当于 117 个地球日。金星的大小、质量、密度与地球都很接近，其半径约 6050 公里，是地球赤道半径的 95%；质量为 4.87×10^{27} 克，是地球的 81.5%；平均密度约为地球的 95%。金星有一层非常浓密的大气，表面气压相当于地球的 90 倍，主要由二氧化碳组成，占 97% 以上，此外还有少量的氮、氩、一氧化碳、水蒸汽，氯化氢和氟化氢等。金星大气中还存在着频繁的放电现象。由于有浓密的大气保护，金星表面较为平坦，环形山的数目很少，有一些不太高的山或山脉。金星表面不存在任何液态水，由于严酷的自然条件，是不可能存在生命的。金星没有磁场和辐射带，太阳风、紫外线和 X 射线可以长趋直入，直达大气深处，在离表面附近的地方形成薄薄的电离层。

由于行星大气中的二氧化碳和水汽可以让可见光和紫外线顺利通过，对于红外线却相当于不透明。太阳辐射的可见光和紫外线可以穿过它们加热行星表面，而行星向外辐射的热能（主要是红外线）却被吸收和阻挡，最终又返回到行星表面，这样，行星的表面温度会不断升高，要在较高的温度下才能达到热平衡。金星大气非常浓厚，而且 97% 以上是二氧化碳，因此温室效应非常强烈，表面温度达 480°C 左右，而且基本上无地区、昼夜季节的差别。

【地球】太阳系九大行星之一，按距离太阳由近及远的次序为第三颗。月球是它唯一的一颗天然卫星，二者组成一个天体系统——地月系统。地球由西向东自转，同时围绕太阳公转。自转周期为 23 小时 56 分 4 秒平太阳时，公转周期为 1 恒星年。地球的公转轨道是椭圆形的，偏心率很小，为 0.0167。公转轨道半长径为 149597870 公里（这个长度被定义为 1 天文单位），公转的平均速度为 29.79 公里/秒，公转轨道面与赤道面的交角（黄赤交角）为 $23^{\circ}26'$ （历元 2000.0 年）由于地球的自转和公转，产生了昼夜、四季、五带（热带、南、北温带，南、北寒带）的区分。地球的自转速度是不均匀的。同时，由于日、月、行星的引力作用及大气、海洋和地球内部物质的作用，使地球自转轴在空间和地球本体内的方向都要发生变化。地球的质量为 5.976×10^{27} 克，平均密度为 5.52 克/厘米³，是平均密度最高的大行星。

【磁暴】太阳活动造成的地球磁场的急剧变动。如变化不大则称作磁扰。磁暴平均每年发生 10 次左右，它可分为两种，一种是急始磁暴，地磁水平强度突然增加，几小时后又迅速下降，几天后恢复正常。另一种是缓始磁暴，它在开始时变化较为缓慢。现在一般认为磁暴起因于太阳风能量的突然增加。磁暴发生时常伴有极光，还会使无线电通信受到干扰，严重时能使短波通信中断。

【极光】常出现于靠近地磁极区上空大气中的彩色发光现象。多呈带状、弧状、幕状或放射状。这些形状有时稳定有时作连续变化。极光是由来自太阳活动区的高能带粒子流引起的，因此同太阳活动密切相关。太阳活动越剧烈，极光出现的次数越多，也越亮。白天，许多高能粒子使高层大气的分子或原子激发或电离，到了夜

间，离子又复合成原子，并释放白昼所获得的能量，从而形成了美丽的极光。由于高能粒子受地球磁场的作用常转向极区，所以极光多在高磁纬地区出现。

【地球的磁层和辐射带】被太阳风包围的，呈彗星状的地球磁场区域。地球的磁场受太阳风的影响，原来偶极场的分布被破坏，其磁力线都向后弯曲变形，面向太阳的方向形成一个大包层，背向太阳的方向则拉得很长，形成了长长的磁尾，在磁层之外没有磁力线。地球磁层开始于地表上空 600—1000 公里处，向空间延伸到 3—7 万公里，磁尾的长度可达几千万公里。地球的辐射带又称范爱伦带。是地磁场俘获的带电粒子带，辐射带内的带电粒子是太阳风、宇宙线与地球高层大气相互作用而产生的高能粒子，它们在地磁场的作用下，沿磁力线作螺旋运动并不断辐射出电磁波。地球辐射带存在于地球磁层内，但高磁纬地区和南北磁极上空不存在辐射带。地球辐射带分内、外两层，内层高度在 1—2 个地球半径，范围限于磁纬 $\pm 40^\circ$ 之间，东西半球不对称，但比较稳定。外层在 3—4 个地球半径之间，厚约 6000 公里，可延伸到地磁纬度 50° — 60° 处，外带较稀薄，带电粒子的能量比内带小。

【火星】太阳系九大行星之一，按距离太阳由近到远的顺序排列第四。中国古代称荧惑。火星外观呈火红色，亮度变化明显，视星等在 +1.5 等到 -2.9 等之间。卫星两颗，由霍耳在 1877 年火星大冲时发现。火星公转轨道椭圆形，轨道面与黄道面的交角为 1.9° ，轨道半长径约为 1.524 天文单位，轨道偏心率为 0.093。由于偏心率较大，火星的近日距和远日距相差 4200 万公里，因此火星冲日时与地球的距离有较大的变化。火星的公转周期为 686.980

日，平均轨道速度为 24.13 公里/秒。火星自转周期为 24 小时 37 分 22.6 秒，赤道面与公转轨道面的交角为 $23^{\circ}59'$ （比地球稍大），因此火星上也有明显的四季变化。火星赤道半径为 3395 公里，是地球的 53%，体积为地球的 15%，质量为 6.421×10^{26} 克，为地球的 10.8%，平均密度为 3.96 克/厘米³，表面重力加速度为地球的 38%。火星大气比地球大气稀薄得多，主要成分是二氧化碳（95%）、氮（3%）、氩（1—2%），水汽和氧的含量极少。火星表面大气压为 7.5 毫巴，相当于地球上 30—40 公里高空的大气压。尘暴是火星大气中独有的现象，小规模尘暴经常出现。每个火星年还会发生一次席卷全球的大尘暴。火星表面的大部分地区被红色的硅酸盐、赤铁矿等铁的氧化物及其他金属化合物覆盖，因而显出明亮的橙红色。火星表面的温度比地球低 30℃ 以上，昼夜温差常超过 100℃。在火星赤道附近，最高温度为 20℃ 左右，两极地区的最低温度可达 -139℃。火星表面有众多的环形山、火山和峡谷。北半球主要为巨大的火山溶岩平原和一些死火山；南半球到处崎岖不平，环形山星罗棋布。火星上不存在液态水，但有几千条干涸的河床，最长的约 1500 公里，宽 60 公里，这说明以前火星上可能有过大量的液态水。火星两极地区被白色极冠覆盖。极冠是火星表面最显著的标志，它的大小随季节变化，处于夏天的半球极冠的范围不大，而处于冬天的半球极冠可延伸到纬度 60° 处。极冠由冰和固态二氧化碳（干冰）组成，温度在 -70℃ 到 -139℃ 之间，由于二氧化碳随温度的变化不断的汽化和凝结，使得极冠的大小不断变化。极冠中大约保存有大气中 20% 的二氧化碳，水的含量比大气中多得多，如果极冠中的冰全部融化成液态水，可以在火星表面形成一个 10 米厚的水层。极冠于 17 世纪由荷兰物理学家惠更斯发现。火星在许多方面都与地球相近，有被

大气包围着的固体表面，有四季的交替和季节的变化，它的极冠夏天缩小，冬天扩大，像是冰雪的消融和冻结，火星表面的颜色也随季节发生变化，像是植物的生长和凋零，19 世纪末，观测到火星上面有“运河”。因此火星上是否有生命，甚至是否有象人一样的高级生命成了人们非常感兴趣的问题。20 世纪 60 年代，火星探测器发回的资料证明所谓“火星运河”是人眼的错觉造成的，它们实际并不存在。火星表面颜色随季节的变化是一种纯粹的气象现象，火星表面是一个极为荒凉的世界，没有液态水，大气极为稀薄，而且十分寒冷，是不适于生命存在的。1976 年，“海盗”1 号、2 号探测器在事先选定的火星上最有希望存在生命的地区软着陆，采集了土样，土样在实验过程中发生了某种变化，但无法确定这种变化是由微生物的新陈代谢引起的，还是土壤中某种化学过程的结果。因此，现在还不能完全排除火星上存在低级生物的可能性。

【木星】太阳系九大行星中最大的一颗，按离太阳由近及远的次序为第五颗。中国古代就认识到木星约 12 年运行一周天，而把周天分成十二份，称十二次，木星每年行经一次，用木星所在的星次可以纪年，因此木星被称为岁星。是天空中的第三亮星，最亮时达 -2.4 等，只有金星和冲日时的火星比它亮。木星有众多的卫星，截止到 1990 年，已发现 16 颗。1979 年，行星际探测器“旅行者”1 号还发现木星有一个很暗的光环。木星在椭圆轨道上绕太阳运行，轨道半长径为 5.205 天文单位，偏心率为 0.048，它在近日点同太阳的距离比远日点近约 0.5 天文单位。木星的轨道面与黄道面的交角很小，只有 $1^{\circ}.3$ 。木星绕太阳公转的周期为 4332.589 天，约合 11.86 年，平均轨道速度为 13.06 公里/秒。木

星是太阳系内自转最快的行星，赤道上自转周期仅 9 小时 50 分 30 秒，两极地区的自转稍慢。由于高速自转，使得它的扁率相当大，达 0.0648。木星的自转轴几乎是垂直于公转轨道面的，二者的交角达 $86^{\circ}55'$ 。木星的赤道半径为 71400 公里，是地球的 11.2 倍，体积是地球的 1316 倍；质量为 1.9×10^{30} 克，比地球的质量大 300 多倍，是其他 8 大行星总质量的 2.5 倍，平均密度只有 1.33 克/厘米³，赤道上的重力加速度为 27.07 米/秒²，两极为 23.22 米/秒²。木星有着浓密的大气，主要成份是氢和氦，还含有少量的氨、甲烷和水。用望远镜观测木星，可以看到大气中有一系列与赤道平行的明暗交替的云带，云带的形状随时间不断变化。这表明木星大气中存在着激烈的运动。木星表面的温度很低，根据理论计算，它表面的有效温度应为 105K，但地面观测和行星际探测器测得的结果均高于理论值，对木星的红外观测也表明，木星辐射的热能为它接收到的太阳热能的两倍，这说明木星内部存在着热源。木星还有着比地球更大更强的磁层和辐射带。木星磁层比地球磁层大 100 倍。它可分为三个区域。内区（离木星表面 20 个木星半径的范围内）具有与地球辐射带相近的强辐射带；中介区（从 20 个木星半径到 100 个木星半径）的磁力线被离心力歪曲。内区和中介区都按约 10 小时的自转周期转动。外区（60—90 个木星半径范围内）的磁场很弱，到磁层边界处已趋于零。除很靠近木星表面的部分外，木星的磁场是偶极场，但场的方向与地磁场相反，即地球上指北的罗盘到木星上变为指南。木星的磁轴与自转轴间的交角为 $10^{\circ}.8$ 。离木星 3 个木星半径以内的磁场是 4 极或 8 极的，场强为 $3—11 \times 10^{-4}$ 特斯拉。木星表面大红斑，位于赤道南侧，长达 2 万多公里，宽约 1.1 万公里，略呈蛋形。发现于 1660 年，300 多年来尽管它的颜色和亮度不断变化，但形状和大小几乎没有变，

大红斑沿逆时针方向绕中心转动,而且在经度方向上有漂移运动,因而肯定不是固体的表面特征。现在认为它很可能是一个大旋涡,或者说它是一团激烈上升的气流。旋涡或气流中含有红磷化合物,大红斑的颜色可能是因此产生的。至于大红斑能长期存在的原因,目前尚不清楚。

【土星】太阳系九大行星之一,按离太阳由近及远的次序为第六颗。中国古代称填星或镇星。1781 年发现天王星之前,土星一直被认为是离太阳最远的行星。土星有较多的卫星,截止 1990 年已发现了 23 颗,它还有易见的光环。土星绕太阳公转的轨道是偏心率为 0.055 的椭圆,轨道半长径为 9.576 天文单位,即约为 14 亿公里,它同太阳的距离在近日点时和在远日点时相差约 1 天文单位。公转轨道面与黄道面的交角为 $2^{\circ}.5$ 。公转周期为 10759.2 天,即约 29.5 年。平均轨道速度为每秒 9.64 公里,自转很快,自转角速度随纬度变化,赤道上自转周期是 10 小时 14 分,纬度 60° 处为 10 小时 40 分,高速的自转使土星呈明显的扁球形,极半径只有赤道半径的 91.2%,土星的赤道面与轨道面的交角为 $26^{\circ}44'$ 。土星的赤道半径为 60000 公里,是地球的 9.41 倍,体积是地球的 745 倍。质量为 5.688×10^{29} 克,是地球的 95.18 倍。在九大行星中,土星的大小和质量仅次于木星,居第二位。平均密度只有 0.70 克/厘米³,比水还低。由于土星的大半径和低密度,它表面的重力加速度与地球表面相近。土星的大气以氢、氦为主,并含有甲烷和其他气体。大气中飘浮着由稠密的氨晶体组成的云,有彩色的亮带和暗纹,但比木星大气中的云带规则。土星表面温度约为 -140°C ,云顶温度为 -170°C 。行星探测器“先驱者”11 号发现土星上有一个由电离氢构成的电离层,电离层温度约为 977°C 。土星

也有磁场和辐射带。磁场的范围比地球磁场大上千倍，但比木星磁场小。土星的磁轴不偏离它的旋转轴。辐射带远比地球辐射带的强度小。

【天王星】太阳系九大行星之一，按距离太阳由近到远的次序排在第七位。1978年由英国天文学家赫歇尔发现。从地球上看到天王星亮度最大时可达5.7等，在望远镜中是一个蓝绿色的小光斑，辨认不出细节。1986年1月24日，“旅行者”2号行星探测器飞到天王星近旁，发回了大量有关天王星的信息。天王星绕太阳公转的轨道半长径约 2.9×10^9 公里，轨道偏心率约为0.05，轨道倾角只有 $0^\circ.8$ 。绕太阳公转的平均速度为6.81公里/秒，公转周期为84.01年。赤道面与公转轨道面的倾角达 $97^\circ 55'$ ，几乎是“横躺”，这使得它上面的四季变化和昼夜交替十分奇特。在一个半球是夏季，它的极点几乎直对着太阳，而另一个半球则完全处于黑暗的冬季之中。“旅行者”2号测得的天王星的自转周期为17.24小时。天王星的赤道半径约25400公里，体积在九大行星中仅次于木星和土星居第三位。密度较小，只有1.19克/厘米³。表面覆盖着浓厚的大气，由于距太阳较远，接收到的太阳辐射很少，所以表面温度很低，地面观测表明，在天王星高层大气中气压相当于0.4个地球大气压处，温度仅为 -214°C 。天王星大气主要由氢和氦组成。大气下面是深达8000多公里温度高达几千度的汪洋大海，由于巨大的大气压力的作用才没有使海洋沸腾。天王星也具有磁场和磁层结构，磁层在朝向太阳的一面至少延伸到590000公里的高度，磁尾长约600万公里。磁层中主要是由质子和电子构成的等离子体，天王星的磁场强度约为地球的1/10，为 0.05×10^{-4} 特斯拉左右，磁轴与自转轴的夹角高达 55° 。截止1991年发现的天王星卫

星有 15 个，天王星还有结构复杂的光环，它由至少 20 个亮环组成，亮环之间还夹杂着很多暗环。

【海王星】太阳系九大行星之一，按距太阳由近到远的次序排第八位。1781 年发现天王星后，人们发现天王星的运动总与实际的观测值有微小的差别。多数天文学家认为这种差别是由天王星轨道外的一颗大行星的摄动造成的。1846 年，法国人勒威耶计算出这颗大行星的位置，并通知柏林天文台。1846 年 9 月 18 日，伽勒在与预报相差不到 1° 的位置上找到了这颗新行星。命名为海王星。海王星的亮度为 7.85 等，要用望远镜才能看到。海王星公转轨道半长径为 30.13 天文单位，轨道很接近正圆，偏心率仅 0.006，与黄道面的夹角为 $1^\circ.8$ 。它在轨道上的平均速度为 5.43 公里/秒，公转周期为 164.8 年。自转周期为 16 小时 3 分—16 小时 5 分。赤道面与公转轨道面的夹角约 29° ，比地球的黄赤交角稍大。海王星也有四季的变化。海王星的赤道半径约 24765 公里，由于自转较快，故扁率也较大，为 $1/58$ 。平均密度为 1.64 克/厘米^3 。1989 年 8 月 25 日，“旅行者”2 号行星探测器飞近海王星，使人类获得了大量有关海王星的新知识。海王星上存在着活动大气，大气中有 3 个显著的亮斑和 2 个暗斑。较大的暗斑称“大黑斑”，长约 12000 公里，宽 8000 公里，它与木星的大红斑在许多方面都非常相近，实际上是一个大气旋。海王星大气中含有高浓度的甲烷和硫化氢，大气形态存在着剧烈和迅速的变化。对于象海王星这样远离太阳的行星是如何获得如此巨大的能量来驱动它的大气的，原因尚不清楚。“旅行者”2 号还发现海王星也有磁场和磁层，磁场与自转轴的夹角约 50° 。磁层中是由电子和氢离子、氦离子、氮离子等组成的等离子体。截止 1991 年已发现海王星有 8 颗卫星和 5 条光环。

【冥王星】距太阳最远的大行星。1930年由美国天文学家汤博发现。冥王星的轨道半长径为 39.87 天文单位。轨道偏心率和轨道倾角都是九大行星中最大的。轨道偏心率为 0.256, 在近日点时距太阳仅 29.8 天文单位, 比海王星还近。轨道倾角为 $17^{\circ}.1$, 比其他大行星大了许多。平均轨道速度为 4.74 公里/秒, 公转一周要 248 年。根据冥王星表面亮度的变化, 可以测出它的自转周期为 6 天 9 小时 17 分。冥王星的自转轴与公转轴间的夹角大于 60° , 因而是与天王星相似的侧向自转。冥王星的质量为 1.43×10^{25} 克, 仅为地球的 0.24%, 比月球还要小。由于距地球太远, 视面太小, 精确测定其直径十分困难。最早认为它的直径是 6400 公里, 后来根据掩星观测得出直径为 2000—2900 公里, 一般采用 2400 公里。冥王星的平均密度在 1.84—2.14 克/厘米³ 之间。表面温度很低, 日照面上为 58K 左右, 背阳面上只有 20K。表面上覆盖着一层甲烷冰, 当它运行到距近日点附近时, 甲烷冰升华, 形成暂时存在的冥王星大气。冥王星有一颗天然同步卫星。

【行星环】又称光环。围绕行星运转的物质环, 由许多小物体构成, 由反射太阳光而发亮。太阳系内的四颗类木行星都有环。土星环由荷兰物理学家惠更斯于 1656 年发现。以后的 200 年间, 土星环被看成是一个或几个扁平的固体物质盘。1856 年, 英国的物理学家麦克斯韦从理论上论证了土星环是无数颗小卫星在土星赤道面上绕土星旋转的物质系统。土星环主要由 4—30 厘米的碎冰块组成, 它位于土星赤道面上, 其平面与土星轨道面不重合, 所以从地球上, 光环的视面积不固定, 使土星的视亮度也发生变化。在空间探测以前, 地面观测发现土星环由 A 环、B 环、C 环、D 环

和 E 环组成,前三环为主环,宽度分别是 14400 公里、25800 公里和 20800 公里。A 环与 B 环之间是著名的卡西尼环缝,宽约 5000 公里。1979 年,行星际探测器先驱者 11 号发现了两个新环(F 环和 G 环)和一个新环缝。以后飞近土星的探测器又发回了大量资料,证明土星环远不止上面的 7 个,而是有几百条,甚至上千条。土星环的细致结构异常复杂,它们从土星的云顶一直延伸到 32 万公里处。天王星环是 1977 年 3 月 10 日观测一次天王星掩星的过程中发现的。它非常暗弱,即使在地面的大望远镜中也难以直接观测到。现在已确定的天王星环共有九个,主环从内向外排列的顺序是 α 环、 β 环、 γ 环、 δ 环和 ϵ 环,在 α 环内还有 3 个暗环, β 环和 γ 环之间也有一个暗环。这些环是由大小不等的石块组成的。1986 年旅行者 2 号探测天王星时又发现了十一个新环,在亮环和暗环之间还夹有不少细环,环缝中还发现有颗粒很小的填充物。这些环带总体来说呈暗黑色。从旅行者 2 号拍摄的照片上看,整个天王星环是一个连续的环带,很象土星环系。木星环是 1979 年 3 月 4 日由行星际探测器旅行者 1 号发现的。木星环离木星中心约 128300 公里,厚约 30 公里,绕木星运动一周约 7 小时。由黑色块状物体组成,直径在数十米到数百米之间。海王星环是 1989 年旅行者 2 号探测海王星时发现了海王星有 5 条环带,它们有的是完整的环,有的是环的一部分——环弧。在一条完整的环上发现有 6—8 个冰体,最大的冰体的尺寸在 20 公里以下。

【卫星】围绕行星运动的天体。太阳系的九大行星中,除水星和金星外,其他大行星都已发现有卫星。截止到 1990 年,太阳系内的卫星已被确认的共有 66 颗,其中地球 1 颗,火星 2 颗,木星 16 颗,土星 23 颗,天王星 15 颗,海王星 8 颗,冥王星 1 颗。卫星除编

号外，大多使用西方神话人物的名字命名。与行星一样，卫星本身不发光，只能反射太阳光。卫星除随行星一起绕太阳公转外，还有自转和绕行星的转动。卫星绕行星的转动方向和行星绕太阳的转动方向相同者，称顺行卫星，反之称逆行卫星。很多卫星（如月球）的自转周期和它们绕行星转动的周期相同，这种同步自转的现象是行星和卫星之间潮汐作用的结果。有些较大的小行星（如 532 号大力神星）也有自己的卫星。除了以上介绍的天然卫星，从 50 年代起，人类还发射了为数众多的人造地球卫星和人造行星卫星。轨道平面与行星赤道面的交角不大，绕行星绕动方向与行星自转方向基本一致，轨道接近正圆形，并且与行星间的距离分布符合提丢斯—波得定则的卫星叫规则卫星。不满足以上条件的卫星称为不规则卫星。

【月球】俗称月亮。地球唯一的天然卫星，也是离地球最近的天体。月球本身不发光，只反射太阳光。它的平均反照率为 7%，满月时平均亮度为 -12.7 等，相当于 21 米外 100 瓦电灯产生的照度。月球直径 3476 公里，为地球的 $\frac{3}{11}$ 。表面积约为地球的 $\frac{1}{14}$ ，体积相当于地球的 $\frac{1}{49}$ 。质量为 7.35×10^{25} 克，是地球的 $1/81.3$ 。平均密度为 3.34 克/厘米³，相当于地球密度的 $3/5$ 。表面重力加速度为 1.62 米/秒²，是地球的 $1/6$ 。月球上的逃逸速度为 2.4 公里/秒。月球的轨道呈椭圆形，它与地球的平均距离为 384401 ± 1 公里，约为地球周长的 10 倍。从地球上看到月球赤道半径张角的平均值为 $15' 32''.6$ 。月球的自转周期与绕地球公转的周期相等，均为 27.3 天，因此，它总是以同一面对着地球。月球的赤道面同它的轨道面有 $6^\circ 41'$ 的倾角，由于这一倾角的存在和月球运行速度不均匀

等原因，位于地球上某一观测点的观测者在不同时间会看出月面边缘存在前后摆动，这称为月球的天平动。天平动的存在使得地面上不止看到月球的半面，而是能看到月球表面积的 59%。月面上密布着大大小小的环形山，其中大的直径达 300 公里，小的不过是一些凹坑。月球正面上直径大于 1 公里的环形山有 33000 多个。许多环形山的中心区还有中央峰或中央峰群。环形山大部分是由于火山活动形成的，少数由陨石撞击而成。月球正面，有 50% 的面积看起来是暗淡的黑斑，称为“海”，它们实际上是开阔的平原，月海大多具有圆形封闭的特点，四周是山脉。已知的月海（包括背面）共有 22 个，最大的风暴洋面积达 500 万公里²。另外，月球上还有月陆、辐射纹等地形特征。月球背面的结构与正面相差很大，那里月海所占面积较少，而环形山很多，地势凹凸不平，高低相差悬殊。月球周围完全没有大气，也没有水，更没有生命存在。在一个自转周期内，月球表面的温度变化很大，白天，阳光垂直照射的地方温度高达 +127℃，夜晚，温度可降到 -183℃。月球周围没有明显的磁场，不存在辐射带。月球正面发现有 12 处重力异常区，称重力瘤。1969 年 7 月 20 日，美国的阿波罗 11 号登月舱第一次将人类带到了月球。截止到 1992 年，人类已实现了 6 次成功的登月飞行，有 12 名宇航员登上了月球。

【月相】月亮的圆缺变化。从地球上，月球与太阳的相对位置变化，引起月球发光部分的形状不断改变，称作位相变化，也叫月相。月球相位的变化是因为月球是靠反射太阳光而发光的，于是月球被照亮的部分随月球与太阳之间的黄经差而产生各种月相：黄经差为 0，叫作朔，看不见月亮，过一两天出现弯弯的新月在西方天空；黄经差为 90°和 270°，分别叫上弦与下弦，月亮一半发光。

前者亮的在右半球，后者亮的在左半球，下弦以后，残月出现在天亮前；黄经为 180° ，叫作望，也即满月。月相变化的周期因而称为朔望月，为 29.53059 日。

【月龄】从新月算起到各月相所经历的天数。相邻两次新月之间的间隔称为一个朔望月，为 29.53059 日，近似为 29.5 日。月相与月龄的对应关系大致如下：上弦月的月龄为 7.4 日，满月的月龄为 14.8 日，下弦月的月龄为 22.1 日。中国农历的日期与月龄基本相符，而公历中不存在这种对应关系。

【月质学】又称月球地质学。研究月球的化学成分，物理特性、物质结构及其形成和演化的学科。自从 1969 年阿波罗 11 号载人飞船首次登月以来，人类已先后 8 次从月球采集了岩石样本带回地球，共采集有 270 多公斤。通过对月面土壤和岩石的类型、矿物、化学组成、同位素组成、物理性质、月球的形成和演化的综合分析后，编制了月质图和月貌图。从月球岩石中还找到了近 60 种矿物，其中 6 种是在地球上没有发现过的新矿物。

【提丢斯—波得定则】又称提丢斯定则或波得定则。表征各行星与太阳平均距离的一种经验定律。1766 年，德国的中学教师提丢斯首先提出，取一数列 0、3、6、12、24、48、96…，然后将每个数加 4，再除以 10，便可近似地得到用天文单位表示的各行星同太阳的平均距离。1772 年，德国天文学家波得提出用 a_n 表示按距离太阳由近到远排列第几颗行星的轨道半径，则 $a_n = 0.4 + 0.3 \times 2^{n-2}$ ，但对于水星， n 不取 1，而取 $-\infty$ 。这一定则刚一提出时，并未引起人们的关注，但 1781 年，赫歇耳在 $n=5$ 的位置上发现了

天王星；1801年皮亚齐在 $n=5$ 的位置上发现了最大的小行星——谷神星，它们与太阳的距离与定则预言的相差很小；另外，太阳系内有不少卫星到行星的距离也符合提丢斯—波得定则。这些都给了它有力的支持。但该定则对于天王星和海王星的计算值与观测值出入较大。

【小行星】主要分布于火星和木星轨道之间，围绕太阳旋转的为数众多的小天体。按照提丢斯—波得定则，在火星和木星之间，距太阳 2.8 天文单位处应该有一颗大行星。1801 年，意大利天文学家皮亚齐发现了一个新行星，命名为谷神星，它距太阳 2.77 天文单位，但因它的体积和质量太小，不能与大行星为伍，故称其为“小行星”。以后的几年里，又发现了另外三颗较大的小行星，它们是智神星、婚神星和灶神星。随着 19 世纪后期照相技术在天文学上的广泛应用，使发现的小行星的数目急速增加。从 1925 年起，新发现的小行星算出轨道后，要经过两次以上的冲日观测，才能赋予永久编号和专用名称，有的小行星用古代西方神话中的人物命名，有的则由发现者给与其他名称。目前有永久编号的小行星已达 3000 多颗。照相巡天观测发现亮度大于照相星等 21.2 等的小行星有 50 万颗，小行星的总质量约 2.1×10^{24} 克，相当于地球质量的 0.04%。小行星中最大的是谷神星，它的直径为 1000 公里，质量为 $(11.7 \pm 0.6) \times 10^{23}$ 克。除了谷神星等几颗较大的小行星外，其他小行星的直径和质量都很小。小行星的亮度有周期性变化，这是由于它们表面各部分的反照率不同及它们的自转引起的。小行星典型的自转周期为 8—9 个小时，小行星的自转轴取向毫无规律，呈随机分布。少数较大的小行星可能是球状的，但大多数的形状是不规则的。有的小行星还有自己的卫星。按照表

面反照率的不同，小行星可分为 C 类（碳质，反照率较小）和 S 类（石质、反照率较大），另外还有少数小行星的金属含量很高，称 M 类。绝大多数小行星位于火星和木星轨道之间的小行星带内，轨道半长径界于 2.2—3.2 天文单位之间，平均为 2.77 天文单位，少数小行星的轨道半长径比火星小或比木星大。它们的偏心率和轨道倾角多界于大行星和彗星之间，平均为 0.15 和 $9^{\circ}.4$ 。小行星靠反射太阳光而发亮，它们的视亮度跟它们同太阳和地球的距离有关，也跟它们的表面反照率有关。最亮的小行星是灶神星，目视星等为 6.5 等。由中国紫金山天文台发现的小行星，到 1992 年为止，已获得正式编号的共有 55 颗。

【谷神星】1 号小行星，也是最早发现的小行星。1801 年 1 月 1 日由意大利天文学家皮亚齐发现。直径约 770 公里（直接测量），质量为 $(1.17 \pm 0.06) \times 10^{23}$ 克，占有小行星质量总和的一半，是最大和最重的小行星。反照率为 0.06，属碳质小行星。谷神星的轨道半长径为 2.77 天文单位，轨道偏心率为 0.079，轨道倾角 $10^{\circ}.6$ ，公转周期 1681 天。谷神星的目视星等为 7.4 等。

【智神星】2 号小行星。1802 年由德国奥伯斯发现。直径约为 490 公里（直接测量），质量为 $(2.6 \pm 0.8) \times 10^{23}$ 克，体积与重量仅次于谷神星，居第二位。智神星是 V 型小型星（即不属于任何可分类的类型）。智神星的轨道半长径为 2.77 天文单位，轨道偏心率 0.23，轨道倾角 $34^{\circ}.8$ ，公转周期 1686 天，自转周期 9—12 小时。目视星等为 8.0 等。

【婚神星】3 号小行星。1804 年由德国天文学家哈丁发现。直径约

为 195 公里（直接测量），质量为 0.2×10^{23} 克。轨道半长径为 2.67 天文单位，轨道偏心率 0.255，轨道倾角 $13^\circ.0$ ，公转周期 1594 天，自转周期 7 小时 13 分，目视星等 8.7 等。婚神星的反照率较大，达 0.2。

【灶神星】4 号小行星。1807 年由德国的奥伯斯发现。直径约为 390 公里（直接测量），质量为 $(2.4 \pm 0.2) \times 10^{23}$ 克。轨道半长径为 2.36 天文单位，轨道偏心率 0.088，轨道倾角 $7^\circ.1$ 。公转周期 1325 天，自转周期 5 小时 20 分 31 秒。灶神星的反照率很高，达 0.24。目视星等为 6.5 等。是最亮的小行星。

【爱神星】433 号小行星。1898 年由德国天文学家维特发现。爱神星的形状不规则，最大长度约 32 公里。轨道半长径 1.46 天文单位，轨道偏心率 0.223，轨道倾角为 $6^\circ.4$ 。公转周期 643.2 天，自转周期 5 小时 16 分。爱神星距地球最近时仅 0.13 天文单位，亮度可达 6.5 等。1901 年和 1931 年，人们曾利用爱神星接近地球的机会精确测定了日地距离。

【大力神星】532 号小行星。第一个发现有卫星的小行星。1978 年 6 月 7 日，在观测这颗小行星掩恒星时，发现了它的卫星 1978 (532) I，大力神星和它的卫星的直径分别为 243 公里和 45.6 公里，相距 977 公里。

【伊卡鲁斯】1566 号小行星。1949 年 6 月 26 日由美国天文学家巴德发现。直径约 1.5 公里，轨道半长径为 1.08 天文单位，轨道偏心率很大，达 0.83，轨道倾角为 23° ，公转周期 1.12 年。是距离

太阳最近的小行星，近日距只有 0.187 天文单位，比水星更接近太阳。远日距约 1.98 天文单位。每个公转周期中它的表面要经历剧烈的温度变化。

【中华星】1125 号小行星。1928 年 11 月 22 日由中国天文学家张钰哲在美国叶凯士天文台发现，并根据张钰哲的建议命名为“中华”。中华星的轨道半长径为 3.1465 天文单位，轨道偏心率 0.2025，轨道倾角为 $3^{\circ}.03$ ，平均冲日星等 18.4 等。

【火星卫星】火星有两颗天然卫星。它们是美国天文学家霍尔于 1877 年发现的。火卫一又称“福波斯”，火卫二又称“德莫斯”。它们的公转轨道都很接近火星的赤道面，轨道半长径分别为 9370 公里和 23520 公里，相当于火星半径的 2.8 倍和 6.9 倍，由于火星对它们的潮汐作用使得火卫一不断接近火星，而火卫二不断远离火星。这两颗卫星环绕火星公转的周期与它们的自转周期相等，分别为 7 小时 39 分和 30 小时 18 分，由于火卫一的公转周期比火星的自转周期（24 小时 37 分 23 秒）短，因此在火星上看它与其他天体相反，每“天”要西升东落两次。火卫一和火卫二的体积都很小，形状也不规则。火卫一的大小为 $27 \times 21.6 \times 18.8$ 公里，火卫二的大小为 $15 \times 12.2 \times 11$ 公里。表面上都有许多陨石撞击的坑穴。它们可能起源于小行星带。

【木星卫星】截止 1991 年已发现的木星卫星有 16 颗，其中最大的四颗——木卫一、木卫二、木卫三和木卫四是伽利略于 1610 年发现的，故称伽利略卫星，它们的直径分别为 3630 公里、3138 公里、5262 公里和 4800 公里。木卫三是太阳系内最大的卫星。木星的其

他卫星直径都不足 200 公里，平时难于见到。木卫按轨道特征可分为三群：最靠近木星的一群包括木卫十六、木卫十四、木卫五、木卫十五和四颗伽利略卫星，它们的轨道偏心率很小，都不超过 0.01，轨道面与木星的赤道面夹角不超过 $0^{\circ}.5$ ，顺行，全部是规则卫星。离木星较远的一群由木卫十三、木卫六、木卫十和木卫七组成，轨道面与木星赤道面的交角为 24° — 29° ，顺行，轨道偏心率为 0.13—0.21，都是不规则卫星。离木星最远的一群由木卫十二、木卫十一、木卫八和木卫九组成，它们的轨道偏心率较大，为 0.17—0.38，轨道面与赤道面的交角为 145° — 164° ，逆行，也是不规则卫星。木星的卫星在运动中会发生木卫食、木卫掩、木卫凌木、木卫影凌木、木卫互掩、木卫互食等复杂有趣的现象。

【土星卫星】截止 1991 年已发现的土星卫星有 23 颗，卫星数居九大行星之首。它们的体积，大都很小，只有 5 颗直径超过 1000 公里，小的只有 20 多公里。最大的土卫六直径为 5150 公里。土卫九距土星最远，平均距离为 1.30×10^7 公里，公转周期长达 550 天 11 小时。距离土星最近的是土卫十五，平均距离约 1.37×10^5 公里，公转周期为 14 小时 26 分。土卫的运动十分复杂，有的两个甚至多个卫星共占一条轨道，并在轨道上相距 60° 绕土星运行，构成了稳定的天空正三角形。行星探测器“旅行者”1 号在探测土星时还发现土卫十六和土卫十五正好分别位于土星 F 环的内边缘和外边缘，正是由于它们的引力作用才能使 F 环得以稳定的存在，这样的卫星被形象地称为“牧羊卫星”。土卫十七是土星 A 环的“牧羊卫星”。

【天王星卫星】截止 1991 年已发现天王星有 15 颗卫星，天卫一到

天卫五是在地面观测中发现的，它们都在近圆形的轨道上绕天王星运动，轨道面与天王星赤道面的夹角又都很小，因此它们都是规则卫星。其中天卫五最靠近天王星，向外依次是天卫一、天卫二、天卫三和天卫四，后四颗卫星同内侧相邻卫星的距离比都在 1.34—1.64 之间，这表明它们到天王星的距离有一定的规律性。天王星的另外十颗卫星是 1986 年“旅行者”2 号探测天王星时发现的。其中有两颗分别位于天王星 ϵ 环的两侧，是牧羊卫星。另外 8 颗都位于 ϵ 环的外侧。

【海王星卫星】截止 1991 年已发现海王星有 8 颗卫星。其中海卫一和海卫二是在地面观测中发现的。海卫一在距海王星 354000 公里的圆形轨道上运行。它的轨道与海王星赤道面的交角是 $139^{\circ}49'$ ，是逆行卫星。公转周期为 5 天 21 小时。直径 3500 公里。海卫二是顺行卫星，它同海王星的平均距离为 5.6×10^6 公里，轨道是偏心率达 0.75 的椭圆。海王星的另外 6 颗卫星是 1989 年“旅行者”2 号探测海王星发现的，它们都位于海卫一内侧，其中有两颗牧羊卫星。

【冥王星卫星】冥王星有一颗卫星，1978 年由美国的克里斯蒂发现，取名卡戎。直径约 1300 公里，在距冥王星 19100 公里的轨道上运动，公转周期与冥王星的自转周期相同，为同步卫星。通过光谱分析发现冥王星上甲烷冰升华而成的大气层一直延伸到了卡戎的轨道，即冥王星与卡戎可能共同拥有同一个大气层。

【彗星】在扁长轨道上绕太阳运行的一种质量较小的天体。外貌随着与太阳距离的变化不断改变，当远离太阳时，呈现为朦胧的点

状，当离太阳较近时，体积急剧变大，太阳风和太阳的辐射压力把彗星内的气体和尘埃向后推开形成一条长长的尾巴。由于彗星的这种独特外貌，中国民间又称它为“扫帚星”。

彗星的命名法有三种。刚发现时，先给一个临时名称，按发现的顺序在年号后面加上一个小写字母，如 1990b 就是指 1990 年发现的第二颗彗星。通过近日点以后，就给它以永久命名，即在过近日点的年号后加上一个罗马数字，这个罗马数字表示彗星在当年通过近日点的次序，如 1990 III 表示 1990 年第 3 颗过近日点的彗星。另外，通常还以发现者来命名，当有多个发现者时最多可取前三个，如池谷—关彗星，多胡—佐藤—小坂彗星。彗星的轨道可分为椭圆（偏心率 $e < 1$ ）、抛物线（ $e = 1$ ）和双曲线（ $e > 1$ ）三类。在椭圆轨道上运行的彗星称周期彗星，它们周期地绕太阳公转。周期彗星又可分为短周期彗星（周期小于 200 年）和长周期彗星。前者的轨道倾角不大，多为顺行，即绕太阳运动的方向与行星相同。后者的轨道平面在太阳系空间内是随机分布的，顺行的与逆行的各占一半。在双曲线或抛物线轨道上运动的彗星称非周期彗星，它们经过近日点后便一去不复返了。彗星经过行星附近时，会受行星的摄动而改变轨道。如果将观测到的双曲线和抛物线的轨道往前例推，大多数非周期彗星的轨道都曾是偏心率较大的椭圆，这说明可能只有很少的彗星是来自太阳系以外的。彗星一般由彗头和彗尾两部分组成。彗头包括彗核和彗发，有的彗星在彗发外还包着厚厚的一层氢原子云，称为“彗云”。彗核的直径很小，只有几百米到上百公里，但集中了彗星的绝大部分的质量，大彗星的质量为 10^3 — 10^8 亿吨，小彗星的质量只有几十亿吨，彗核的平均密度约为 1 克/厘米³，和水的密度差不多。彗发的体积随彗星与太阳的距离变化，其直径比彗核大得多，一般为几万公

里，有的甚至比太阳还大，但由于彗发内物质很稀薄，故它的质量很小。一般情况下，当彗星走到距太阳两个天文单位附近时，开始产生彗尾。随着与太阳的接近，彗星显著变大变长。彗星的体积很大，可达上亿公里，宽度从几千公里到 2000 多万公里，但物质极稀薄，密度只有地面附近空气的 10 亿亿分之一。彗尾的形状多种多样，一般总是向背离太阳的方向延伸，彗尾可分为两类，一类彗尾较直，由离子气体组成，呈蓝色，称“离子彗尾”或“气体彗尾”，它是由太阳风的斥力作用于彗星中的离子形成的。另一类是弯曲的，称“尘埃彗尾”，这类彗尾是太阳光子的辐射压力推斥微尘而形成的。

【彗星群】 在几乎相同的轨道上运行且单独通过近日点的彗星集团。一般认为它们是由一颗大彗星分裂而成的。

【哈雷彗星】 第一颗被预言回归的短周期彗星。英国天文学家哈雷 (E. Halley) 根据 1531、1607、1682 年出现的彗星的轨道相似性，推测它们是同一颗彗星，并预言 1758—1759 年还将回归。预言得到证实后，这颗彗星便被命名为“哈雷彗星”。关于哈雷彗星，中国史书上有最早和最完备的记载。哈雷彗星的轨道平均周期约 76.2 年，轨道倾角 162° ，逆行，轨道偏心率 0.967，是一个很扁的椭圆，它的近日距为 0.59 天文单位，远日距达 35.31 天文单位。哈雷彗星最近一次过近日点是 1985 年 2 月 9 日。

【彗星族】 根据远日点距离和公转周期对短周期彗星的一种分类。这种分类反映了彗星与大行星的力学联系。大约有一半的短周期彗星远日点接近木星轨道，一般认为这是由于木星的摄动造成的，

这些彗星都属于木星族。有人认为还存在其他的彗星族，如土星族、天王星族和海王星族。

【彗星模型】能够解释彗星复杂的观测现象的物理模型。被普遍接受的是“脏雪球”模型，它是由美国天文学家惠普尔于1949年提出的。他认为彗核是冰的聚合物，含有水、氨、甲烷和二氧化碳以及一些尘埃微粒。当彗星接近太阳时，彗核内的冰冻物质受热汽化，当这些蒸汽离开彗核时，带走一些尘埃微粒，形成了彗发和慧尾。

【流星】行星际空间中的流星体闯入地球大气层时，与大气摩擦燃烧产生的光迹。流星体是沿椭圆轨道环绕太阳运行的尘粒和固体物，小至微米大小，大到重达数千吨的小行星。流星体进入地球大气层时相对于地心的速度为11—72公里/秒，速度的上限和下限都是流星体沿抛物线轨道绕太阳运行时产生的，介于二者之间的速度是流星体沿椭圆轨道绕太阳运动时产生的。观测表明，绝大部分流星体的轨道是椭圆，抛物线很少，而双曲线几乎没有，据此可判断流星体起源于太阳系。流星一般出现在距地面120—80公里的高空，质量较小的流星体被完全气化。质量大而坚实的流星体未被完全烧尽，落到地面上成为陨石。有的流星体非常小，称为微流星体，它们和空气分子碰撞产生的热量可以在很低的温度下辐射掉，不足以使本身气化，便像尘埃一样飘浮在大气中，最后降落到地面，叫作微陨石。亮度相当于1等星的流星，质量约0.05克，6等的流星，质量约0.01克。流星体的质量越小，数目就越多，据统计，每年降落到地球上亮度大于10等星的流星（质量大于 10^{-5} 克），共约2000吨，而暗于10等星的流星及微陨石的

总量约 20 万吨。

【流星群】沿同一轨道绕太阳运行的大群流星体。它们往往是由彗星抛射的质点和瓦解的彗核形成的，例如猎户座流星群和宝瓶座 η 流星群就与哈雷彗星有关。目前发现的流星群已达几百个。

【流星雨】流星群与地球相遇时，在几小时到几天的时间内流星数量显著增加，有时甚至象下雨一样，这种现象称为流星雨。将发生流星雨时观测到的流星的轨迹反向延长，它们都交于一点，这一点称辐射点。大多数流星雨是以辐射点所在的星座或附近的亮星命名的，如“狮子座流星雨”。少数流星雨以与之有联系的彗星命名，如“比拉彗星流星雨”。发生流星雨时，流星的出现率通常是每小时十几个到几十个，但在少数情况下可达每小时成千上万个，这称为流星暴。流星雨是一种周期现象，出现日期基本固定，但由于流星群内的流星体在轨道上的分布是很不均匀的，所以流星雨中流星的数量每年不同，例如狮子座流星雨一般年份规模较小，而每隔 33 年，会出现一次程度不同的流星暴。

【火流星】亮度超过金星的流星。质量较大的流星体在高层大气中未能完全气化，进入低层的稠密大气时，受到的摩擦力和与空气分子的碰撞更为剧烈，形成耀眼的火球，后面拖着长长的光带。火流星消失几分钟后，常可听到巨大的响声。有的火流星可持续几十秒，明亮异常，甚至在白天也能看到。

【陨石】也称陨星。陨落于地面上的流星体。通常以陨落地点的地名命名。是穿越地球大气未完全燃烧气化后剩下来的残骸。因大

气摩擦表面被高温灼热熔融，陨落冷却后熔化层凝固，所以表面覆盖着一层薄的黑色或深褐色外壳；高温气流与熔融表层的强烈作用，还在陨石上留下一些指印状小凹坑，叫作“气印”。这两点成为判断陨石外观的依据。一般说陨石密度比地球岩石略大，在陨石的新鲜剖面上，有时可见发光的金属颗粒、黄色硫化物颗粒、球状小粒等。陨石有石陨星、铁陨星、石铁陨星、玻璃陨石、陨冰等多种，陨落时爆裂散落的，形成陨石雨。有一些大陨石至今留有大陨石坑遗迹，如美国亚利桑那州的大陨石坑，直径超过1km。我国境内陨落的大陨石以吉林陨石雨1号(1770kg)和新疆大陨铁(约30000kg)为著名。

【石陨石】最常见的一种陨石，占已收集的陨石总数的92%。石陨石又可分为球粒陨石和非球粒陨石。球粒陨石占全部陨石的84%，它的内部散布着许多球状颗粒，直径从零点几毫米到几毫米，球粒的主要成分是橄榄石和辉石，除球粒外，其他部分主要是一些结晶程度不同的橄榄石、辉石、长石、铁镍金属、陨硫铁等。非球粒陨石不含球粒，是一种粗粒的晶质陨石，它同地球上的玄武岩和纯橄榄岩相似。已知最大的石陨石是吉林1号陨石，重1770公斤；其次是美国的诺顿—富尔内斯陨石，重1079公斤；占第三位的是美国的长岛陨石，重564公斤。

【铁陨石】又称陨铁。陨石的一种。约占已发现陨石总数的6%。密度平均为7.5—8.0克/厘米³。主要由金属铁、镍组成，还含有少量的钴、铜、磷、硫等元素。镍的含量在5%以上，大大超过地球上的自然铁中镍的含量。分为六面体铁陨石，八面体铁陨石和富镍角砾状铁陨石三种，以八面体铁陨石最为常见。已知最大的铁

陨石是纳米比亚的戈巴陨铁，重约 60 吨；其次是格陵兰的约角 1 号陨铁，重约 33 吨；中国的新疆大陨铁排第三位，重约 30 吨。

【石铁陨石】数量最稀少的一类陨石。占已发现陨石总数的 2%。是介于石陨石和铁陨石之间的过渡型陨石，由大致相等的金属（以铁、镍为主）和硅酸盐组成。它又分成几种，较为常见的是橄榄镍铁陨石和中铁陨石。

【吉林陨石雨】1976 年 3 月 8 日 15 时 01 分降落在中国吉林地区的一场罕见的陨石雨。陨石雨分布的范围很广，从东经 $126^{\circ}12'52''$ 至 $127^{\circ}10'$ ，北纬 $43^{\circ}55'.5$ 至 $44^{\circ}03'.2$ 东西长 72 公里，南北最宽约 8.5 公里。分布在吉林市永吉县和蛟河县，面积近 500 平方公里，是世界上已知分布最广的石陨石雨。共收集到大小陨石样品 100 多块，总重 2700 多公斤，其中吉林 1 号陨石重 1770 公斤，是已知的最大的石陨石。这次收集到的陨石母体固化年龄约 45—46 亿年，与地球、月球年龄相近。母体是一个直径约 440 公里的小行星，在太阳系空间运动时曾受其他小天体的碰撞，母体可能经历过多次破碎。吉林陨石约在 100 万年前因碰撞而脱离母体。

【行星际物质】存在于行星际空间的非常稀薄的气体和极少量的尘埃以及来自太阳、行星和太阳系以外的电磁波。在地球轨道附近的行星际空间中，每立方厘米平均约含有 5 个正离子（绝大部分为质子）和 5 个电子。太阳风是行星际物质的主要来源。行星际物质主要由质子、电子及少量的氢、碳、氮、氧和重元素的核组成，这些物质都是太阳大气中固有的。日冕是太阳大气的最高层，由稀薄的等离子体组成，具有一二百万度的高温，甚至太阳强大

的引力场也无法维系日冕中的物质，它们便以太阳风的形式向行星际空间扩散，故行星际物质可以看成是日冕的稀薄的延伸。此外，彗星，小行星的瓦解物，流星体和宇宙尘等也是行星际物质的补充来源。

【行星际磁场】存在于太阳系行星际空间的磁场。由于行星际磁场的磁力线起源于太阳本体，随太阳一起自转，其外端被径向向外运动的太阳风等离子体带出，而且太阳风在整个行星际空间近似保持常速，因此行星际磁场在整个太阳系空间内呈巨大的扇形结构。在太阳赤道面上呈典型的阿基米德螺线。

【黄道光】在中、低纬度地区见到的一种位于黄道附近的暗淡的三角形光锥。通常只出现在春季黄昏后的西方地平线上或秋季黎明前的东方地平线上，沿黄道向上伸展可达 30° ，黄道光很暗弱，必须在良好的条件下才能观测到。主要是由于行星际尘埃散射太阳光形成的，因此它的光谱与太阳光谱极为相似。行星际尘埃主要分布在黄道面附近，所以黄道光大致沿黄道面伸展。

【对日照】出现在与太阳相距 180° 的黄道上的极其微弱的椭圆形光斑，范围约 $20^\circ \times 10^\circ$ 。对日照最有利的观测时间是 3 月和 9 月，冬夏两季由于受明亮的银河的影响很难见到，它的成因目前还不清楚，多数人认为是由行星际物质反射太阳光造成的。

【行星视运动】观测者见到的行星在天球上的位置移动。行星视运动与地球的轨道运动和行星的轨道运动都有关，除冥王星外，各大行星的轨道与地球轨道面（黄道面）的夹角都较小，所以大行

星（冥王星除外）的视运动路径都位于以黄道为中心的宽 16° 的带状区域内。行星大部分时间在天球上由西向东运动，这与太阳的周年视运动方向一致，称顺行；小部分时间由东向西运动，称逆行。顺行和逆行交替时，行星在天球上的位置短时间内不变化，称为“留”。行星的视运动有周期性。

行星的观测条件主要由它相对于太阳的视运动决定，按行星相对于太阳的视运动，可将它们分成两类：地内行星和地外行星。地内行星指位于地球轨道内侧的水星和金星，它们总是在太阳附近的一定范围内来回摆动。当地内行星和太阳的地心黄经相等，太阳位于地球和地内行星之间时，称“上合”，此时它淹没在太阳的光辉里，在地球上无法观测到。经过上合后，地内行星逐渐偏离太阳向东运行，太阳落山后，出现在西方天空，故称昏星。向东偏离太阳的角距达到某一极大值后便不再增加，此时称东大距。东大距后，又一天天靠近太阳，只要仍在太阳以东，还是昏星。当黄经再次和太阳黄经相等时，又淹没在太阳的光辉之中，无法观测，此时地内行星位于地球和太阳之间，称“下合”。如三者恰在一条直线上，便会发生“凌日”，即白天可看到水星或金星从太阳的圆面上经过。下合以后，它便向西偏离太阳，黎明前先于太阳在东方升起，故称晨星。此后向西偏离太阳的角距一天天增大，直到“西大距”时为止。过了西大距，又逐渐靠近太阳，一直到再一次上合。连续两次上合或连续两次下合之间的时间间隔称会合周期。地外行星是指地球轨道以外的火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星，它们与太阳的角距不受任何限制。当地外行星与太阳的角距相等时，称“合日”，此时它与太阳同升同落，无法观测。合以后，它偏离太阳向西，每天黎明在东方天空可见。它同太阳的角距一天天加大，当与太阳的黄经差 90° 时，称为西方

照，此时午夜时分升起，黎明时已位于正南方天空。以后连续偏离太阳向西，当与太阳的黄经相差 180° 时，称为“冲日”，简称“冲”。冲时，傍晚太阳刚落山便从东方升起，所以整夜可见，而且与地球的距离最近，是观测地外行星的最好时机。冲以后，地外行星继续向西偏离太阳，由于角距大于 180° ，也可看成是它在太阳以东逐渐靠近太阳。当与太阳黄经相差 90° 时，称为东方照。东方照时，太阳一落下它便出现在南方天空，到午夜时分，从西方落下。它继续由东边靠近太阳，当再次和太阳的黄经相等时，又称为“合日”。以后重复这样的视运动。两次合日的间隔称为它的会合周期。

【等周率】太阳系中行星、小行星自转周期相差不大的表述。巨行星与已经测定自转周期的小行星比，质量相差可达 1000 亿倍，但它们的自转周期数量级却相同。瑞典天文学家阿尔文认为这与行星形成初期就有相同的自转周期有关，个别行星自转周期变的很长是长期演化所造成的，他将行星的这种自转特征，叫“自转等时性”或“等周率”。

【反照率】由反射面（天体表面）反射到各个方向的总光量与入射总光量的比值，恒小于 1。暗黑的物体比白色物体的反照率低。测定天体的反照率可获得天体的大小、表面形状和覆盖物的性质等许多信息。

天 体 测 量

【天球】一个半径为任意的假想球面，所有的天体都按其到球心的方向投影到球面上。天球上可引入球面坐标系以确定天体的位置和运动。天球的中心可取为观测站、地心、日心等，分别称为站心天球、地心天球和日心天球。

【天赤道】延伸地球赤道平面与天球相交截出的大圆。在天球上用作基本坐标平面以确定天体的位置。

【地平圈】过球心作铅垂线的垂直平面在天球上截出的大圆。地平圈是量度天体出地平高度的基准平面。

【黄道】地球绕日运动的平均轨道平面与天球相交所得的大圆。在地心天球上，日、月和大行星都在黄道附近由西向东运动。

【银道】银河系绝大部分恒星密集于一个很扁的旋转椭球形状的区域，这个椭球的对称平面就是银道面。过天球中心作平行于银道面的平面在天球上截出的大圆叫银道，通过天球中心垂直银道面的银轴与天球的交点叫银极。以银道为界，与北天极同在一个半球的那个极点是北银极，另一个极点是南银极。银轴也是银河系整体的转动轴，与银轴距离不同地方的恒星绕转的速度不等。

【白道】过天球中心作平行于月球绕地球公转轨道面的平面,与天球相交所截出的大圆。在地球上的观测者看来,月亮视圆面中心一月之中在天球上移动的轨迹就是白道。白道与黄道斜交,交角平均为 $5^{\circ}9'$ 。

【天子午圈】通过天球极轴和铅垂线的平面在天球上所截出的大圆,也可以说是通过天极和天顶的大圆。在地球上的观测者看来,它就是通过观测者的地理经圈平面——子午面与天球相交的大圆。天子午圈决定了正南正北的方向原点,是量度方位的基准。

【卯酉圈】天球上与子午圈正交的大圆。因此它是通过正东、正西方向和天顶的大圆,即“东西圈”。

【四方点】东、西、南、北四个方向点。首先将子午圈和地平圈的两个交点中靠近北天极的一个点确定为北点,与它相对的另一个交点就是南点。面南背北,左东右西,在地平圈上距南点左右各 90° 的两个点则分别是东点和西点,也可以说卯酉圈和地平圈相交于东、西两点。从北点起顺时针方向沿地平圈相隔 90° 的依次是东、南和西点。四方点由子午圈、卯酉圈和地平圈的交点确定,是天文定向的基准方向。

【分至点】又称二分点和二至点,是黄道上的四个特定点,也是太阳在黄道上运行的四个有特别意义的位置。二分点是黄道和赤道的两个交点,其中黄道由南半天球穿过赤道进入北半天球的那个交点是春分点,与它相对的另一个交点是秋分点;二至点是黄道上与

二分点相距 90° 的两个点,对地球北半球的人来说,黄道上距分点 90° 并在北半天球的是夏至点,在南半天球的是冬至点。自春分点起太阳沿黄道逆时针方向运行,依次通过夏至点、秋分点和冬至点,日期分别约是 3 月 21 日、6 月 22 日、9 月 23 日和 12 月 22 日,相应的节气分别是春分、夏至、秋分和冬至。

【天球地平坐标系】在天球上建立起来量度天体方位的一种坐标系,是其中最直观的一种。它以地平圈、子午圈为基本圈,以天顶和北点为基本点,用高度和方位角或者天顶距和方位角两个坐标量量度天体。高度是天体在地平经圈上高地平的角度,由地平圈向天顶方向量到天体,用字母 h 表示。天顶距是高度的余角,即 $90^\circ - h$,是从天顶沿地平经圈量到天体的大圆弧,用字母 Z 表示。实际使用时任选一个,另一个可以计算出来,公式为 $Z = 90^\circ - h$;方位角是过天体的地平经圈与子午圈之间的二面角,可以由北点或者南点沿地平圈顺时针方向量到过天体的地平经圈,用字母 A 表示。使用地平式结构的仪器可以方便地量出天体的地平坐标,如经纬仪等。天体的地平坐标只对确定的时刻才是有意义的,因为它是随观测时间和观测地点而改变的,所以观测记录 A, h 值,要同时记下观测地点的地理纬度和观测的日期和时间。高度由 $0^\circ - \pm 90^\circ$,方位角由 $0^\circ - 360^\circ$ 。

【天球时角坐标系】天球上量度天体位置的一种坐标系,它以天赤道、子午圈为基本圈,用赤纬和时角两个坐标量度天体。通过天极和天体的大圆叫赤经圈或时圈,由赤道起算沿时圈量到天体的大圆弧是赤纬,用字母 δ 表示,赤纬的余角余赤纬 $90^\circ - \delta$ 是天体到天极的角距离,中国古代称为去极度;时圈与子午圈两个平面间的

二面角为时角,从子午面南方起算顺时针方向量度。子午圈与赤道在南方向的交点叫上点,时角可以在赤道上以大圆弧表示,是由上点起顺时针方向量到时圈来量度的,用字母 t 表示。天体周日视运动中赤纬值不改变,只有时角随时间改变,每小时变化 15° 。所以 δ 可用 $0^\circ - \pm 90^\circ$ 表示, t 即可以用 $0^\circ - 360^\circ$,也可以用 $0^h - 24^h$ 表示。赤道装置上装有时角坐标度盘,可近似读出望远镜所指天体的时角坐标,十分方便。在时角坐标系中,天极的天顶距数值上等于观测点的地理纬度 φ 。

【天球赤道坐标系】在天球上建立起来量度天体位置的一种坐标系,它以天赤道、黄道和天极为基本圈和点,用赤纬和赤经两个坐标量度天体。赤经是过春分点和过天体的两个时圈平面之间的二面角,也可以在赤道上用春分点逆时针方向量到过天体的时圈这一段大圆弧量度,用字母 α 表示。天体的赤道坐标不随天体的周日视运动而改变,是一种适用于星图、星表的天球坐标系。赤纬由 $0^\circ - \pm 90^\circ$,赤经由 $0^\circ - 360^\circ$,也可以记为由 $0^h - 24^h$ 。

【天球黄道坐标系】天球上量度天体位置的一种坐标系,它以黄道、赤道和黄极为基本圈和点,用黄纬和黄经两个坐标量度天体。通过黄极和天体的大圆叫黄经圈,沿黄经圈由黄道量到天体的大圆弧称黄纬;黄经圈与过春分点的黄经圈之间的二面角称黄经,也可以在黄道上量度,由春分点起逆时针方向量到过天体的黄经圈这一段大圆弧就是黄经。天体的黄道坐标不随天体的周日运动而改变,适用于太阳系天体位置的计算。黄纬由 $0^\circ - \pm 90^\circ$,黄经由 $0^\circ - 360^\circ$,也可记为 $0^h - 24^h$ 。

【天球银道坐标系】天球上量度天体位置的一种坐标系。银河系物质分布的对称平面称为银道面,它与天球相交截出的大圆称银道。以银道、银极和银心方向为基础,用银纬和银经两个坐标量度天体位置的天球坐标系。通过银极和天体的大圆叫银经圈,沿银经圈由银道量到天体的大圆弧称银纬;银经是过银心方向和过天体的两个银经圈之间的二面角,由银心方向起逆时针方向量到过天体的银经圈。这种坐标系多用天研究恒星动力学和星系结构。银纬由 $0^{\circ}-\pm 90^{\circ}$,银经由 $0^{\circ}-360^{\circ}$ 。

【天文三角形】又称定位三角形或航海三角形。是天球上由天极、天顶和某一天体三个点围成的球面三角形。它是能建立天体地平坐标和时角坐标之间联系以及天球坐标和观测位置联系的一个球面三角形。

【天体周日视运动】观测者每日看到的天体东升西落的运动。是地球自转造成的视觉,与坐在大型玩具转椅上看到周围景物旋转的道理相同。天体周日视运动表现为天球的周日旋转,转动轴为极轴,天体在天球上画出一个个平行于赤道的周日平行圈。转动速度与地球自转速度相等,但转动方向相反。

【太阳周年视运动】观测者一年之中看到太阳在星空中移动了一周的运动。大气散射使人们不能在地球上直接看到太阳在星空中逐日移动,但却能从夜晚星空的周年变化间接感受到这种运动。它是地球公转运动造成的视觉,地球公转半周后,太阳原来所在的那部分星空正好出现在晚上,而原来晚上所见的星空却淹没在太阳光之中。太阳周年视运动的轨迹就是黄道,视运动的速度与地球公转

速度相等,运动方向也相同,都是自西向东逆时针方向运动的。

【中天】球面天文学概念,天体在周日视运动中恰在子午圈上称中天。在天极和南点之间的弧段中天叫上中天,在天极通过北点延伸的弧段中天叫下中天。在中天时刻许多问题得到简化,如天极出地平的高度等于观测点的地理纬度,简化了天体赤纬和天顶距之间的关系;上中天时天体的时角为 0 ,简化了时间换算,也简化了地平坐标与时角坐标之间的关系。

【影响天体位置的因素】测量天体的位置会受到观测者的环境的影响。首先是大气折射,又称蒙气差,星光前进的方向经地球大气折射而改变了方向,与理想的没有大气干扰的位置就不相同。尤其是大气复杂的运动所形成的反常折射,给进行大气折射改正造成困难。第二是周日视差,它是要把地面观测位置归算成地心观测位置,否则观测者随地球自转而改变着自己的空间位置,在不同的位置上观测同一天体会得到不相同的结果。第三是周年视差,它是要把地心观测位置归算成日心观测位置,否则观测者随地球公转而改变自己空间位置后,会得到不相同的测量结果。周年视差和周日视差也可以分别解决改日心位置为地心位置和改地心位置为地面观测位置的逆问题。第四是周年光行差。传播星光的光速和观测者随地球公转的高速度,使观测到的星光方向为这两个速度矢量合成的方向,从而与不参与公转运动的理想观测者得到不同的位置观测结果。第五是周日光行差。传播星光的光速与观测者随地球自转的速度矢量,合成实际观测到的星光位置,这与不参与自转运动的理想观测者观测到的位置不同。以上五项都是因观测环境,观测者空间位置和空间运动速度等原因影响天体位置的因素。

【大气折射】球面天文学名词。参见“影响天体位置的因素”。

【周日视差】球面天文学名词。参见“影响天体位置的因素和天体的距离”。

【周年视差】球面天文学名词。参见“影响天体位置的因素”及“天体的距离”。

【天体的距离】天体与我们的距离十分遥远,日常所用的距离单位都嫌太小,在天文学中量度距离有专用的距离单位。第一个是天文单位或天文距离单位,它是日地平均距离,历史上通过测量太阳视差而求得,20世纪60年代以后采用雷达天文观测结果,现在的采用值是 $1.49597870 \times 10^{11}$ 米,近似地说是1亿5千万千米。简称“AU”,通常用字母A表示。第二个是光年,是光在真空中一年内传播的距离。 $1 \text{ 光年} = 9.4605 \times 10^{12} \text{ 千米} = 63240 \text{ 天文单位} = 0.3066 \text{ 秒差距}$ 。第三个是秒差距,是比光年更大的距离单位,是恒星周年视差等于1"所相应的距离。 $1 \text{ 秒差距} = 3.261631 \text{ 光年} = 206264.8 \text{ 天文单位} = 3.085678 \times 10^{13} \text{ 千米}$ 。有时还使用千秒差距为单位。秒差距以符号pc表示,kpc是千秒差距。天文上表示天体的距离常常不用上述的距离单位而直接使用视差值,对太阳系天体使用地平周日视差,它是由天体看地球半径的张角;对恒星使用周年视差,它是由恒星看地球公转半径的张角,都小于1角秒,用字母 π 表示。若用 a 表示地球轨道半长径, y 表示恒星的距离,它们之间的关系为:

$$\sin\pi = \frac{a}{r}$$

它是其他一切视差测量的基础。除上述可用三角方法直接测量的视差外,还有用其它方法测量出来的视差,如力学视差、分光视差、平均视差等。

【天文单位】见“天体的距离”。

【光年】见“天体的距离”。

【秒差距】见“天体的距离”。

【岁差】天体的赤道坐标或黄道坐标值,因坐标原点随时间改变而发生的一种不断变化。引起坐标原点改变的原因是日、月和行星对地球的引力。日、月对地球赤道隆起部分的引力,造成地球进动,极轴在空间以约 26000 年的周期绕黄极描出 $23^{\circ}.5$ 半径的圆,天极位置改变赤道位置也随之改变,春分点就沿黄道每年西移 $50'' . 37$,这就是日月岁差。行星的引力引起黄道面和黄赤交角的变化,总的效应使春分点每年西移约 $50'' . 2$,这就是考虑行星岁差后的总岁差。春分点和天极都是坐标原点,它们的运动必然导致天体坐标随时间而变化。另外春分点的西移使回归年和恒星年区别开来。

【章动】天体的赤道坐标或黄道坐标值,因坐标原点随时间而改变发生的一种不断变化。它起因于地球、太阳与月亮相对位置的变化,使天极相对于黄极的长周期岁差运动又叠加上许多短周期的微小变化。其中最大的一项是月亮章动,周期 18.6 年,与月亮升交

点的黄经有关,是白道面位置变化而引起的。

【自行】恒星空间运动垂直于视线方向的分量,用一年内运动距离对观测者所张的角度来度量,单位为角秒/年,一般小于每年 $0''.1$ 。

【平位置】天体相对于平赤道和平春分点而言的坐标,可以从基本星表上直接查取相应于星表历元的恒星的平位置(平赤经和平赤纬),《天文年历》中恒星平位置指年初平位置。平位置加上章动改正就是天体相对于真赤道和真春分点的真位置。对于任一给定时刻的天体的观测位置,即视位置,它与平位置的关系为:视位置=平位置+自行+岁差和章动+光行差。《天文年历》中也载有恒星视位置表。

【真位置】见“平位置”。

【视位置】见“平位置”。

【历元】是一个时刻概念。天体的坐标或轨道要素,都是对某一确定时刻的赤道、黄道和春分点而言的。这个时刻就是刊载天体位置的星表的历元,或是那一组轨道要素的历元。

【地面点天文坐标】地面观测站的天文经纬度 λ, φ 。天顶方向与天球赤道面的夹角称为天文纬度 φ ,它从赤道面向南、北两极量度,从 0° — 90° 。通过格林尼治天文台的子午圈称为本初子午圈,规定它的天文经度 $\lambda = 0^\circ$,观测点子午圈与本初子午圈之间的夹角(或

在天赤道上的弧度)称为天文经度 λ 。在本初子午面以东的经度称为东经,以西称为西经。一般用 $0^\circ—180^\circ$ 或用 $0^h—12^h$ 表示。

【大地坐标系】建立在参考椭球上的坐标系 $B、L$ 。地球是一个近似的旋转椭球体。建立一个以地心为中心,地球自转轴为旋转轴的参考椭球体。大地坐标系的基本方向是参考椭球面的法线。观测点的法线与参考椭球体赤道面之间的夹角称为大地纬度 B 。通过法线与参考椭球体旋转轴的平面称为大地子午面,该点的大地子午面同格林尼治天文台的本初子午面之间的夹角称为大地经度,用 L 表示。 $L、B$ 的量度方法与天文经纬度 $\lambda、\varphi$ 相同。

【地心坐标系】地面点的直角坐标系和极坐标系。天文坐标系和大地坐标系都是球面坐标系,是地面点的地理坐标。地心坐标系包含地心直角坐标系和地心极坐标系。地心直角坐标系是以地球质心为坐标原点,以参考椭球体旋转轴为 Z 轴,以参考椭球体赤道面为 XY 平面。 X 轴是椭球赤道面与本初子午面的交线。 Y 轴在 X 轴的右侧 90° 。地面上任何一点的坐标可用 $X、Y、Z$ 三个坐标值表示。地心极坐标中,地面上一点与地心连线称为地心向径 ρ ,地心向径与赤道面的夹角称为地心纬度 φ ,地面点的子午面与本初子午面的两面角称为地心经度 λ 。 $\rho、\lambda$ 和 φ 为地心极坐标系中的三个坐标。

【地面点坐标的测定】地面点的坐标可用天文和大地测量的方法来测定。经典的光学方法主要用精密的光学经纬仪和天文上的中星仪,棱镜等高仪、照相天顶筒等仪器,用中天法、双星等高法、多星等高法和太尔各特法等方法来测定时间和天文纬度 φ 。天文经度

是同一瞬间观测地和本初子午线的时间之差,即 $\lambda = s - S$ 。通过收录天文台发播的标准时号确定 S ,用观测方法测定地方时 s ,即可得到天文经度 λ 。把天文经纬度经过改正,得到大地坐标。近 20 年来,人造卫星激光测距、甚长基线干涉测量和全球定位系统等新技术的发展,使地面点的地心坐标的测量精度达到了厘米级。

【太尔各特法】测定天文纬度的一种方法。1857 年,美国大地天文学家太尔各特提出了用测定一对恒星中天顶距之差的方法来测定纬度 φ 。设两颗恒星的赤纬分别为 δ_s 和 δ_n ,先后在天顶以南和以北上中天,中天的天顶距为 z_s 和 z_n ,则有:

$$\varphi = \delta_s + (z_s + \rho_s)$$

$$\varphi = \delta_n - (z_n + \rho_n)$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_s + \delta_n) + \frac{1}{2}(z_s - z_n) + \frac{1}{2}(\rho_s - \rho_n)$$

ρ_s 和 ρ_n 为大气折射改正。可以通过目镜测微器测定一对星的中天天顶距之差;避免了直接测定天顶距带来的误差。这种方法要求选取的太尔各特星对的天顶距之差小于 25 角分,并且仪器上附有灵敏的水准器,用于改正在一对星观测过程中望远镜天顶距的微小变化。这种方法精度比较高,在大地测量和天文观测中普遍应用。

【多星等高法】同时测定时间和天文纬度的方法。它的基本原理是在同一等高圈上观测一组恒星,记录恒星经过等高圈的时刻,由基本公式计算得到钟差 u 和天文纬度 φ 。

$\cos z = \sin \varphi \sin \delta_i + \cos \varphi \cos \delta_i \cos (t_i + u - \alpha_i)$ 式中 z 是等高圈的天顶距, α_i 、 δ_i 是恒星的赤经赤纬, T_i 是恒星过等高圈的时刻。 z 、 u 、 φ 是三个待测定的未知量,观测一组星 ($i > 3$),可以用最小二乘法

解出 z 、 u 和 φ 。用棱镜等高仪来实现这种方法。目前中国在天文上应用的是中国 70 年代自行设计制造的光电棱镜等高仪,观测精度相当高。

【中天法】测定时间(钟差)的方法。方法的基本原理是恒星中天时刻的地方恒星时等于该星的赤经,即 $S = \alpha$ 。地方恒星时 $S = T + u$, T 为中天瞬间记录的钟面时间, u 为钟差。观测所用的仪器主要有光电中星仪、照相天顶筒和精密的经纬仪。只要观测一组星,可以解出钟差 u 。精确的时间为 $T + u$ 。

【天文导航】通过天文观测确定轮船和飞机在航行中的位置。在航行中,轮船和飞机经常要确定它们所处的位置,以决定其航行的方向。经典的方法利用六分仪测定太阳或亮星的天顶距(或高度),并收录天文台发播的标准时间,从航海航空年历中查出天体在观测时刻的赤经赤纬,利用航海航空专用的计算表册和图解仪器,确定出轮船和飞机所处的地理位置和方位。60 年代以来,已用子午仪导航卫星作为导航工具,利用多普勒观测方法,并用计算机处理,及时提供出轮船和飞机所处的地理经纬度和地心位置。80 年代美国计划发射 24 颗卫星(已发射 18 颗)作为全球定位和导航卫星,称为全球定位系统。导航的精度将有很大的提高。

【地极】地球自转轴和地球南北表面相交的点,分别称为地球北极和南极。

【纬度变化】19 世纪 40 年代,俄国普尔科沃天文台首先发现了纬度的变化,后来德国柏林天文台也发现了纬度变化与普尔科沃的

变化相似。当时德国天文学家居斯特纳指出纬度变化是由于地极运动引起的。近百年来的分析研究,说明纬度存在周年和约 1.2 年的周期变化,以及存在长期变化。

【极移】地球瞬时自转轴在地球内部的运动。欧拉在 1765 年曾预言地球自转轴在刚体地球内部存在着自由摆动,摆动的周期约为 305 天。1888 年德国的居斯特纳指出纬度的变化是由地极移动的结果。于 1891—1892 年在经度相差近 180° 的柏林($\lambda = +18^\circ 20'$)和檀香山($\lambda = -157^\circ 15'$)两地同时进行纬度观测。两地的纬度存在反相的变化,证实了地球瞬时自转轴在地球内部运动的论点。1891 年,美国天文学家张德勒分析了 3 万多个纬度观测值,发现极移存在两个主要的周期成份,一个是周年周期,另一个是近 1.2 年的周期,后者被称为张德勒周期。地极移动的范围不超过 $\pm 0''.4$, 约在 24 平方米的范围内移动。极移使地面上各点的纬度、经度和方位角发生变化。1899 年国际上成立了国际纬度服务组织,组织全球性的纬度观测,研究地极的运动(见“国际纬度服务”)。经研究,发现地极还存在长期的漂移和周期约 30 年的长周期摆动。

【长期极移】地极的长期漂移。1960 年美国天文学家马可维茨处理了国际纬度服务的资料,指出地极存在长期的漂移,并叠加一种周期为 24 年的长周期摆动。为了研究长期极移,需要在地球上确定一个参考原点,国际上采用了国际习用原点(CIO)为参考原点。把国际纬度服务 80 年累积的观测资料归算到 CIO 系统。对统一后的资料处理分析,求出长期极移的统计结果为:地极以平均速度每年约 $0''.0035$, 向西经 80° 左右方向长期漂移。从古气候、古生物、古地磁等研究发现地球自转极和地球磁极在地质年代里存在

过大范围的移动。

【极原点】统一的地极坐标原点。为了研究地极运动,1967年,国际天文学联合会(IAU)、国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)决定采用统一的地极坐标原点。决定用国际纬度服务 ILS 的五个国际纬度站 1900 年至 1905 年期间各自观测的纬度的平均值,作为平均纬度值,由此确定的是地球自转极的平均位置作为极原点,称为国际习用原点,简称为 CIO。

【张德勒摆动】地极运动的一种主要周期项。1891年,美国天文学家张德勒研究分析了世界上 17 个天文台 3 万多次纬度观测资料,发现由于极移引起的纬度变化除了周年变化外,还存在 14 个月的周期变化。很快被证实是欧拉 1765 年曾预言的地极在刚体地球内部的自由摆动,周期为 305 天,实际观测到的不存在 305 天的周期,而是近 14 个月的周期,被称为张德勒周期,或张德勒摆动。张德勒摆动的周期比欧拉周期长得多,是由于地球不是一个刚体,地球存在弹性形变和存在海洋的结果。张德勒摆动的振幅为 $0''.12$ 左右。从观测分析发现张德勒摆动的周期在 410 天至 445 天的范围内变化,平均周期为 434 天,而且摆动的振幅也变化。张德勒摆动与地球内部和地球表面物质的运动(如水和大气质量分布的变化)密切相关,变化的原因有待于进一步研究。

【非极纬度变化】纬度变化主要是由于地极的运动引起的,称为极性的纬度变化。此外,观测到的纬度变化还包含着非地极运动引起的成份,称之为非极纬度变化。这种变化主要由于以下几种原因:观测站随地球板块的运动;地球形变;测站铅垂线的变化;测站的

外界条件、气候条件的变化；仪器和观测者的误差以及星表的恒星赤纬、自行、周年光行差常数和章动常数的误差。由纬度观测资料得到地极坐标时，用下面公式计算：

$$\Delta\varphi_i = x\cos\lambda_i + y\sin\lambda_i + z$$

式中 $\Delta\varphi_i$ 是观测的纬度变化， λ_i 是观测站的地理经度， x 、 y 是地极坐标， z 是由于非极纬度变化引入的各台站共同的量。扣除共同的 z 项后，再分析研究各台站地方性的非极纬度变化。

【国际纬度服务】观测并综合处理纬度观测，提供地极坐标的国际组织，简称为 ILS。1895 年第十一届国际大地测量学协会（IAG）大会决定组织对纬度变化进行系统观测、研究分析，成立国际纬度服务组织。在北纬 $39^{\circ}08'$ 纬圈上建立了五个国际纬度站，于 1899 年开始正式观测。它们的名称、地理位置分别为：

站 名	经 度	纬 度	所在国
水泽 (Mizusawa)	$-141^{\circ}07'51''$	$39^{\circ}08'3''.602$	日本
基塔布 (Kitab)	$-66^{\circ}52'51''$	1.850	俄国
卡洛福特 (Carloforte)	$-8^{\circ}18'44''$	8.941	意大利
盖瑟斯堡 (Gaithersburg)	$+77^{\circ}11'57''$	13.202	美国
尤凯亚 (Ukiah)	$+128^{\circ}12'35''$	12.096	美国

各台站用统一的蔡司天顶仪、按统一的观测星表、观测纲要进行连续地观测纬度，由 ILS 中央局统一处理计算，解出地极坐

标值,发表并提供给使用单位。1962 年开始改组为国际极移服务。

【极移服务】为满足大地测量、地球物理、空间科学等方面的需要,用天文方法连续测定和提供地极坐标的工作。从 19 世纪以来,提供极移服务的国际组织有:国际纬度服务 (ILS),1962 年由国际极移服务机构 (IPMS) 代替了 ILS 的工作,国际时间局 (BIH),达尔格伦地极监视服务 (DPMS),苏联标准时刻 (СВ) 和中国极移服务等。1988 年开始,国际上成立了国际地球自转服务机构 (IERS),它代替了 IPMS 和 BIH 的工作,利用甚长基线干涉测量、人造卫星激光测距和月球激光测距等新技术,定期地提供高精度的地球定位参数。

【国际极移服务】国际极移服务的组织,简称为 IPMS。为了改进国际纬度服务的工作,提高地极坐标的精度,1960 年国际大地测量和地球物理联合会第十二届大会和 1961 年第十一届国际天文学联合会分别作出决议:将 ILS 改组并扩大为国际极移服务,中央局从意大利迁到日本的水泽国际纬度站,成立 IPMS 机构。IPMS 除了利用 ILS 台站的纬度观测资料外,将国际上利用等高仪,照相天顶筒等仪器观测得到的纬度资料来综合处理,定期发表地极坐标并研究分析极移。IPMS 工作于 1988 年被国际地球自转服务 (IERS) 组织取代。

【时间的计量】时间计量通常包含两个含意,一是时刻,二是时间间隔。时间间隔是指客观物质运动的两个不同状态间所经历的时间历程。时刻是指客观物质运动的某一瞬间,通常以该瞬间和确定的时间坐标轴起点之间的时间间隔。例如,此刻是某年某月某

日几点几分，是一个时刻的概念。时间的计量系统应当是均匀的、可以测量和连续的。用不同的物质运动过程来计量时间，得到不同的时间计量系统。例如，以地球自转为基准，相对于太阳来计量时间得到的是太阳时，相对于恒星来计量时间，称为恒星时，以原子的跃迁频率为基准的时间系统称为原子时。

【年】以地球绕太阳公转运动为基准的计量时间单位。地球绕太阳公转，在天球上的反映是太阳的周年视运动。为适应各种需要，用不同的计量的参考点，存在四种“年”的计量单位。(1) 回归年，以春分点为参考点，太阳在天球上连续两次通过春分点所需的时间间隔，称为一回归年。它的长度为 365.24220 平太阳日（参见“日”）。现行的公历就是按回归年的长度确定的。为方便起见，公历的年取 365 日，每四年加一闰年，为 366 天。(2) 恒星年，太阳在天球上连续两次通过某一恒星所需的时间间隔，长度为 365.25636 平太阳日。(3) 近点年，地球连续两次经过近日点所需的时间间隔，长度为 365.25964 平太阳日。(4) 交点年（又称食年），是太阳在天球上连续两经过月球轨道的升交点所需的时间间隔，长度为 346.62003 平太阳日。交点年对计算日食有重要作用。

【月】以月球绕地球公转为计量的时间单位。存在五种计量月的单位。(1) 朔望月，是以月球公转时相对于太阳位置的变化，产生了朔、上弦、望和下弦的月相变化。连续两次朔日的时间间隔为一个朔望月，长度为 29.53059 平太阳日。中国传统采用的农历和伊斯兰国家采用的阴历都是以朔望月为月的单位。(2) 交点月，月球公转在天球上连续两次自南向北通过升交点（白道与黄道交点）所需的时间间隔，长度为 27.21222 平太阳日。(3) 分点月

(又称回归月), 月球公转的黄经连续两次等于春分点黄经所需的时间间隔, 长度为 27.32158 平太阳日。(4) 恒星月, 月球在天球上连续两次通过某一恒星所需的时间间隔, 长度为 27.32166 平太阳日。(5) 公历月, 一公历年分为 12 个月, 1、3、5、7、8、10 和 12 月各为 31 个平太阳日, 4、6、9 和 11 月各为 30 个平太阳日, 2 月份为 28 个平太阳日, 闰年为 29 个平太阳日。

【日】以地球自转运动为计量的时间单位。根据天球上不同的参考点来计量地球自转一周的时间间隔, 存在三种不同的“日”的单位。(1) 真太阳日, 是真太阳在天球上连续两次上中天所需的时间间隔, 称为一个真太阳日。由于地球绕太阳的公转速率是不均匀的, 使真太阳日除了以地球的周日运动为基准外, 还受到公转的影响, 因此真太阳日的长度是不断变化的, 是不均匀的。(2) 平太阳日, 为了得到均匀的“日”的长度单位, 在天球赤道上设置了一个假想的太阳, 它以真太阳在黄道上运动的平均速度均匀运动, 称为平太阳。平太阳在天球上连续两次上中天的时间间隔为一平太阳日。在日常生活中, 以平太阳日的长度为基础。(3) 恒星日, 春分点连续两次上中天的时间间隔。由于地球自转轴在空间存在岁差和章动, 受岁差和章动影响的恒星日称为真恒星日, 扣除章动的影响, 仅受岁差影响的恒星日称为平恒星日。一个平恒星日等于平太阳日 23 小时 56 分 4.09054 秒。

【真太阳时】以真太阳为基准的计量时间系统。太阳视面中心连续两次上中天的时间间隔为一个真太阳日, 以真太阳下中天瞬间(真子夜)为一日的起始点。一真太阳日分为 24 真太阳时, 一真太阳时等于 60 真太阳分, 一真太阳时分等于 60 真太阳时秒。不

是均匀的时间系统。

【平太阳时】以平太阳为基准的计量时间系统。定义平太阳连续两次上中天的时间间隔为一个平太阳日，一平太阳日等分为 24 平太阳时，一平太阳时等于 60 平太阳时分，一平太阳时分等于 60 平太阳时秒。平太阳下中天的时刻称为平子夜，作为平太阳日的起算点，平时为 0^h 。

【时差】真太阳时和平太阳时的时刻之差。由于真太阳时是不均的，平太阳时是均匀的，两者之间的时间差称为时差。可用 η 表示为

$$\eta = \text{真太阳时} - \text{平太阳时}$$

时差 η 的变化与地点无关，只与日期有关。一年中有四次时差为零，分别于 4 月 16 日、6 月 15 日、9 月 1 日和 12 月 24 日左右。中国天文年历太阳表中列出每天的时差值。

【恒星时】以春分点为参考点的计量时间系统。春分点连续两次上中天的时间间隔为一恒星日，并以春分点上中天瞬间作为日的起算点。一恒星日分为 24 恒星时，一恒星时分为 60 恒星时分，一恒星时分等于 60 恒星时秒。任一时刻的恒星时等于该瞬间春分点的时角，即 $s = T_v$ 。地方恒星时由观测恒星来确定。若一颗恒星的赤经为 α ，它的时角为 t ，则地方恒星时

$$s = T_v = \alpha + t$$

当恒星上中天时， $t = 0$ ，则 $s = \alpha$ 。

【地方时】观测点子午圈为基准的时间系统。真太阳时、平太阳时和恒星时分别以真太阳、平太阳和春分点为参考点，并以过观测

地点的子午圈瞬间为起算点。在地球上不同地理经度的观测点,它们的天球子午圈也是不相同的。因此,参考点过不同子午圈的时刻不同,使真太阳时、平太阳时和恒星时都具有地方性。在一个观测点测定的时间称之为地方时。

【本初子午圈】计量世界时的起始子午圈。1884年,在华盛顿举行的国际子午线会议上,决定采用英国伦敦格林尼治天文台埃里中星仪所在的子午线为零子午线,对应的天子午圈称为本初子午圈,作为计量时间和经度的标准参考子午圈。从本初子午线开始,分别向东和向西计量地理经度,从 0° — 180° ,位在本初子午线以东为东经,以西为西经。1957年后,格林尼治天文台迁移台址,国际上改用若干天文测时结果长期稳定性较好的天文台组成平均天文台作为参考,求出平均天文台经度原点的子午线作为本初子午线。

【区时】分区计时制。由于各地方的地方时都不一致,很不方便。1884年在华盛顿举行的国际子午线会议上规定,全世界统一实行分区计时制。从本初子午线为 0° 开始,向东、向西每 15° 划为一区,共24个区。 0° 、 15° 及15倍数的东、西经线为标准时线。标准时线左右各 7.5° 的经度范围内属于同一时区,这一地区统一用这时区标准线的地方时,称为区时。本初子午线所在的时区为零时区,向东分别为东一、东二、……东十二区,向西分别为西一、西二、……西十二区。中国幅员辽阔,横跨东五、六、七、八和九五个时区,全国统一采用首都北京所在的东八区的区时,即东经 120° 地方时,称为“北京时间”。

【日界线】国际日期变更线。地球连续地自西向东自转,地球上的

日期从什么地方开始计量,需要统一。国际上规定在太平洋中,以 180° 经线为基准,避过陆地和岛屿,画一条国际日期变更线,称为日界线。从西十二区跨过日界线进入东十二区,日期加一天,反之,从东十二区到西十二区,日期减一天。

【世界时】格林尼治本初子午线的平太阳时。平太阳在格林尼治子午圈上中天瞬间,平太阳时为 12^h ,即世界时 12^h 。世界时简称为UT。世界时是以地球自转为基准的,它与恒星时存在严格的换算关系。直接观测得到的世界时称为 UT_0 ,因 UT_0 受到极移的影响(参见“极移”), UT_0 改正极移的影响后,得到 $UT_1=UT_0+\Delta\lambda$ 。地球自转存在季节性变化,扣除其影响后,得到 $UT_2=UT_0+\Delta\lambda+\Delta T_s$ 为季节性变化改正。 UT_0 、 UT_1 和 UT_2 称为世界时系统。区时和世界时的关系为

$UT=T_N-N$ T_N 为本初子午线以东 N 区的区时。

$UT=T_N+N$ T_N 为本初子午线以西 N 区的区时。

【历书时】以地球公转为基准的计量时间系统(ET)。由于地球自转是不均匀的,以自转为基准的世界时系统也是不均匀的。为了得到均匀的计量时间的单位,1958年第十届国际天文学联合会决定以地球公转作为计量时间单位,称为历书时。历书时的精确定义为“历书时(ET)从公历1900.0太阳几何平黄经为 $279^\circ41'27''.54$ 瞬间起算,这一瞬间的历书时记为1900年1月0日12时正。1900.0瞬间回归年长度的 31556925.9747 分之一定义为历书时秒长”。1960年开始,各国天文年历的太阳、月球和行星历表都以历书时为基准。历书时与世界时之差为:

$$\Delta T=ET-UT。$$

【原子时】以原子内部运动规律为基准的时间计量系统。原子中的电子在不同能级之间跃迁时产生跃迁的电磁波频率非常稳定。1967年10月第十三届国际度量衡会议通过了新的时间计量单位——原子时。原子时秒长的精确定义为“位于海平面的铯133原子基态两个超精细能级在零磁场中跃迁辐射9,192,631,770周所持续的时间”。原子时起始时刻定在1958年1月1日0^h(UT)这一瞬间,世界时和原子时相差0.0039秒。目前国际上原子时系统称为TAI。原子时非常稳定,铯原子钟的稳定度为 10^{-12} — 10^{-13} (每天变化0.001秒,相当于 10^{-8} 量级)。由于地球自转不均匀,世界时和原子时之差逐渐累积,到1992年累积差已达26^s。

【力学时】以天体动力学理论计算得到、天文历表所用的时间系统。以太阳系质心为基准的力学时,称为太阳系质心力学时,记为TDB。以地球质心为基准的称为地球力学时,记为TDT。力学时和原子时(TAI)间的关系:规定1977年1月1日0^h00^m00^sTAI瞬间对应的地球力学时为1977年1月1.0003725日(即1日0^h00^m32^s.184)。即 $TDT = TAI + 32^s.184$ 。力学时与世界时之差 ΔT 为

$$\Delta T = TDT - UT = TAI - UT_1 + 32^s.184$$

根据国际天文学联合会决议,天文年历从1984年开始采用新的标准历元。即2000年1月1.5日TDB为J2000.0,此时儒略日JD=2451545.0。

【协调世界时】以原子时秒长为基准,在时刻上尽量和世界时相近的一种时间计量系统。由于地球自转不均匀,世界时和原子时的

累积差越来越大。由于各国时间服务以原子时为基准，发播标准时间和频率标准，而大地测量、天文导航和宇宙飞行器的跟踪、定位需要以地球自转为基准的世界时。为了满足两方面的需要，采用了协调世界时（ UT_C ）。 UT_C 的频率和 TAI 频率完全一致（即秒长单位相同），为了保证 $|UT_1 - UT_C| < 0.7s$ ，当接近 $0.7s$ 时，在 UT_C 中加上一秒或减少一秒，称之为跳秒。跳秒是由国际地球自转服务组织决定，规定必要时在一年的 6 月 30 日或 12 月 31 日跳秒。这样， UT_C 和 TAI 之差的累积数为整秒数。1992 年为 26^s 。

【时间服务】提供标准时间和频率的工作。准确的时间不仅日常生活需要，更重要的是大地测量、航海、航空和空间科学需要精确的时间和频率。在天文上，利用精确的世界时和原子时来研究地球自转的变化。此外，标准频率在无线电频谱标准等方面有广泛的用途。目前时间服务包括世界时服务和原子时服务。由天文单位精确地测定世界时，由国际地球自转服务组织综合处理，定期地提供 $UT_1 - UT_C$ 和 $UT_1 - TAI$ 资料，并由授时台用协调世界时或原子时发播无线电时号和标准频率，最后授时台提供综合时号改正数，以改正发播时刻的误差。发播无线电时号所用的频率有超高频、甚高频、高频、中频、低频和甚低频。主要的授时台有中国的陕西天文台，发播 BPM、BPL 时号，有美国夏威夷发播 WWV、WWVH 和 WWVL 时号，日本的 JJY，还有英国的 MSF，法国的 FTK 和原苏联的 RAT 等。

【国际时间局】国际性地球自转服务组织（简称 BIH）。1911 年在法国举行一次国际会议上决定成立国际时间服务组织——国际时间局。1919 年由国际天文学联合会主持国际时间局工作。BIH 中

央局设在法国巴黎，它的主要任务是收集和综合处理世界上各天文台的测时、测纬的观测资料，定期提供精确的世界时和地极坐标。主持天文台的国际经度联测，收集和处理全世界原子钟的比对和无线电时号发播资料，提供国际原子时和协调时等资料。BIH 定期出版的刊物有简报 A、B、C、D 和年报。简报 B 是月刊，刊载 $UT_1 - UT_C$ 、地极坐标及观测值。年报是刊载世界时、地极坐标、原子时的计算方法和详细的结果。1987 年 IAU 和 IUGG 决定成立国际地球自转服务组织 (IERS)，取代了 BIH 和 IPMS 的工作。综合处理甚长基线干涉测量、人造卫星激光测距和月球激光测距的资料，提供高精度的地球定位参数 X 、 Y 、 $UT_1 - UT_C$ 和参考系坐标。

【天文钟】天文观测和时间计量的主要工具。17 世纪开始使用天文摆钟，由于摆长随温度变化，钟的速率变化每天为 1 秒左右。1924 年出现了邵特钟，放在恒温室内，每天的误差减少到千分之几秒。1929 年出现了石英钟，经过不断改进，到 50 年代初，石英钟的精度达到了 10^{-9} 量级，高精度的石英钟误差在几十年内不超过一秒。1955 年，英国的埃森等人首先研制成功了铯原子钟，使时间频率计量精度提高了几个量级，准确度和稳定度达到了 $10^{-12} - 10^{-13}$ 量级。1967 年，国际上通过了新的时间计量单位——原子时。除铯原子钟外，还出现了多种原子钟，如铷钟、氢钟，氢钟的准确度达到 10^{-15} 量级。

【地球自转不均匀性】20 世纪 30 年代，出现了石英钟后，发现地球自转存在周期性和非周期性的变化。周期性的变化主要有周年的和半年的季节性变化、短周期变化和长周期的变化。地球自转

在春季变慢、秋季变快，变化的振幅约 20—25 毫秒。半年周期项的振幅约 9 毫秒。周年项和半年项的变化主要由于大气环流的季节性变化和太阳潮汐引起的。地球自转存在 13.66 天和 27.56 天的短周期项，振幅约为 1 毫秒，主要是因月球的潮汐引力引起的。近期的研究还发现地球自转存在一种周期约 50 天的振荡，幅度约为 0.3 毫秒。长周期变化主要有 60 年、30 年、22 年、11 年等周期项。地球自转的非周期变化，主要包括长期减慢和不规则变化。地球自转存在时快时慢的不规则变化，在几个星期到几个月内变化约有零点几毫秒。引起这种变化的原因还不清楚。由于地球自转速率的变化，所以以地球自转为基准的世界时系统也是不均匀的。

【地球自转长期减慢】由于潮汐摩擦使地球自转长期变慢，使日的长度在 100 年内大约增加 1—2 毫秒。通过对月球、太阳、行星以及古日月食记载资料的分析，可以确定地球自转的长期减慢。通过对古珊瑚化石生长线（化石表壁上的环脊）的研究，也证实了地球自转的长期减慢。由研究发现在 37000 万年以前，每年约有 400 天左右，说明早期的地球自转比现在快得多。引起地球自转长期减慢的主要原因地球在日月引潮力的作用下产生潮汐摩擦以及地球的弹性形变。在近 2000 年来地球自转变慢累积的时间约 2 个多小时。

【北京时间】见“区时”。

【天体位置的绝对测量】绝对测定天体的赤经赤纬的方法。绝对测量的方法是对天体的赤经、赤纬进行完全独立的观测，不依赖已

有的观测星表的数据和恒星位置，独立测定仪器的误差改正和春分点的位置。主要用子午环对恒星进行中天观测。绝对测量的精度比较高，但观测的程序繁多，因此只用于测定少量较亮的恒星，来编制基本星表。

【天体位置的相对测定】以绝对测定的天体位置为基准，比较测定大量天体的位置。相对测定有子午测定法和照相测定方法。子午相对测定的基本原理是选取若干颗已被绝对方法测定的恒星作为定标星。通过定标星的中天观测，测定钟差和子午环视线的定向误差，以及度盘的赤道点。把待测星和定标星联合观测，记录中天的时刻和度盘读数，处理得到恒星的赤经、赤纬。相对测定的方法可以测定大量恒星的位置，精度比绝对测定差，用于编制综合星表。

【惯性参考系】仅具有匀速直线运动的参考系，在该参考坐标系中牛顿运动方程严格成立。由于天文观测得到的地面的或空间的坐标受到地球自转、公转的复杂运动的影响，例如，岁差、章动、光行差、视差、地极运动、地球自转不均匀和恒星自行等因素的影响。由观测得到的恒星位置，经过系统的自行改正、赤纬、赤经的零点改正，综合得到球面基本坐标系。再经过岁差、银河系自转、视差等改正得到没有旋转的空间惯性参考系。目前使用的FK5星表，约有4500颗恒星的位置，这是一个精度很高的基本参考系，或称为准惯性参考系。对河外射电源的观测，改进FK5参考系的自行和岁差常数，把它和河外射电源参考系有效地联系起来，过渡到惯性坐标系。

【照相天体测量方法】用照相方法测定天体的位置。这种方法必须已知一部分恒星的位置，把它们作为定标星，对其他天体作相对测量。包括三个基本过程：首先利用天文照相望远镜对某一天区进行曝光拍照，把星像拍到玻璃底片上。在曝光过程中必须准确稳定地跟踪恒星的周日运动，得到清晰的星像。然后利用坐标量度仪精确地量出底片上定标星和被测星的直角坐标，最后将量度坐标通过换算公式，计算得到被测星的赤经赤纬。照相天体测量方法的优点是：可以同时测定一批恒星的位置；底片可以长期保存，即文献性好；精度比目视方法高 1.5—2 倍，平均定位精度约为 $0''.15$ 。利用照相天体测量方法可以建立参考坐标系，例如德国天文学会第三星表 AGK3，它刊载了亮于 12 等的恒星位置和自行。还可以测定恒星的自行、视差和双星、聚星系统的运动。

【星表及星表系统】记载天体各种参数（如星等、光谱型、位置、自行等）的表册。编制基本坐标参考系是基本天体测量的一个重要任务。公元前 4 世纪，中国天文学家石申著有“天文”8 卷，称为“石氏星经”。其中刊载了 121 颗恒星的位置。公元前 2 世纪，古希腊的喜帕恰斯编制了一本载有 1002 颗恒星位置的星表。近二百年来，布拉得雷、贝塞耳、纽康和博斯等人对星表工作作了不少的贡献，使星表系统不断发展，精度不断提高。星表系统包括原始星表、复制星表和天体物理方面的星表。原始星表有：（1）粗略星表，星数多、精度低。如 1863 年德国波恩星表，简称 BD 星表，以及它的续表 SD，共刊载了 457847 颗星。（2）绝对星表，由一个天文台独立，绝对测定恒星位置编制的星表。它的星数少，精度高。例如格林尼治天文台第三任台长，布莱德累星表，有 1762 颗恒星。（3）相对星表，用相对方法观测编制的星表，包含的星

数多,相对来说精度低。例如德国天文学会 1910 年完成的 AGK1 星表,共有 144000 颗星。复制星表包括:(1) 基本星表,将不同天文台观测编制的绝对星表进行综合处理,减少各星表的误差,得到高精度的基本星表。主要的基本系统有:奥韦尔斯基本星表,由德国天文学会星表的定标星系统编制的基本星表,1879 年和 1883 年发表了北天 539 颗和南天 83 颗恒星的星位。经过 100 年来不断改进,于 1963 年出版了第四基本星表,称为 FK4。1973 年国际天文学联合会组织修订 FK4 星表,计划 1984 年出版 FK5 基本星表系统。现已出版的 FK5 基本星表,星等扩充到 9 等,星数增加到 4500 颗并采用了 1976 年天文常数系统、1980 年的章动常数,改正了自行和确定了新的分点位置和赤道。历元采用 J2000.0。这是当今天体测量上精度最高,应用最广泛的基本星表。其他基本星表还有博斯的 GC 总星表,包括 33,342 颗星,但暗星的精度不高。还有 N30 星表,包括 5268 颗星。(2) 综合星表主要有 AGK3, SRS 和 SAOC 等星表,其中 SAOC 星表是 1966 年美国史密松天体物理台为满足人造卫星照相观测编制的星表,载有 258997 颗星。天体物理方面的星表除了包括星位,自行等基本参数外,有些星表还包括色指数、视向速度等数据。这类星表有:(1) 1930—1936 年,美国哈佛大学天文台先后出版的 HD 星表,它包含了 272150 颗恒星的光谱型。(2) 1952 年美国耶鲁大学出版的恒星三角视差星表。(3) 变星总表,国际天文学联合会委托前苏联天文委员会汇编的有关变星的数据。(4) 双星星表,有多种双星星表,如目视双星、分光双星、密近双星、食双星轨道要素和双星总表等。(5) 特殊天体星表,例如,红外星星表,紫外星星表,类星体星表,磁星星表,白矮星星表、发射线星星表、河外射电源星表,河外天体星表等。

【光行差常数】天文常数之一。由于观测者随地球作公转、自转运动，光行差位移同观测者的平均速度 v 和光速 C 有关， v/C 称为光行差系数。光行差常数指地球公转运动产生的周年光行差常数 K 。1976 年国际天文学联合会确定的天文常数系统中，从 1984 年开始采用标准历元 J2000.0 光行差常数 K 值为 20.49552。

【岁差常数】天文常数之一。岁差常数是在一回归世纪内春分点沿黄道运动的岁差值，包括日月岁差 P_1 和行星岁差 λ ，即 $P = P_1 - \lambda \cos \epsilon$ (ϵ 为黄赤交角)。1984 年前采用纽康系统，对历元 1900.0 的岁差常数取为 $P = 5025''.64$ 。1976 年国际天文学联合会，通过新的岁差常数值，于 1984 年开始采用历元 J2000.0 年 $P = 5029''.0966$ 。

【章动常数】天文常数之一。真天极绕平级摆动，在 18.6 年内描绘出一个小椭圆。章动椭圆的长轴指向黄极方向，短轴指向春分点方向。章动椭圆的半长径称为章动常数，用 N 表示。19 世纪末，纽康给出的章动常数 $N = 9''.210$ 。1977 年章动和地球自转第 78 次讨论会建议采用章动常数对于历元 J2000.0， $N = 9''.2044$ 。并决定从 1984 年开始采用。

【黄赤交角】天文常数之一。黄道与天赤道的交角称为黄赤交角，用 ϵ 表示。由于黄道面位置的变化，黄赤交角存在长期变化。当前黄极以每世纪约 $47''$ 的速度向天极靠近。1901 年，纽康给出了计算黄赤交角的公式为 $\epsilon = 23^\circ 27' . 26'' . 845T - 0'' . 0059T^2 + 0'' . 00181T^3$ 式中 T 是 1900.0 年起算的儒略世纪。1976 年天文常数系统，采用

新的黄赤交角常数为 $\varepsilon = 23^{\circ}26' 21''.448$ 。

【星图】表征天体位置、亮度和形态的图。星图是将天体在天球上的视位置投影到平面上的图形，图上有赤经、赤纬分划线，是天文观测的基本工具之一。供天文爱好者使用的有活动星图，一般只在星图上标有亮于六等的恒星星像。另有各种不同特征、用途的星图供天文工作者观测天体使用。

目前主要的星图表

星图名称	极限星等	历元	出版年份
捷克斯洛伐克星图	7.75	1950	1962 年新版
诺登星图	6.35	1950	1978 年 17 版
米哈伊洛夫星图	8.25	1900	1970 年
波恩巡天星图	9.5	1955	50 年代新版
帕洛马天图	21.0		1962 年新版

【光电等高仪】用光电记录方法自动记录恒星过等高圈时刻的仪器。在 50 年代后期和 60 年代天文系统用丹戎超人差棱镜等高仪作等高观测，同时测定时间和纬度。为了克服目视观测的缺点，法国、英国、日本和中国先后进行研制光电等高仪。中国于 1971 年首先成功地制造出 I 型光电等高仪，在陕西天文台投入观测。1974 年又制造了三台 II 型光电等高仪，分别在云南天文台、上海天文

台和北京天文台投入观测。观测精度相当高,单星误差约 $\pm 0''.13$ 。

【天顶仪】精密测定天文纬度的仪器。这种仪器用于太尔各特法观测星对中天天顶距之差来测定天文纬度。天顶仪的主望远镜安装在水平轴的一端,能绕水平轴在子午面内旋转。目镜是一个带有动丝的测微器,用于测定天顶距之差。望远镜可绕垂直轴旋转 180° 。在观测星对时,可用一太尔各特水准器测定望远镜天顶距的微小的变化。国际纬度站所用的是蔡司天顶仪,物镜口径为135毫米,焦距为1750毫米,视场为 $25'$,目镜测微器的螺旋周值为 $41''.25$,太尔各特水准器的格值为 $1''.0$ 。其他台站曾用口径110毫米和180毫米的天顶仪。

【照相天顶筒】同时测定时间和纬度的天文仪器。50年代欧美国家采用照相天顶仪,测时测纬的精度比较高,中国于1976年研制一台照相天顶筒在天津纬度站投入观测。照相天顶筒的主体是一架对准天顶的照相望远镜,它的物镜部分可以准确地旋转 180° 。物镜的口径一般为20—25厘米,焦距为口径的15倍左右。镜筒的另端有一水银盘。观测时星光经过物镜聚焦,经水银面反射到处在物镜的第二主点上(在物镜下方约1—2厘米处),在第二主点位置有照相底片。照相底片被放在一底片架上,在观测时要移动底片跟踪恒星的运动,曝光20秒钟,可以拍到亮于 9^m 的恒星。用照相天顶仪测时测纬的精度,单星误差约 $0''.1—0''.3$ 。

【子午仪】中天观测天体的精密仪器。子午仪又称子午环,它的主要部分是一架物镜口径为15—20厘米、焦距约2米的折射望远镜,目镜端是一个目镜测微器。望远镜固定在东西方向的水平轴

上,可以在子午面内转动。水平轴一端有一个精密的垂直度盘。观测恒星中天时,用目镜测微器的动丝对准星像,测出恒星中天时偏离中央水平丝的角距,加上垂直度盘的读数,再加上大气折射的改正,得到这颗恒星中天时刻的天顶距,求出恒星的赤纬。当动丝跟踪星像记录时刻,可得到恒星中天的时刻。子午环的视线方向存在偏离子午线的误差,需在中天时刻中加上微小的改正。目前有些子午环采用光电记录,并可全自动记录。观测一颗恒星中天的单星的误差,赤经约为 $\pm 0''.20$ — $\pm 0''.30$,赤纬约为 $\pm 0''.30$ — $\pm 0''.45$ 。

【甚长基线干涉仪】射电干涉测量的仪器。60年代后期,发展了射电天文干涉测量新技术。用两架相距遥远的射电望远镜同时观测同一射电源,记录其信号,然后进行干涉处理。

【天体测量卫星】用于天体测量工作的人造卫星。观测天体测量卫星可以精确地测量地球上两地基线的距离、建立高精度的大地测量网,以及提供地极运动和日长变化的参数。自60年代中期以来,已发射近20颗装有后向反射的棱镜四面体的卫星,例如探险者22号、27号、29号、53号等卫星。1976年美国发射的“激光地球动力学卫星”,在半径约6000公里的近似圆轨道上运行,卫星表面上有426块后向反射器,成为人造卫星激光观测的主要目标。

【人造卫星多普勒观测】利用多普勒效应观测人造卫星的方法。人造卫星发射一种固定的频率信号,地面上用接收机接收其信号。当卫星运动向接收站接近时,接收到的频率比卫星发射的频率高,当卫星运动远离接收站时,收到的频率比卫星发射的固定频率低。利

用接收到的频率变化,可以推算出人造卫星的轨道要素。例如,观测“子午人导航卫星”可以建立高精度的大地测量网,提供地极的坐标,并可作为航海航空导航的一种方法。

【人造卫星激光测距】利用激光测量人造卫星距离的技术。60 年代中期,美国发射了带有后向反射器的人造卫星。后向反射器由一组石英光学四面体棱镜组成,它可以将光束按原方向反射回来。在地面上可以用人造卫星激光测距仪来测定卫星的距离。这种仪器有一台激光器,利用一个望远镜将激光向卫星方向发射,卫星的后向反射器将激光反射回来,再由望远镜接收信号。用一计时仪记录激光往返所需的时间,那么这一时间乘上光速就是观测瞬间卫星所处的距离的两倍。目前测距的精度已达到 2 厘米左右,用于精确测定基线的长途,观测网的大地坐标以及提供地极坐标和地球自转速率。

【月球激光测距】利用激光测定地月距离的技术。1967 年美国第一次载人登月飞行,宇航员在月面上安放了一个石英光学四面体的后向反射器。地面观测站有一台高功率的激光发生器,由一台口径 30 厘米左右的望远镜将激光束向月球反射,经后向反射器反射回来,再用一台口径约 1 米的望远镜接收信号,并用计时器记录激光往返的时间间隔,可以测定地球到月球的距离。目前测距的精度已达到几个厘米。利用高精度的测距资料可以研究地球自转的变化和地月系的变化。

天 体 力 学

【二体问题】两个视为质点的天体在相互之间的万有引力作用下的运动规律。是天体力学中唯一能得到完全解的力学模型。二体问题的运动方程是六阶的常微分方程,其完全解有六个独立积分,通常用六个轨道要素代表六个积分常数。通过解二体问题的运动方程表明:天体的运动轨道是一条不变的圆锥曲线,有椭圆、抛物线、双曲线三大类型。实际的天体都不是质点,但是,如果两个天体之间的距离比天体本身大得多时可以看作一个二体问题。它是研究很多天体(如:太阳引力作用下的行星、地球引力作用下的人造卫星等)真实运动的一级近似。物理学中凡是两个质点相互之间的吸引力大小与它们之间的距离平方成反比,都构成二体问题。

【开普勒定律】德国天文学家开普勒于1909—1916年期间总结了行星运动的观测资料得到的。其内容是:第一定律,行星绕太阳运动的轨道是一个椭圆,太阳位于该椭圆的一焦点上;第二定律,太阳与行星的连线(行星的日心向径)在相等的时间里扫过的面积相等,也称面积定律,第三定律,行星轨道的半长径 a 的立方与公转周期 T 的平方之比,对任何行星来说为常数,即 $a^3/T^2 = \text{常数}$ 。开普勒定律为牛顿发现万有引力定律奠定了基础,而后,万有引力定律反过来又修正了开普勒第三定律,即比值 a^3/T^2 严格

说不为常数而与行星的质量有关。

【活力公式】二体问题的一个能量积分，又称活力积分，其形式是

$$V^2 = G (M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

式中 G 为万有引力常数， M 和 m 分别代表两个天体的质量， V 和 r 表示两个天体相对运动的速度和距离， a 为积分常数，由初始时刻的速度和距离确定。若是椭圆轨道， a 为轨道半长径；若是抛物线轨道， a 为无穷大；若是双曲线轨道， a 为一负值。活力公式的物理意义是表示二个天体相对运动时，它们的总机械能（动能与位能之和）守恒。

【宇宙速度】在地面发射各类人造天体所必须的相对地球的最小速度。共有三个：（1）第一宇宙速度是指在地面发射一个环绕地球运动的人造卫星所需的最小速度，其数值约为 7.9 公里/秒；（2）第二宇宙速度是指在地面发射一个脱离地球的引力场，使其成为太阳系的人造行星所需的最小速度，其值约为 11.2 公里/秒；（3）第三宇宙速度是指在地面发射一个能摆脱太阳的引力束缚，使其飞向其他恒星的人造天体所需的最小速度，其值约为 16.7 公里/秒。

【作用范围】两个天体 M 、 m 同时存在时，质量较小的天体 m 周围的一个引力所及的区域。通常是指以 m 为中心，以某长度 ρ 为半径的一个球域。 ρ 称为作用范围半径。当另有第三个天体进入这个球域内时，主要考虑 m 对它的引力， M 对它的引力仅当作摄动力；当第三个天体在这个球域之外时，主要考虑 M 对它的引力， m

对它的引力仅当作摄动力。在近似计算中，忽略摄动、第三体与 M 、 m 构成的三体问题，以作用范围为界可以简化成两个二体问题。

【开普勒方程】二体问题的一个独立积分。表示天体在轨道上的位置与时间的函数关系。对于椭圆轨道，开普勒方程形式是

$$E - e \sin E = M$$

式中 M 为平近点角，它与时间 t 的关系是 $M = n(t - \tau)$ ， n 为天体平均运动角速度， τ 为过近日点时刻， e 为偏心率， E 为偏近点角，它与向径 r 有关， $r = a(1 - e \cos E)$ ， a 为轨道半长径。抛物线轨道和双曲线轨道也有类似的方程。

【三体问题】三个天体（质点）在相互万有引力作用下的运动规律。它是天体力学中古老的且又很难解的问题。已有 300 多年的研究历史，目前仍未有完全的分析解。三体问题的运动方程是十八阶的，其完全的分析解应有十八个独立积分，至今除找到十个经典积分外，还未找到新的代数积分。目前，常用的是用分析方法求近似解，或者通过定性方法与数值方法的研究，得到某些方面或某一局部时间范围内的一些运动规律。

【多体问题】又称 N 体问题。天体力学的基本内容之一。研究 N 个天体（质点）在相互引力作用下的运动状态，每个天体的初始状态（位置和速度）是任意的。这是一个特殊的质点系动力学问题。运动方程是 $6N$ 阶的，完全的分析解应有 $6N$ 个独立积分，研究表明目前只找到十个独立积分：三个积分表示系统的总动量守恒；三个积分表明系统的质心作匀速直线运动；三个积分表示系

统的总动量矩守恒；另外一个积分表明系统的能量守恒。自从电子计算机问世后，用数值方法研究 N 体问题得到相当满意的结果，如对太阳系外行星的运动已经计算了四五百年的位置。用定性方法研究 N 体问题得到一些特解的结构。二体问题和三体问题是 N 体问题的特例（ $N=2$ 和 $N=3$ 的情况）。

【摄动理论】 研究天体在摄动力干扰下的运动规律的方法和理论。天体力学的重要内容之一。由于各种力的作用，天体偏离二体问题轨道的现象称为摄动。受摄天体的运动方程形式复杂，没有严格的分析解，常用分析方法和数值方法求近似解，前者称为普遍摄动，后者称为特殊摄动。具体做法有三种：（1）常数变异法，以二体问题轨道根数为变量建立摄动方程；（2）坐标摄动法，以天体在实际轨道上的位置与某一中间轨道上的位置差作为变量建立摄动方程；（3）变换理论，通过一系列正则变换，降低运动方程的阶数，使其具有更简单的形式。摄动理论在物理学和工程技术上也被广泛采用，称为微扰理论。

【长期摄动】 天体的摄动量（轨道根数、坐标、速度等）随时间单调变化（增加或减小）部分。它表征天体运动的长期变化趋势，在研究天体运动时有重要意义，譬如，轨道半长径和偏心率的长期摄动直接关系到轨道的稳定性问题。

【周期摄动】 天体的轨道根数、位置、速度等随时间呈周期变化的部分，它表示了天体实际位置对平均位置的周期性偏离。周期摄动项中周期接近天体轨道周期的称为短周期摄动项，这些项数目多，变化振幅小；周期摄动项中周期比天体轨道周期长（有时大

几个量级)的项称为长周期项,它们对天体运动有明显的影响。两个或两个以上的大行星的平均公转角速度成简单整数比时,人造地球卫星的轨道倾角接近临界角($63^{\circ}26'$ 或 $116^{\circ}34'$)时,会出现周期非常长,振幅非常大的项,这需要用一些特殊的方法来研究。

【月球运动理论】研究月球运动的各种方法和理论。影响月球运动的因素很多,所以它的运动很复杂,一般分两步进行:第一步,将地球、月球、太阳三个天体当作质点,研究月球在地球和太阳引力作用下的运动,这称为“主问题”。月球运动理论通常是指解“主问题”的方法和理论;第二步,考虑地球和月球的非正球形影响,太阳相对地月质心的非椭圆轨道影响以及潮汐摩擦等。月球运动理论多达几十种。根据布朗月离理论编制的《月球运动表》自1923年起被编制天文年历采用。由于空间技术的发展,激光、雷达等现代化观测手段的应用,人类需要了解月球运动的更细微的结构,月球运动理论还在不断完善之中。月球运动中最主要的两项是:(1)月球轨道升交点西退,其周期是18.6135年,中国古代称为“一章”,它直接影响日月交食的计算。(2)月球近地点东进,周期为8.8475年,这对潮汐有影响。

【月球天平动】地球上的观测者看到月面不总是一面对对着地球,而出现“振动”的现象。由于月球的自转周期与它绕地球的公转周期相等,所以理论上说月球总是一面对对着地球,人们不能看到月球背面,但实际上人们能看到月球背面的边缘部分,能看的月球表面达59%,这就是天平动现象。月球天平动分为物理天平动和光学天平动两类。物理天平动是由于月球形状不规则,因此在地球引力作用下,月面产生微小摆动;光学天平动又称几何天平动

或视天平动，它有以下三种：(1) 经度天平动，由于月球公转运动不均匀，在近地点快，在远地点慢，而月球的自转是均匀的，因此，月球背面经度方向的東西边缘将有 $7^{\circ}45'$ 的地方被观测到。(2) 纬度天平动，由于月球自转轴与黄道面不垂直，在月球公转运动中，自转轴始终保持平行，因此可观测到月球背面南北极 $6^{\circ}41'$ 的区域。(3) 视差天平动和周日天平动，由于月球离地球较近，在同一时刻，地球上不同地点观测到的月面不全相同，同样原因，同一地点，不同时刻观测到的月面也不完全相同。于是观测者看到月面呈现“摆动”。

【大行星运动理论】研究大行星运动的方法和理论。大行星的运动主要受太阳引力支配，但同时也必须考虑大行星之间相互吸引的影响。大行星的运动方程没有严格的分析解。拉格朗日以行星的轨道要素为变量建立了拉格朗日行星运动方程，用级数解得到近似的分析表达式。说明行星的轨道变化存在长期项、周期项、长周期项。19 世纪纽康提出一种研究内行星运动的方法，兼有轨道要素和坐标摄动法的特点，后来世界各国根据他的理论计算内行星星历表。电子计算机问世后，人们可以用数值方法计算相当长时间内行星的星历表。自 1984 年起大行星历表采用太阳系天体运动方程组的数值积分的结果。

【小行星的运动】小行星是太阳系的一类小天体，绕太阳作周期运动，轨道的平均半径约为 2.8 天文单位，所以绝大多数小行星集中在火星和木星轨道之间，构成小行星带。小行星运动的最大特点是存在空隙和密集分布区。若用 n_1 、 n 分别代表木星和小行星运动的平均角速度，现已发现 n_1/n 的值为 $1/2$ 、 $2/5$ 、 $1/3$ 的地方为

空隙区； n_1/n 的值为 $1/1$ 、 $3/4$ 、 $2/3$ 的地方为密集区。这一现象要用天体力学的定性理论和共振理论作进一步解释。小行星的轨道倾角和偏心率普遍比大行星的大，不宜用研究大行星的分析方法来研究小行星的运动。目前，广泛采用数值方法直接计算几十年乃至几百年中小行星的位置和速度。

【脱罗央群小行星】以希腊神话中的英雄和脱罗央（又译特洛伊）城命名的两群小行星。它们分别与太阳和木星构成两个等边三角形，绕太阳运动的周期与木星的公转周期相同，是限制性三体问题拉格朗日特解（等边三角形解）的一个实例。脱罗央群小行星有 40 多个小行星组成，在木星前方 60° 处的称为希腊群小行星、在木星之后 60° 处的称为脱罗央群小行星。

【希腊群小行星】两群脱罗央群小行星之一。参见“脱罗央群小行星”。

【小行星轨道环空隙】小行星分布的一种不均匀现象。参见“小行星的运动”。

【彗星的运动】彗星是太阳系的一类小天体，它的运动轨道大多数是接近抛物线的双曲线，小部分彗星的轨道是很扁的大椭圆，这类彗星称为周期彗星，周期短的为几年（如：恩克彗星的周期只有 3 年），周期长的可达几千年甚至上万年。它们到太阳的距离小到只有千分之几的天文单位，大到近百个天文单位。当它们很接近太阳时，由于受到太阳的辐射压作用，使彗星的外层气体在背向太阳的方向产生一个“彗尾”。多数彗星的运动受木星的影响很

大，个别彗星受木星摄动后完全改变了原来的轨道。此外，彗星绕太阳的公转不都是由西向东的顺行，有南北方向运行的，甚至有从东向西的逆行。彗星运动的特点决定了不能用分析方法解彗星运动方程。从古至今人们都是用数值方法研究彗星运动，如：20世纪初科威耳和克洛梅林用科威耳方法直接计算彗星的直角坐标。恩克以中间轨道作为参考，然后在直角坐标系内计算与中间轨道的偏离。

【天体力学定性理论】天体力学的重要内容之一，用常微分方程的定性方法研究天体在长时间范围内的运动状态、轨道特征。定性理论的许多课题是针对三体问题展开的，它的主要研究课题有：天体在碰撞（天体之间的距离无限接近）前后轨道的变化、轨道之间的俘获和交换问题、运动方程的奇点存在以及如何消除问题、周期解的存在与稳定性问题等等。

【周期解理论】研究天体运动周期解的存在和稳定性的理论。经过一定的时间（一个周期）若天体的位置和速度又严格地回复到原来的数值，说明天体的运动方程存在周期解。寻找和证明周期解的存在主要通过定性方法。用分析方法也能研究特殊系统的周期解，如：限制性三体问题的拉格朗日特解。电子计算机在天体力学中应用后，可用数值方法寻找短周期解，但绝大多数只限于对平面限制性三体问题的研究。

【俘获理论】天体力学定性理论的著名问题之一。起初以三体问题为主要研究对象，探讨当三个天体无限接近、但又不发生碰撞的情况下，天体运动轨道发生巨大变化的情况。如果一个小天体原

来相对主星体的轨道是双曲线，在另一个天体的引力作用下，其双曲线轨道变成椭圆轨道，就说它被主星体俘获了。有人用俘获理论解释太阳系的起源，认为有些周期彗星和小行星原来是太阳系外的天体由于受行星或其他某些力的作用，被太阳“俘获”。20世纪60年代后，俘获理论也被用来研究如何使人造天体成为月球卫星、人造行星等。

【太阳系稳定性问题】从力学角度研究大行星运动状态是否稳定的问题。是天体力学和天体演化学相结合的一个研究课题。如果在几十亿年的时间内大行星的轨道大小和形状基本保持不变，太阳系就是稳定的。根据天体力学的定性理论已初步证明：若只考虑太阳和行星之间的相互引力作用，行星的轨道要素可以表示成一致收敛的三角级数，从而说明太阳系是稳定的。由于行星运动受介质阻力的影响，各行星间还可能发生轨道共振，因此，太阳系的稳定性问题有待进一步研究。

【天体力学数值方法】研究天体运动的基本方法之一。用数值方法解天体运动方程，得到一系列具体时刻天体的位置、速度或轨道根数的近似值。数值方法的优点是对天体的运动方程没有特殊的要求、应用范围广、计算公式简单、有相当高的精度。其缺点是用这种方法不能判断天体运动的规律和轨道演变的趋势。计算量也较大。应用数值方法要注意调整计算步长以避免计算误差的累积。也要注意方法的稳定性问题。当代高速度、大容量的电子计算机的出现，为数值方法开拓了更广泛的应用前景。目前，无论对自然天体还是人造天体，若要精确测定它们在一时间范围内的运动状态，普遍采用数值方法。在天体力学中用得较多的是科威

耳方法和阿当姆斯—科威耳方法。改进现有的方法，提出新的更好的方法是数值方法本身要研究的课题。

【天体的形状和自转理论】天体力学的一个分支。研究天体在内外引力作用下自转平衡时的形状以及自转轴在空间和天体内部的运动规律。形状理论以地球和行星为主要研究对象，采用转动的流体作为模型。自转理论对地球研究最多，如：岁差章动理论、地极的移动以及地球自转速率的变化等。自转理论采用的有刚体、刚体与流体和刚体与弹性体相结合的模式。

【洛希极限】当卫星离行星很近时，由于潮汐力的作用，使卫星的形状变成一细长的椭圆。当它们的距离近到一定程度时，潮汐力还会使卫星解体。这个使卫星解体的距离 A 称为洛希极限，由法国天文学家洛希首先提出而得名。它的数学形式是：

$$A = 2.45539 \left(\frac{\sigma'}{\sigma} \right)^{\frac{1}{3}} R$$

式中 R 为行星半径， σ 为卫星的密度， σ' 为行星的密度。系数 2.45539 是在假设卫星的质量与行星质量之比 μ 为零时的近似值，若 μ 不为零，其系数略有不同。

历书天文学和天文动力学

【轨道要素】表示天体运动的轨道在空间的位置、大小、形状以及

天体在轨道上位置的独立参数。也称轨道根数或轨道参数。通常是以下 6 个：轨道倾角 i 和轨道升交点经度 Ω ，它们表示轨道平面在空间的位置；轨道半长径 a 和轨道偏心率 e ，它们表征了轨道的大小和形状；近日点（或近星点）至升交点之间的角距 ω ，它确定了拱线的方向；过近日点（或近星点）的时刻 τ 。对于抛物线轨道，用近日距 q 代替半长径和偏心率，因此只有 5 个轨道要素。

【轨道计算】根据天体力学的理论和计算数学的某些方法初步确定天体轨道的过程。又称初轨计算。经典的轨道计算方法大致分两类：一是利用少量的观测资料（如：三次位置观测资料或一次位置和速度资料）算得某时刻天体的位置和速度，再根据这一时刻的位置和速度计算六个轨道根数。如：牛顿的图解法和 1780 年拉普拉斯提出的分析方法；另一类是利用少量的观测资料算得天体两个时刻的位置，然后计算轨道根数。如：计算小行星轨道的高斯方法和计算彗星轨道的奥尔贝斯法。经典的轨道计算多数用光学观测资料。在人造卫星的轨道计算中，由于采用雷达、激光等现代化观测手段，随之出现了不少相应的、比经典方法更简便的定轨方法。

【轨道改进】一种精密确定轨道的方法。用大量的观测资料修正由轨道计算得到的“初轨”。轨道改进方法最常用的是微分改进法。其过程是通过对天体进行许多次的观测，得到天体一系列时刻的位置的观测值。另外从理论上可以根据初始轨道计算这一系列时刻的理论值。用这些观测值与理论值之差（残差）建立条件方程，用最小二乘法求出初始轨道根数的改正值。

【贝塞尔日数】将恒星的平位置换算成视位置时用的一组参数。它反映了岁差、章动、光行差和周年视差等对恒星位置的影响。从贝塞尔岁首恒星平位置计算视位置的公式是：

$$\alpha = \alpha_0 + \tau \mu_\alpha + Aa + Bb + Cc + Dd + E,$$

$$\delta = \delta_0 + \tau \mu_\delta + Aa' + Bb' + Cc' + Dd'.$$

式中 $\alpha_0 \delta_0$ 为平赤经和平赤纬； τ 为贝塞尔岁首至当天的时间（以回归年为单位）， A 、 B 、 C 、 D 、 E 为贝塞尔日数；它们随日期而变化，每天的数值记入天文年历中，与恒星位置无关； μ_α 、 μ_δ 为年自行； a 、 a' 、 b 、 b' 、 c 、 c' 、 d 、 d' 是与恒星平位置有关的常数。若要换算更精确，可加上一项二次修正项。

【日食】月球运动到太阳和地球之间，地球上的部分地区看到太阳圆面被全部或部分遮除的现象。日食发生在朔日。月球受太阳光照射后在背向太阳的一面产生一个影子，该影子分为本影、半影、伪本影。由于地球和月球的轨道都不是正圆，日、月、地三者的距离时近、时远。因此，地球上的某地区若落在月球的本影里，该地区的观测者看到月面挡除了日面的全部，天空呈现漆黑一片，这就是日全食；若月地距离较远，地球上的某些地区落在月球的伪本影里，该地区的观测者看到月面挡除了太阳圆面的中间部分，边缘留有一光环，这就是日环食；若地球的某些地区落在月球半影里，人们看到的是月面遮除了太阳圆面的一部分，这就发生了日偏食。

并非每月的朔都会发生日食，这是因为月球的轨道（白道）与地球轨道（黄道）不在同一平面，它们成 $5^\circ 9'$ 的倾角，只有当月球运动到黄白两道的交点附近，且又逢朔日，才满足“食”的条件。对于地球上某一地区来说，看到日偏食的机会比日全食多得多。前

者约平均 3 年遇到一次，而后者要 300 多年才能遇到一次。对于全球来说，平均每年发生 2—5 次日食。能看到日全食的地区称为全食带，看到日偏食和日环食的地区称为偏食带和环食带。

月球自西向东运动，所以日食从日面的西边缘开始向东发展。日全食分为初亏（日面的西边缘与月面东边缘外切）、食既（日面东边缘与月面东边缘相切，日全食开始）、食甚（日面中心与月面中心最近）、生光（日面西边缘与月面西边缘内切）和复圆（日面的东边缘与月面西边缘外切、日食结束）五个阶段。

【月食】地球运动到太阳和月球之间，月球进入地影的现象。地球背向太阳的一面出现一个地影，当月球全部进入地球本影里，发生月全食；若部分进入本影里，则发生月偏食；若月球进入地球的半影里，则称为半影食（半影食只减弱月面亮度，一般不为人们注意）。月食发生在望日。由于月球轨道（白道）与地球轨道（黄道）成 $5^{\circ}9'$ 的倾角，所以只有当月球运动到黄白道的交点附近，又适逢望日才满足发生月食条件。每年最多发生三次，一般发生两次本影食。月食时，月面失去原有的光亮，呈现红铜色，这是由于太阳光通过地球大气折射到月面造成的。月食的全过程类似日食的过程，可分为初亏（月球与地球本影外切）、食既（月球与地球本影内切）、食甚（月球中心与地影中心最近）、生光（月全食结束）、复圆（月偏食结束）等过程。

【凌日】地球上的观测者看到内行星经过太阳圆面的现象。水星和金星轨道小于地球轨道，所以当它们运动到太阳与地球之间，即合日时，地球上的观测者看来有一小黑点掠过太阳圆面。由于水星和金星与地球的轨道分别成 7° 和 3.4° 的倾角，所以并非每次合

日都满足凌日条件。只有当水星（或金星）和地球同时经过升交点或降交点时才有可能出现凌日现象。据计算每 100 年平均发生水星凌日 13 次，出现金星凌日的次数更少。

【儒略日】一种不用月和年的长期连续记日方法，记为 JD。以公元前 4713 年儒略历 1 月 1 日格林尼治平午为起算日，每天顺数而下，连续不断。每年的天文年历上都载有每月零日世界时 12 时的儒略日数。如：1992 年 1 月零日世界时 12 时的儒略日为 2448622。此外为简化数字，天文计算中常用约化儒略日 MJD，MJD 的定义为 JD 减去 2400000.5。

【晨昏蒙影】日出前，日落后的一段时间天光呈现暗弱光亮现象的这段时间。这是由大气折射太阳光造成的。发生这一现象的时刻以及持续时间的长短与当地的地理纬度、海拔高度以及气象条件有关。日出前初露曙光的时刻称为晨光始，日落后暮色消失的时刻称为昏影终。民用上的晨昏蒙影通常要求太阳在地平下 6° ，在航海和天文上则要求太阳在地平下 12° 和 18° 。

【人造卫星运动理论】20 世纪 50 年代兴起的天体力学的一个重要内容。研究人造地球卫星的运动。人造卫星除受地球中心引力作用外，主要的摄动有：地球非正球形引起的形状摄动；大气的阻力摄动；太阳光压摄动；日月引力摄动。这些摄动使人造卫星的轨道变化很复杂。用分析方法研究人造卫星的运动时，以地球形状的二阶带谐系数为一阶小量，其余的摄动多数为二阶小量。由于人造卫星的运动较快，长期摄动的累积效应明显，一阶长期变化的影响可能上升到零阶，二阶长期变化的影响可能上升到一阶，

因此通常人造卫星的一阶理论要考虑轨道根数的一阶、二阶长期变化，一阶周期变化，一阶理论可使卫星的距离计算精度达到公里量级，速度的精度达到米/秒的量级；二阶理论要考虑根数的三阶长期变化，二阶周期变化，相应的距离和速度精度达米和 0.1 厘米/秒的量级。

【月球火箭运动理论】月球火箭是从地面发射出去的以考察月球和月球周围环境为目的的飞行器。它的运动主要受地球和月球的引力支配，有时也考虑太阳的摄动。可以用一个限制性三体问题或限制性四体问题为理论模型进行初步研究。也有将月球火箭的轨道分为地球附近的轨道、从地球附近到月球附近的过渡轨道、在月球附近的轨道三段。第一和第三阶段的轨道类似人造地球卫星和月球卫星的轨道；第二阶段又分为在月球引力作用范围之内和引力作用范围之外两段，它们对于月心和地心是一条近似的圆锥曲线。以上所述只作为精确研究月球火箭运动的参考。精细地确定月球火箭的运动多数采用数值方法，分析方法和定性方法只能为数值方法研究提供初值和确定计算范围。

【行星际飞行器运动理论】从地面发射的飞行于行星际空间的人造天体称为行星际飞行器。它在太阳、地球、目标行星和其他行星引力作用下运动，是一个限制性多体问题。除了从地球发射和在目标行星着陆两个阶段外，它的飞行轨道可分三个阶段：（1）在地球引力作用范围之内，主要作用力是地心引力，太阳引力、月球引力、地球大气阻力为摄动力，这时相对地心的轨道为近似的双曲线，可用数值方法精确研究它的运动；（2）离开地球引力作用范围之后到进入目标行星的引力作用范围之前，这是飞行器轨

道的主要阶段，称为过渡轨道，相对太阳是一圆锥曲线，为节省能量，可以设计成与地球和目标行星的轨道相切的椭圆轨道，这种轨道称为双切轨道又称霍曼轨道；（3）进入目标行星的引力作用范围之内，这时的主要作用力是目标行星的引力，目标行星的形状、周围的大气、卫星和太阳对飞行器有摄动，采用数值方法可算得它对目标行星的轨道接近一条双曲线。

天文遗址及文物

【巨石阵遗址】英国史前天文遗址，位于索尔兹伯里城以北约 11 公里，由巨石组成环状列阵，因而以巨石阵称呼。第一期建筑在新石器晚期，由两个同心圆环状列石组成，有巨石 82 块，每块平均重约 6 吨，外环直径 26.2 米，入口外边是一块高 4.9 米，重 35 吨的标石。青铜时代中期石阵重建，规模更大，外环直径增至 30.4 米，竖立着的 30 块长巨石组成环阵，有 5 块较为规则的长巨石架在竖巨石上，形成五个状如门框的“三石塔”，其中最高大的巨石重 50 吨，高 9.1 米，是欧洲最为壮观的巨石遗迹。现代考古天文学家发现，巨石的排列有一定的天文意义：巨石阵主轴线指向夏至日出方向，是石圈中央与出口处标石的连线方向，还有些指向线可能是冬至日落方向及其它意义的天文取向。但用计算机将一切有天文意义的可能取向当成兴建巨石阵的目的缺乏说服力。一般来说多种民族都有过用山峰等标记特定季节日出日落方向的历史。

【奇琴伊察遗址】马雅文明古天文台遗址，位于墨西哥尤卡坦半岛中部，现存建筑多是 11—12 世纪的遗存。天文台塔基为方形，塔基上建有圆形塔式高台，各塔层有螺旋式阶梯接连，最上层的塔开有窗户，是按一定天象观测要求而开的。它是中美洲古代印第安文明的一部分，创造这一文明的是印第安族马雅人。马雅文明约在四千多年前开始形成，奇琴伊察遗址是马雅文明走向衰落期间一度复兴的产物。

【塔欣遗址】墨西哥古代印第安人文化遗址，年代约相当于 3—10 世纪，遗址中有许多祭台、神庙，台庙有几百座，建成金字塔形，其中塔欣东台地上有一座以精刻石块砌成的“神龛金字塔”，塔基每边长约 27 米，高约 18 米，分六层，正面有阶梯通塔顶神殿。此塔身有神龛 365 个，与 1 年日数恐非巧合，具有历法和安排祭祀意义。与塔欣遗址相当的还有特奥蒂瓦坎城遗址，位于墨西哥城东北 48 公里，有 100 多座金字塔形台庙和神祠，分布在南北长 2.5 公里的大道两侧，道东有“太阳金字塔”，道北有“月亮金字塔”。有 1 年 365 天的太阳历和 1 年 260 天的圣年历。此城毁灭以后，印第安族华斯提克人和托托纳克人才在哈拉帕西北 110 公里处塔欣建城，看来这些天文遗迹有某种渊源关系。

【印加天文遗址】“印加”的意思是“太阳之子”，约在 15—16 世纪时期，南美安第斯地区印加帝国统治时期建立的天文建筑遗迹，分布于厄瓜多尔、秘鲁、玻利维亚、智利北部及阿根廷的一部分，中心在秘鲁南部库斯科地区。在库斯科城的東西两面建有四座圆塔，从一个固定的点上看，与春分和冬至时太阳的出没方向一致，

可见塔是以日出没方向确定季节的观测参照。城中央是一广场，广场上立着的石柱是测量日影的表，依据日影长短也可以确定季节。据记载，印加历法是适宜于农业的太阳历，每月 30 天分 3 旬，12 个月共计 36 旬 360 日，另加 5 天为 1 岁，每 4 年有 1 闰，闰年 366 天。天文观测遗址是当年为决定历年长度和岁首而兴建的。

【印度古代天文台】在印度首都新德里北部不远的一座古代天文台，建于 1724 年，由贾伊·辛格二世在德里修建。这是一组砖石结构的巨型天文仪器，可以看作印度有悠久天文学发展历史的象征，也是印度天文学与阿拉伯天文学交流的产物。其中最大的一件是晷影测量台，中间是直角三角形的高台，有十几米的一边垂直耸立，外围是一半圆形高墙与高台垂直修建，整个外观是直立而有斜面的高表插入向天开放的半圆；另外一件外观象是层层高上去的检阅台，中有台距较大的台阶直通顶部，给人一个斜面切圆柱的截面印象，截面朝向正南。红白相间的颜色十分醒目。虽然它们建于望远镜发明 100 多年以后，其观测和测量能力比不上望远镜，但宏伟的建筑给人以极深的印象。

【洛阳灵台】中国现存的古代天文台遗址之一，原属洛阳南郊，现属河南省偃师县，是东汉时代的国家天文台，建于汉光武帝中元元年（56）。对遗址考察，发现灵台用夯土筑成，现在仍高出地面 8 米多，占地约 4.4 万平方米，东西各有垣墙，中心为方形高台，底边长宽约 50 米，当时高度约 20 米，分上下两个平台，平台间有坡道联接，每层均建有房屋 10 间左右。据资料介绍，当时灵台有工作人员 40 多人，东汉以降，曹魏、西晋时期仍在使用的，北魏时废弃，并于台上建造了砖塔。天文学家张衡曾在此台工作过。

【莒县天文遗址】中国新石器晚期的天文遗址。距今 4500—5000 年前，在今山东莒县地区生活的古东夷民族的测天遗址，位于莒县陵阳河乡。属于大汶口文化的陵阳河出土文物中，有多具刻有陶文的陶尊，陶文为复体会意文字，上为日，中为云气，下为山峰，是日出之象。判断为测天遗址主要根据有二，一是陶尊出土处正东方向是一座矗立在平原上的高山寺固山，春、秋分日出于山；一是陶尊为祭器，与记录同一时代的典籍《尧典》中记事一致，《尧典》中有羲仲于仲春时节去夷地宾祭日出，以殷仲春的记事。无独有偶，与陵阳河乡相距不远的朱家村也有同样陶尊出土，而这里也有一座屋娄崮山在出土遗址的东方。由以上事实可知，莒县天文遗址是利用自然方向标记春分来临的测天遗址，为制定粗疏的历法提供了观测根据。

【登封元代观星台】元代郭守敬领导的四海测验有 27 个观测站分布在全国各地，保留至今的只有登封观测站的观星台与量天尺，是元代大规模测地站中建筑最为完善的一个。观星台所在位置，是从西周时代起历代都使用的观测站遗址，南边有唐代所立石表，上书“周公测景台”五字。元代使用四丈高表，只有登封的高表是砖石结构的建筑，故保留至今。高表建筑像是两边均有对称结构登梯的城楼，颇为宏伟。顶有两室，两室中间空档处可置一横梁，离圭面 4 丈（8.5 米），是为高表顶端。下面由南向北是长 30.3 米的水平石圭，上有水槽以示圭面水平。正午时横梁日影投射到圭面上，量取影长可测得二分二至时刻，所以石圭也称量天尺。明代曾重修，台上加二室，一置浑仪，一置刻漏，是中国古代天文台遗址之一。

【北京古观象台】中国明清两代使用过的司天台，建于明英宗正统二年（1437）。现存台上的天文仪器是清代所造，第一批 6 件造于康熙十三年（1674），另一件 1713—1715 年造，最后一件造于 1744 年。这 8 件仪器分别是天体仪、黄道经纬仪、赤道经纬仪、地平经仪、象限仪、纪限仪、地平经纬仪、玑衡抚辰仪。北京古观象台是中国天文学历史悠久，观天有仪，测量有法的象征；也是体现中国古代天文学官方性、实用性、先进性特征的天文台；同时鉴于仪器的监制人为外国传教士，仪器多有欧洲风格，它也是中西天文学交流的历史见证；近代列强对中国的侵略和洗劫，也在北京古观象台留下印记，一定程度上也是近代中国历史博物馆的一部分。

【湖北随县二十八宿龙虎纹箱盖】中国出土文物。1978 年在湖北随县擂鼓墩发掘出土。墓为战国初期曾侯乙墓，葬于公元前 433 年左右。整物为漆木箱，黑底红装饰纹，其箱盖上是一幅二十八宿图。图中央是篆文“斗”字，周围不等间距排列二十八个字，是二十八宿宿名，再往外是一条龙与一只虎的图案。其重要意义在于揭示出：龙与东方七宿联系，虎与西方七宿联系，黄道带划分成二十八宿这种星空划分体系在中国起源很早，因为公元前 5 世纪它已经是常识，出现于日常生活用具的装饰上，对于二十八宿的中国起源说是一个实物支持。现存湖北博物馆。

【汉帛书彗星图】中国出土天文文物。1973 年出土于湖南长沙马王堆三号墓，用彩色绘于帛上，长 150、宽 48 厘米。帛书《星占》部分在心宿和北斗之间绘有二十九幅彗星图，图下有占文，占文中

对不同形态的彗星有不同命名，如赤灌、白灌、天箭、蒲彗、耗彗、干慧、帚彗、竹彗、蒿彗、苦彗、蚩尤旗等共 18 种，以彗头与彗尾的形态区分，制作年代可能早到公元前 350 年左右，抄绘时代约在公元前 205 年左右，现藏湖南省博物馆。

【西汉铜漏】中国西汉时期使用的计时器，现存三件。第一件为元鼎四年（前 113）以前制作，出土于河北满城；第二件出土于陕西兴平县茂陵附近；第三件为成帝河平二年（前 27）制，叫千章铜漏，出土于内蒙古自治区伊克昭盟。三件外形相似，圆筒形，上有带提梁的盖，下有鼎立三足支撑，漏水管口在筒下部伸出。圆筒直径分别为 8.6、10.6、18.7 厘米，通高分别为 22.4、32.3、47.9 厘米。说明此类漏壶在当时使用广泛，属于泄水型沉箭漏。随着滴水使壶中水位下降，水面上浮着的木箭逐渐下沉，在筒盖口看沉箭读数，可知时间。

【敦煌星图】敦煌卷子星图，两卷。甲本本世纪初被斯坦因盗至英国，今藏伦敦国立图书馆，编号 S3326。抄写于唐代，共 13 幅，其中 12 幅是从 12 月开始，按照每月太阳位置所在，分月画出，采用柱投影画出赤道南北的星象，最后一幅是紫微垣，以天极为中心将球面投影于平面。整个星图有星 1350 多颗。乙本亦出自敦煌石室，今藏敦煌文化馆，抄写于晚唐五代时期，仅残存紫微垣星图一幅。敦煌星图有很高的研究价值，它是研究中国古代星图绘制的历史演变、绘制方法、使用功能、科学意义和社会意义的实物，也是比较中外星图绘制必须研究的内容。星图中星点有圆圈加色的和实心黑点两种，圆圈表示石氏、巫咸氏星官，实心黑点表示甘氏星官，既是统一的星图，又是区分不同占派星象的直观

图示，从而使星图既可满足历法对恒星观测的要求，又可满足星占家的需要。

【苏州石刻天文图】中国天文文物。南宋遗存，刻石完成于1247年，现存苏州文庙。图总高245厘米，宽约108厘米，上半部为盖图法绘制的北天星图，就是以天极为中心，将球面展成平面的星图，有大小三个同心圆，最小的叫内规，里面的星常见不隐；中间的叫赤道，最外边的叫外规，外规以外的星常隐不现，外规直径85.3厘米。图上共有星1436颗，分二十八宿和三垣，外规以外标以分野及12次、12辰。它是世界上星数1000颗以上最古老的石刻星图，画法洗练，一图以蔽可见星空，许多星的位置十分准确，是依据宋代元丰年间恒星的实测结果绘制刻石的，是一份珍贵的科学遗产。图下方以天文图为题的文字说明，反映了当时人们对宇宙的认识和所掌握的一些天文知识。

【杭州吴越墓星图】中国天文文物。五代时期吴越国的遗存，现已发现三块，分别是文穆王钱元瓘、其次妃吴汉月、祖父钱宽的墓中出土的。星图直径1.8米左右，都是中有拱极星，周有28宿星的简化星图。据考证，三人入葬年代分别为942、952和895年，但星图基本结构相同，有可能刻石依据的同一份蓝图，且非吴越国自测，取自唐或唐以前绘制的一份星图。吴越墓星图不是单纯表意性星图，星的位置及相对位置比较准确，不论死者出于何种信仰要在墓室顶上安置星图，这些星图都是十分重要的，它们原本是专门为观测七曜运行的一种工具星图。只是因为钱氏家族在复绘、刻石等环节上有随意之处，这些星图才出现差别。

【常熟石刻天文图】中国天文文物。是盖图法绘制的北天可见星图，底本取自苏州石刻天文图，刻于明代中叶（1506），现存常熟小学。此图原是恐怕苏州天文图“年久磨灭”，为使“得观夫大概”而翻刻的，明代人这种耽心是因为当时官方严禁学习天文，所以它是当时知识阶层抗禁的产物，对了解明代天文学是一个重要的文物。碑石高2米，宽1米，上为星图，下为跋文。

【北京隆福寺藻井星图】中国天文文物。1977年发现于原隆福寺万善正觉殿藻井，现存北京天文馆，是明景泰四年（1453）建寺时制成的，星图直径1.94米，蓝漆背景，星与线沥粉绘制，星点贴金，用盖图法绘成，有星1432颗。据研究，图上星位比较准确，可能是按元代测量结果而绘制，所以很珍贵。为什么这么好的星图置于人们看不清楚的地方？联系到明代知识阶层抵制和反对天文厉禁，看来也是抗禁产物，以为后人多保存一些有价值的天文资料。

【清代蒙文星图】中国天文文物。今存内蒙古自治区呼和浩特市五塔寺“金刚座舍利宝塔”的塔座后墙上。五塔寺建于1727—1732年，是清雍正年间修建。星图用八块石料凿刻拼合而成，直径144.5厘米，盖图法绘制，注记均用蒙文，下方有图例显示星等标准，记有“钦天监绘制天文图”，有星1067颗。依据《灵台仪象志》星图绘制后加蒙文注记，是清廷对蒙古怀柔政策的产物。

【阜阳五星侯占仪】中国天文文物。又称圆仪、拭盘。出土于安徽阜阳西汉汝阴侯一号墓。汝阴侯夏侯灶葬于公元前165年，此仪为此以前所用的占仪。它分上下两盘，木胎髹黑漆。上盘直径23、

厚 1.7、盘边宽 4 厘米，下盘直径 25.6、厚 0.8、盘边宽 1.1 厘米。两盘相合后，上盘边缘斜面有 365 个小坑均匀分布，下边边缘刻有二十八宿及其距度，正好相切，所以上盘小坑可测宿度，它将一圆周分为 365° 。上盘北斗七星其中一星恰在圆心，为一小孔，插轴可在下盘上转动。用不同颜色小珠代表五星依测量结果可分别放入上盘小坑中，于是五星在各宿的宿度一目了然，可作占，可看出五星分布及其运动。现存阜阳地区博物馆。

【明制浑仪】中国天文文物。明正统二年（1437）为在北京城墙上建立的观象台而制，正统十一年完成，现保存在南京紫金山天文台。浑仪是中国古代最重要的测天仪器，先秦时期已有用浑仪测量的结果，汉落下闳制造的那一台留下了记载，此后历代都制有浑仪。明代浑仪参照宋代和元代仪器仿制，所以它是典型的传统仪器，通过它可以了解中国古代天文仪器的形制和使用方法。浑仪为赤道式结构，圆环相套成浑圆形态的上部为下面四条铜龙托起，仪态非凡，结实耐用。此仪经历坎坷，1674 年由台上移至台下，1900 年被德国掠置波茨坦宫前，1921 年归还，1935 年迁至南京。

【明制简仪】中国天文文物。明正统二年（1437）为在北京城墙上建立的观象台而制，正统十一年完成，现存南京紫金山天文台，北京古观象台有复制品。原仪为元代郭守敬所造，明代仿其尺寸结构重新制造。此仪 1674 年由观象台上移置台下，1900 年为法国掠入使馆，1905 年归还，1935 年迁至南京紫金山。

【明制圭表】中国天文文物。制于明正统二年至七年（1437—

1442), 今存南京紫金山天文台, 但石座仍在北京古观象台下晷影堂。这是中国传统使用的测日影仪器, 此仪圭面尺寸仿郭守敬分划标准的刻于水渠内, 每尺长度 24.525 厘米; 水渠外侧是清代标准, 每尺长度 32 厘米。

【西汉日晷】中国天文文物。西汉测时仪器。一出土于河南洛阳金村, 今藏加拿大多伦多博物院; 一出土于内蒙古呼和浩特市南托克托, 今藏中国历史博物馆。均为石质, 近方形, 中央有孔, 孔外小圆周, 再外方框, 外有大圆周, 直径不到 25 厘米, 大圆周上刻有 69 个小孔并标明度数。

【商甲骨文天象记事】中国河南安阳殷墟出土的甲骨文中, 有许多记事涉及天文历法和天象, 这样的甲骨片为数不少, 有的流落国外或境外, 有些藏于国内博物馆, 它们是研究商代天文学最为重要的资料。其中有刻有六十干支循环的干支记日表, 有武丁时期日食记录及月食记录、武乙文丁时期日食、月食记事, 有鸟星、新星等天象。据这些甲骨文字, 可知殷商时期已有设置闰月的历法, 并将天象观测与占卜、祭祀联系在一起。

【延祐铜壶滴漏】中国天文文物。制于元延祐 3 年 (1316), 现藏中国历史博物馆。这是由四个圆形铜壶组成的多壶漏, 由于泄水壶可从上一级得到补充水, 使泄水壶水压变化不大, 提高了计时的精度。传世的元代漏壶, 还有陈列在南京博物院的一个, 据说曾在元大都鼓楼使用。

【兴安石制水准仪】中国古代实用天文测量仪器, 部分遗物今存广

西兴安文物管理所，底座今存兴安灵渠铎嘴后部。石制底座上有固定指向的方向标，为测向参照标。底座上有轴，圆柱形石碌垂直置于轴上，石碌中部有长方形孔，顶部开有一槽，槽内可放木制水准仪。在筑人字形坝体时，此仪位于人字顶点，可以控制坝体修筑方向（同时控制两条坝），可以测量坝体修筑的高程，测向参照标可能采用天文定向确定基准。这是秦代为控制岭南修筑大型水利工程中使用的一件工程测量仪，距今已有 2000 多年历史，是珍贵的工程测量文物。

古天文仪器

【测影仪器】古代测定季节和时间使用的测量日影的仪器。测定季节的叫圭表，又称土圭，是最古老的天文仪器。据《周礼》“土”即“度”，度量之意。表即垂直树立在地上的杆，圭是水平面上南北放置的测量表影的尺子，合称圭表。对于固定高度的立表，冬至正午日影最长，夏至正午日影最短；同样高的立表，同样是在夏至或者冬至日正午测量，不同地理纬度的测点所测影长不等，高纬度测站的影长更长。早在周代就规定表高八尺，为提高测量精度，元代郭守敬将表高增加 5 倍，采用 4 丈高表测量，并用景符（薄铜叶上钻有小孔垂直入射光方向的附属仪器），帮助量取日影。在登封还建造了砖砌结构的固定高表。圭表一直是中国古代重要的天文测量仪器，除上述标准或大型圭表外，还有袖珍小型圭表。测定时间的叫日晷，由时盘和晷针组成，最早的文物遗存是西汉

时期的，它们有可能为赤道式日晷，时盘面与赤道面平行，时盘中央有贯通时盘的晷针，春分以后晷针的影子从盘面上方看，秋分以后晷针的影子落在盘下面。《史记》中记有“立表下漏”以正军纪的司马穰苴，表明春秋时代已将圭表用于计时，但圭表计时最准确的是午正，其余时间要靠漏壶。日晷就是由圭表演变而来的，可能受浑仪的影响，斜置时盘而得到方便计时的赤道式日晷。日晷还有其他多种形式，如地平式日晷，球面日晷等，但最方便的就是赤道式日晷，因为它结构简单，计时均匀。日晷测量的是真太阳时。古籍中描述日晷较详细的如南宋曾敏行写的《独醒杂志》，其中谈到他的长辈曾南仲所作日晷，那是一具“以木为规”放在基座上的日晷，“南高而北低”，晷针之两端“一指北极，一指南极。春分以后，视北极之表；秋分以后，视南极之表。所得晷影与刻漏相应。”对赤道式日晷作了十分具体的介绍。

【浑仪】中国古代测量天体赤道坐标和黄道内外度的仪器，因形体浑圆而取名浑仪。古籍中有时见浑天仪一词，它可能指浑仪，也可能指浑象，究竟指哪一个，要看对其结构和使用功能的描述，因为浑天仪是浑仪与浑象的统称。浑仪可分成两大部分。上部为测量部分，下部为底座和支架。测量部分由两重或三重圆环组成，外重由垂直正交的子午环和地平环有时还有赤道环组成，合称六合仪，安置在支架上；内重由极轴、赤经圈、望筒组成，合称四游仪。极轴套在子午环上的轴孔中，其极出地平的高度依观测点的地理纬度而定，望筒指向天体时可在赤经圈上读出去极度，可在赤道上量取入宿度。如果是三重，则中间一重名三辰仪，可在六合仪内绕极轴旋转，由游旋赤道、黄道、白道、赤经环组成。可量出天体在赤经圈上距离黄道的度数，黄道以北称黄道内，以南

称黄道外，黄道内外度不等于黄纬，可称作准黄纬，因为它不是沿黄经圈度量的。浑仪最早出现的年代不能确切说出来，但从战国时期有关恒星及行星的测量数据看，先秦时期已有浑仪出现。联系到成书于那时的《尚书·舜典》有“在璇玑玉衡以齐七政”的话，“璇玑玉衡”即指璇玑为贵重的司天仪器，也就是浑仪。虽然璇玑、玉衡也是星名，并不排斥测天仪器的解释。史书上最早的浑仪记的是公元前104年落下闳制造的那一台，但落下闳应召进京参与改历的短时间内就造出浑仪，使过去已有浑仪的可能性更大。

【浑象】中国古代辅助浑仪观测的一种直观演示仪器，今名天球仪。浑象指地平环在天球外的一种；若将地平放于天球内，球体透明，则叫浑天象。后者只在南北朝时代制作过，但有时也将前者叫作浑天象、浑天仪，因为它们是浑天说最形象的模型。浑象在古代有极重要的作用；（1）它可用不同颜色星点区分不同学派的星，主要是三家即甘德、石申和巫咸三个学派。（2）是司天工作人员学习的直观教具，展示浑天说的直观模型。（3）可以事先为浑仪观测拟订观测计划，并在观测过程中互相校验，还可以事后将浑仪观测日月五星的结果标在浑象上，直观地看出七曜的运行情况，并测量其运行周期。（4）目视观测的结果也需要标在浑象上，以便星占家们作占并上报朝廷。浑象可能出现的与浑仪一样早，它是浑天说的形象化产物。史籍上记载最早的浑象制作者是西汉时代的耿寿昌。后汉张衡造出水运浑象，其转速与天同步。三国时吴国葛衡造出过地在天内的浑象，不知道是不是人在球内观测。南北朝时期钱乐之等人造出地平置于球内的浑天象。宋代苏颂曾造出人在球内观测的假天仪，它与浑象最大的区别就是观测者不在

球外而在球内，这台经过革新变种的大浑象可以说是现代天象仪的祖先。

【灵台】又称司天台。中国古代的天文台。现存最早的灵台遗址在洛阳，建于东汉，台基约 50 米见方。至今保存最好的是北京古观象台，是明清两代的灵台。

【简仪】中国古代由浑仪简化而发展成的一种天文测量仪器。中国古代的浑仪经历过由简到繁的发展过程，初有两重结构，后增至三重，唐代李淳风又加入黄道与白道，以致多重环相套叠，遮挡望筒视线，妨碍某些天区尤其是赤道部分天体的测量。元代郭守敬对浑仪积弊作了重大革新，研制出功能超过浑仪而其基本原理又一致的崭新仪器——简仪，于至元十三年（1276）安装于大都天文台上。简仪使浑仪的基本结构发生重大变化，极轴固定于北高南低位于子午线方向的一对支架上，赤道环与百刻环在低架上极轴的南端，极轴上只剩下四游环和窥衡，于是窥衡（望筒）所指几无遮挡。利用北边高支架下方的空间，又增设了立运仪，它实际上是一台地平经纬仪，可测量天体的高度和方位角，于是简仪成为赤道经纬仪和地平经纬仪的组合仪器，一仪多能。今有明制简仪存于紫金山天文台供人参观。简仪的创新是多方面的，它是高低支柱式赤道仪的先河；使用了正方案调整仪器使其位于子午面上；使用了候极仪调整仪器极轴的安装；窥衡圆孔内装十字丝提高了对中精度；有界衡结构与赤道环相联，便于测量两星赤经差；使用了 3600 分分刻；在赤道环与百刻环之间加入 4 个可滚动圆柱，这种轴承结构减小了摩擦等。

【仰仪】元代郭守敬设计制造的测量太阳球面坐标的投影观测仪器。主体是一个直径一丈二尺的铜制半球壳，放置方法类似嵌在灶里的大锅，球壳边缘水沟使其能水平放置，边缘上还有指示方位的刻度。有十字交叉的铜杆一根，其东西方向放置时置于球壳边缘东南和西南，其南北方向的一端置于球壳边缘南端，另一端装有可作东西向和南北向转动的中央有小孔的铜方板，中央小孔恰在球心。旋转铜板使其垂直阳光入射方向，因小孔成像就将太阳像投影到球壳上，球壳内刻有坐标网，因而可测出太阳的去极度与时角、真太阳时。尤其是日食时，它可记录整个交食过程的时刻与位置，估计食分大小，是变仰视为俯视的优良天文仪器。

【水运仪象台】中国古代大型天文仪器，是综合浑仪、浑象、计时于一体的天文台。由北宋天文学家苏颂领导组织建造，主要设计人是韩公廉，于元祐七年（1092）完成。东汉张衡首开水运浑象先河，并与浑仪配合使用。唐代一行又创水运浑象与计时、报时装置于一体的新仪，宋初张思训不用水作动力而改为水银，也造出了水运浑象。苏颂总各家之长，又辟新途径，将浑仪也组合进来，制成水运仪象台。它共有三层，上层是有活动天窗的浑仪，中层是浑象，下层是报时装置与动力装置，总高 35.65 尺（约合 12 米），宽 21 尺（约 7 米）。三套仪器同步联动，均由水力提供动力，转速与天球旋转速度相同。它是集测时、报时、守时功能于一仪，集制定观测计划、监视观测执行情况、观测与测量、计时为一体的综合性授时台、天文台。是 11 世纪世界上最杰出的天文仪器，也是近代钟表的祖先，因为它是最早采用擒纵装置的计时仪器。

【西域仪象】元代上都司天台拥有的天文仪器，计 7 件。进献人是

西域来的天文学家扎马鲁丁，他可能是伊利汗国马拉盖天文台的天文学家，受旭烈兀派遣为元世祖忽必烈所用。其中有在西域制造的，有按阿拉伯体制在上都建造的。它们是（1）咱秃·哈刺吉，浑仪，多环结构，适用于纬度 36° 的地区；（2）咱秃·朔八台，方位仪；（3）鲁哈麻·亦·渺凹只，春秋分晷影堂；（4）鲁哈麻·亦·木思塔余，冬夏至晷影堂；（5）苦来亦撒麻，浑象；（6）苦来·亦·阿儿子，地球仪；（7）兀速都儿刺不定，星盘。这是中国古代中西天文学交流史上的重要事件，6、7 两件仪器为中国古代所没有，其他几件其形制也与中国传统仪器有所区别。

【象限仪】又称四分仪。用圆的一个象限或者说 $1/4$ 圆周量度天体地平高度的仪器，一个直边在铅垂线方向，另一直边在水平方向，圆心处有一轴，望筒可绕圆心上下转动以测高度，高度读数刻于圆弧上。整个圆弧平面可以绕铅垂线方向旋转，所以可在任一方位上测量。这种仪器是欧洲古典天文仪器，清初康熙年间传教士引入中国，是清灵台当时制作的六大仪器之一，也称地平纬仪。该仪今存北京古观象台。

【墙仪】又称墙象限仪、墙四分仪。固定于子午方向测量天体中天高度，稳定且精度高。初观测用望筒，17 世纪后将望远镜安装于上，大大提高了测量精度。弗拉姆斯蒂德星表中许多观测使用的是格林尼治天文台的墙仪，他是该台的创始人，星表载《英国天文志》。

【纪限仪】欧洲古典天文仪器，用于测量两个天体之间角距大小的仪器。望筒以圆心为轴可旋转，圆弧平面可调整到观测者与两个

待测天体三点组成的平面内，转动望筒分别对向两个天体求得测量结果。清康熙年间传教士引入中国，为当时灵台上六大仪器之一，今存北京古观象台。

【刻漏】中国的漏壶也称刻漏，是依滴水量计量时间的仪器。最初出现的是沉箭漏，浮于水面的木箭因滴水后水位下降而下沉，依箭上刻线计时。不久出现浮箭漏，加一受水壶，泄水壶滴出的水注入受水壶，随着水位上升，浮于其上的木箭渐渐上浮。西汉末东汉初，在泄水壶上加一级补水壶，以使泄水壶水位变化小一些，更为均匀。晋代出现三级漏，唐代出现四级漏，多加一级补水壶，泄水壶水位就更稳定一些，称多级漏。宋代燕肃于1030年创莲花漏，浮箭出于莲心，但最重要的革新是加入平水壶，即在中间一级壶的上方开一孔，超过此孔的水会溢出而使水位恒定，谓之平水壶，提高了刻漏精度。此外还有将受水壶置于称盘处，移动称砣称壶中水的重量以计时的称漏、改水为沙的沙漏等多种刻漏。称漏最早制成于北魏，沙漏最早记载见于元代。

用漏壶计时的计时系统称漏刻，漏刻采用百刻制，即一昼夜分成100刻。

【瑞轮蓂莢】张衡水运浑象的附加设备，是一个机械自动日历。传说蓂莢这种植物从新月到满月每天生叶一片，满月后每天掉叶一片，故借用此名。张衡用机械控制使其上半月日增一叶，下半月日减一叶，以演示阴历月中日期变更的计日器就叫瑞轮蓂莢。

古代天文名词及学说

【天狼星】星名，即大犬座 α 星，中国古称狼星，张衡《思玄赋》有“弯威弧之拔刺兮，射嶰冢之封狼”的名句，是全天最亮的恒星。现在知道它是一个双星系统，其伴星是第一颗发现的白矮星，它们距地球 8.6 光年。主星—1.46 等，伴星 8.44 等。

【老人星】星名，即船底座 α 星。因其赤纬为 $-52^{\circ}42'$ ，中国中部地区的人只有在天气极好和无遮挡的情况下，才能在近地平的地方看见它，因其不易看见，故古人认为见老人星为吉兆。它是南天亮星，星等—0.72 等，发红色（实际白色微黄，因近地平而呈红色）。

【南门二】星名，南天亮星，三合星，合成星等—0.27 等，通用名即半人马座 α 星，其中一颗名叫半人马座比邻星的子星，是离我们最近的恒星，距离 4.22 光年。

【大角】星名，即牧夫座 α 星。沿北斗七星杓把延长线上可找到这颗红色亮星，故司马迁说“杓携龙角”，再往南延伸，就是中国古代命名的东宫苍龙，大角星位于龙角，因而得名。它的亮度是—0.04 等。

【参宿四】星名，即猎户座 α 星，最亮的红超巨星，亮度为0.06—0.75等，是一颗变星和射电星。在《史记·天官书》中，司马迁记它为黄色星，意味着它是在1000多年前刚演化成红超巨星的，那次激变抛出的气体壳半径，现已达2520天文距离单位，现在气壳膨胀的速度约每秒10公里。

【参宿七】星名，即猎户座 β 星，肉眼所见最亮的蓝超巨星，星等0.12等，是颗变星，现代恒星演化理论认为它是一颗年轻的天体，年龄约几百万年，它有厚而且在膨胀的大气。

【织女星】星名，即天琴座 α 星，亮度0.03等。《史记·天官书》称它为“天女孙”，民间有牛郎织女神话，位于银河边西。因岁差原因，12000年后，它将成为北极星。

【五车二】星名，即御夫座 α 星，亮度0.08等。是一对黄巨星组成的密近双星，轨道周期104天，分光双星，有X射线辐射。

【南河三】星名，即小犬座 α 星。这是一颗目视双星，其中一颗子星为白矮星，合成亮度0.38等。

【水委一】星名，即波江座 α 星。亮度0.46等，最亮的B型发射星、变星。

【马腹一】星名，即半人马座 β 星、蓝巨星，亮度0.61等。它是一颗目视双星，南天星，只有在中国南方可见。郑和航海中曾用它作导航星之一。

【河鼓二】星名，即天鹰座 α 星。古称河鼓大将，张衡《思玄赋》有“伐河鼓之磅礴”诗句。民间称为牛郎星，位于银河东“岸”，也有称为牵牛。

【毕宿五】星名，即金牛座 α 星。变星，亮度约 0.78—0.93 等。《诗经》中有“月离于毕，彼滂沱矣”诗句。发橙色，是颗红巨星。

【角宿一】星名，即室女座 α 星。二十八宿第一宿第一星，密近双星，分光双星，亮度 0.98 等。中国二十八宿距星只有这一颗是亮星。

【心宿二】星名，又称大火，即天蝎座 α 星。目视双星，一子星为红超巨星，另一子星蓝矮星。亮度约变化在 0.86—1.02 等，是东宫苍龙的“龙心”。杜甫诗中“人生不相见，动如参与商”中的商星即指它。

【北河三】星名，即双子座 β 。它是离我们最近的红巨星之一，亮度 1.14 等，看上去为橙色，与北河二构成冬夜星空一对十分显眼的星座。

【北河二】星名，即双子座 α 星。它是一颗三合星，而每个子星又是分光双星，成为奇特的至少由六颗星组成的聚星系统。亮度 1.99 等，呈白色。

【天津四】星名，即天鹅座 α 星。亮度 1.25 等，呈蓝白色，是一颗

蓝超巨星。天津四恰在银河上，在秋夜十分显眼。

【北落师门】星名，即南鱼座 α 星。亮度 1.16 等，呈白色，位于黄道南。张衡《思玄赋》有“观壁垒于北落兮”的诗句即指它。

【轩辕十四】星名，即狮子座 α 星。亮度 1.35 等，呈蓝白色，是一颗三合星，位于黄道附近，中国二十八宿南宫中的主星，在春夜星空中十分壮观。是快速自转星。

【蒭藁增二】星名，即鲸鱼座 Ω 星。这是一颗长周期变星，光变周期 310—355 天，因其亮度变化的变幅很大，从 2 等变到 10 等，光极大与光极小的亮度相差 2000 倍，早就受到古人的注意。它还是一颗目视双星，主星是红巨星，呈红色，伴星是蓝矮星，伴星也是变星，亮度变化在 8.5—9.5 等。蒭藁增二是一类长周期变星的代表。

【大陵五】星名，即英仙座 β 星，又称魔星。它是一颗典型的交食双星，变幅在 2.13—3.40 等，还有一个次极小，亮度为 2.19 等，光变周期 2 天 20 时 48 分 55 秒，由平时亮度降到最暗约需 4 时 54 分。主星为蓝色，伴星为黄色。是一类食变星的典型代表，即大陵型变星。中国古代因其亮度变化而称它“积尸”，意为有“鬼气”；外国称它“阿哥尔” (Algol)，魔星之意。英国天文爱好者古德里克正确地解释了它亮度变化的原因。是爱好者练习观测变星的方便样本。

【三垣】中国古代星空划分体系中的三块天区，拱极天区叫紫微垣，

在紫微垣与二十八宿之间两块较空的天区，又划分出天市垣和太微垣，合称三垣。紫宫名称始见于《史记》，天市与太微名称在魏晋时期出现，将三垣与二十八宿做为整体的星空划分体系是唐代建立的，它就是开元时期王希明《步天歌》星官体系。三垣的建立使全天星官分布均匀，覆盖了北天星空，填补了北极、北斗与二十八宿之间一些未命名的恒星。反映了中国星空划分最初着重在北极、北斗和二十八宿，三垣的增加完善了这一星官体系。

【四象】中国古代黄道带星空的一种四分划分体系，将四方星空构成的图案分别用四组动物形象来表示，于是有东方苍龙（亦称青龙）、北方玄武（亦称龟蛇）、西方白虎、南方朱雀（亦称朱鸟）代表四方星空。这种划分方法起源极早，一座 7000 年前的河南濮阳古墓中有蚌壳拼成的图案，上为北斗，两边分别为龙与虎，司马迁建立星官体系时吸收四象划分而称东宫、北宫、西宫和南宫，然后再加入拱极的紫宫。古代春分前后东方升起苍龙，《易》有“见龙在田”的说法；夏季玄武升起，苍龙在南方最高，《易》有“飞龙在天”的说法；秋季白虎初见，龙已过最高位置，《易》有“亢龙有悔”的说法；冬季朱雀将起，虎正中，龙伏地下，《易》有“潜龙勿用”之说。以春分时为准，则东宫为龙，北宫为玄武，西宫为白虎，南宫为朱雀，可定四方。四象也称四陆、四灵。四象与二十八宿匹配，每组七宿，分属四宫，《史记·天官书》记载了这种划分方法。

【二十八宿】中国古代对黄道带星空的一种划分体系，最早记载 28 宿全部名称的是战国末期《吕氏春秋》一书，考古资料有湖北曾侯乙墓出土的二十八宿名称漆箱盖，并有龙、虎与东、西方星宿

的对照，是公元前 5 世纪的用品。中国 28 宿不等间距划分，各宿的代表星距星几乎全部是暗星。汉代王充说“二十八宿为日月舍，犹地有邮亭，为长吏廨矣。”道出为什么划分成 28 宿的道理，月在恒星间运行周期近 28 天，每天经一舍就有 28 宿。28 宿分列出来就是东方苍龙，含角、亢、氐、房、心、尾、箕七宿；北方玄武，含斗、牛、女、虚、危、室、壁七宿；西方白虎，含奎、娄、胃、昂、毕、觜、参七宿；南方朱雀，含井、鬼、柳、星、张、翼、轸七宿。东方七宿相当于今室女、长蛇、天秤、豺狼、天蝎、蛇夫、人马、南冕、天坛等星座；北方七宿相当于今人马、摩羯、宝瓶、飞马、双鱼等星座；西方七宿相当于今仙女、三角、白羊、金牛、猎户等星座；南方七宿相当于今双子、巨蟹、狮子、长蛇、巨爵、乌鸦等星座。28 宿的划分法不仅中国有，而且印度、巴比伦、阿拉伯都曾有过。学术界对 28 宿的起源有不同的说法，但中国起源说比较有说服力。因为出土资料表明至少 5000 年前中国已将东方星空与龙联系，西方星空与虎联系，河南濮阳古墓的龙虎拼图是大约 7000 年前的墓葬。公元前 5 世纪以前已用于日常用具装饰。中国二十八宿不仅用于天文历法，而且是古代社会重要的文化现象，用于皇家仪仗、军事布阵、星占等，西周时期就有记载。二十八宿不等间距划分与中国星占家的分野说有关，即地上州域有大小，天上相应作占的天区也有宽窄。不用亮星作距星更是中国文化特征，古代北极星代表天帝、帝王，但它不亮，代表州域的 28 宿代表星怎么能亮过天帝？可见二十八宿是植根于中华文化沃土上的。它的创立促进了中国天文学的发展。

【十二次】中国古代一种星空的等分划分系统，沿赤道将周天分成 12 等分，自西向东其名称依次是：星纪、玄枵、娵訾、降娄、大

梁、实沈、鹑首、鹑火、鹑尾、寿星、大火、析木。也叫十二星次。其起源学术界尚无一致意见，由鹑首、火、尾使人想到它来源于对四象每一象的三分法，其后面的三“次”相当于龙首、心、尾，所以其起源可能在新石器晚期。春秋战国时期已用于岁星纪年，依木星所在星次命名年，如《国语》有“岁在鹑火”、“岁在星纪”等记事。实际上作为周天划分法也用于日月五星运行和节气起算点使用，并建立了其间的关系，如下表：

十二次、十二辰、节气、
中气、二十八宿对应表

十二次	十二辰	节气	中气	二十八宿
星纪	丑	大雪	冬至	斗、牛
玄枵	子	小寒	大寒	女、虚、危
娵訾	亥	立春	雨水	室、壁
降娄	戌	惊蛰	春分	奎、娄
大梁	酉	清明	谷雨	胃、昂、毕
实沈	申	立夏	小满	觜、参
鹑首	未	芒种	夏至	井、鬼
鹑火	午	小暑	大暑	柳、星、张
鹑尾	巳	立秋	处暑	翼、轸
寿星	辰	白露	秋分	角、亢
大火	卯	寒露	霜降	氏、房、心
析木	寅	立冬	小雪	尾、箕

【十二辰】中国古代一种星空的等分划分系统，与十二次一样也是沿赤道将周天分成 12 等分，与十二次不同的是它是自东向西计量顺序的，其名称使用十二地支，依次为子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥，与十二次的关系参见十二次、十二辰、二十八宿对应表。十二辰也是中国古代的一种计时系统，即一昼夜分为十二个时辰，以太阳所在方位命名，例如日中为午，夜半为子，春分时日出为卯、日落为酉。每一时辰相当于今两个小时。《诗经》有“跂彼织女，终日七襄”之句，意思是织女星从出地平到落地平要经过 7 个时辰，相当于今 14 小时。

【犯宿】月和五星临近某宿某星官之意，中国星占用语。犯有凌犯之意，宿指 28 宿中外星官，古星占家建立分野理论以后，28 宿分别代表着地面上不同的州域，月或五星中的任一颗在其运行前方将达某宿，被占为某种祸、福将临该星宿分野的地域。

【守宿】中国古代星占用语，月和五星运行至某宿谓守某宿。

【分野】中国古代天文星占的理论基础。他们认为地面上不同的州域与天上不同的天区有对应关系，上天会用某一天区发生的天象，告警该天区对应州域的吉凶祸福；某一州域发生的政治、军事、灾害等各种大事件，也必定会在该州域对应的天区上找到相应的天象，是基于天人感应理论产生的星占理论基础。不同星占派别采用的具体分野不尽相同，有用十二次分配，有用二十八宿分配，也有用其它方法分配的。即使都是采用二十八宿，各宿对应的州域也不完全相同，没有各派都统一使用的分野。分野萌芽于原始氏族社会，与氏族天象图腾有关。阼伯、实沈的神话，也有分野含

义。系统的分野说形成于战国时期，相传沿用并经秦汉时期统一至东汉时期形成较统一的分野，可参看《汉书·地理志》。唐代贞观年间李淳风在《乙巳占》中又发展为唐代郡县体制。

【黄道十二宫】古巴比伦和古希腊天文学家将黄道分为十二段，太阳从春分点起每运行 30° 谓之一宫，依次是：白羊宫、金牛宫、双子宫、巨蟹宫、狮子宫、室女宫、天秤宫、天蝎宫、人马宫、摩羯宫、宝瓶宫和双鱼宫。白羊宫所以成为第一宫是 2000 多年前，当时春分点在白羊座的缘故。现在每年 3 月 21 日左右太阳运行至双鱼宫，每过一个月例如 4 月 20 日前后太阳运行至下一宫，相应地节气由春分转到谷雨。

【阴阳】向日面为阳，背日面为阴为阴阳本意。后推广到历法中一年区分为两个半年，谓之阴阳，行用于远古时期。《易·系辞》有“阴阳之义配日月”，日月配合为历。《春秋繁露·阴阳位》有“阳以南方为位，以北方为休，阴以北方为位，以南方为休。阳至其位而大暑热，阴至其位而大寒冻。……故阴阳终岁，各一出。”热半年、凉半年谓之阴阳一岁。春秋战国时期阴阳引申为哲学概念，表示对立而相互相成的事物，如动的、热的、在上的、向外的、明亮的、亢进的、强壮的为阳；而静的、寒的、在下的、向内的、晦暗的、减退的、虚弱的为阴。

【五行】中国古代天文历法用语意为五种时节的运行，后引申为一种哲学观念，用木、金、水、火、土五种物质作为天地基本要素。《管子·五行》有“作立五行，以正天时”，指规定五个时节以正历日；《尚书·洪范》引郑康成说“行者，顺天行气”。意为时气

运行合乎季节规律，可见五行本意是上古五个时节交替成岁的历法。《白虎通》有“四时为时，五行为节”，五节不能与 12 个月相匹配，是属于十月历的，正如《易·系辞》将一年分为“天数五、地数五”。汉代五行说成为一种系统的哲学理论，五行失去五气运行的本意，成为五种物质相生、相克，解释自然和社会各种现象的哲学观念，但仍联系时节。如《春秋繁露》有“木居东方而主春气，火居南方而主夏气，金居西方而主秋气，水居北方而主冬气。是故木主生而金主杀，火主暑而水主寒”，春气来木生可用于火，燃烧后可得土，由土中可掘得金属，秋气之后天冷金凝出水，于是有五行相生的木生火、火生土、土生金、金生水、水生木。

【五星连珠】中国古代对肉眼可见的五颗行星同时并现于天空一方现象的称呼，也称五星聚，是看为吉利象征的天象。一般说指五星聚于一宿，清代钦天监规定为黄经差在 45° 范围内即为连珠。

【日月合璧】中国古代天文术语，字面意义是日月重合，实际上常指日月同在一宿或恰在相对一宿的天象，清代钦天监规定合璧即合朔，指每月太阳与月亮黄经相同的时刻。

【七衡六间】《周髀》中解释太阳视运动轨迹所用的一个名词，夏至太阳周日运动轨迹称内衡，冬至时为外衡，其间再设五条日道共成七衡。《晋书·天文志》说：“日丽天而平转，分冬夏之间日所行道为七衡六间。”

【日南至】即冬至。太阳位于一年之中地平高度最低的时刻。

【盖天说】中国古代的一种宇宙论，产生于人们仰望天穹直觉被覆盖笼罩的印象，故其形成年代很早。战国末到秦汉时期被总结到《周髀》中去，成为系统的宇宙认识。初期认为“天圆如张盖，地方如棋局”，是天圆地方说，后发展成为“天似盖笠，地法覆槃”，是弧形天壳扣着弧形大地，“中高外下”的结构。《周髀》还有一套建立在这一宇宙图象基础上计算天地大小的方法，对中国古代计算天文与数学的发展有很大影响。在历史上也是一种重要的哲学观念。

【浑天说】中国古代的一种宇宙论。认为“浑天如鸡子，地如卵中黄”，将天地关系喻为鸡蛋壳包裹蛋黄的关系。这种宇宙论可能是伴随着浑仪的产生而发展起来的，代表性的说法见张衡的《浑天仪图注》。天壳半覆地上，半在地下，天大而地小，并绕天轴而旋转。浑天说形成于先秦时期，是制造浑仪的理论根据，又形象演示在浑仪和浑象上，对中国古代天文仪器的发展至关重要。

【宣夜说】中国古代的一种宇宙论。认为不存在实体的天壳，天是充满气的虚空，众星浮生其中，天辽阔无限，天体也无物牵系，其行其止，全靠气的运行。《晋书·天文志》曾引郗萌的话论述了宣夜说。这一思辨性较强的宇宙观可能形成于战国时期，因学说中无天的地位不受统治者喜爱，没有受到重视。

【地心体系】古希腊时期形成的一种以地球为中心的宇宙结构体系。公元前五世纪前后，毕达哥拉斯学派提出圆和球最完美，匀速圆运动最和谐的哲学观念，认为天体围绕地球也应是匀速圆运动。为解释与观测的差异，柏拉图学派又用圆运动的组合解释日

月五星的视运动。欧多克斯等提出以地心为中心的同心球理论；亚里士多德提出了“九重天”，即天的次序依次为月、水星、金星、太阳、火星、木星、土星、恒星和宗动天；阿波隆尼创本轮、均轮的圆运动组合解释，伊巴谷在他的基础上又引入偏心圆，最后由托勒玫总结到巨著《天文学大成》之中，成为统治天文学界 1400 多年的宇宙体系学说。

【地动说】关于地球在宇宙空间运动的学说。公元前 5 世纪，古希腊的菲洛劳斯注意到日月五星在恒星间自西向东运动而同时又与恒星一道每天自东向西运动一周，认为地球每天沿自西向东的轨道绕中央火转一周可以解释。既然中央火是宇宙中心，地球在空间就是运动的。另两位学者希色达和埃克方杜则提出地球自转说。此后赫拉克利德继承关于地球自转的看法，并提出水星、金星是绕太阳运动的。公元前 3 世纪，阿利斯塔克进一步提出地球自转同时还每年围绕太阳运行一周。中国也有过地动说的萌芽，2000 多年前，纬书《考灵曜》有“地有四游，恒动而不止，而人不觉，譬如人在大舟行而人不觉也”的说法，用以解释季节变化。

【日心体系】一种太阳在宇宙中心的宇宙结构学说。最早的提出人是公元前 3 世纪古希腊的阿利斯塔克，10 世纪末，中亚天文学家比鲁尼也曾提出过地球绕太阳运行说，但他们卓越的见解得到的支持极少，鲜为人知，已被淡忘。1543 年波兰天文学家哥白尼在《天体运行论》一书中，对日心地动说详加论述，将太阳作为宇宙中心，地球成为一颗绕太阳运转的普通行星。这一体系也称作哥白尼体系。

【第谷体系】一种调合地心体系和日心体系的折衷宇宙体系，用提出这一体系的天文学家第谷的名字命名。哥白尼学说提出后逐渐赢得了人们的信任，托勒玫地心体系被愈来愈多的人所抛弃，基本支持地心说而又敌不过日心说的第谷，提出了自己的准地心体系，即地球居宇宙中心不动，月亮绕地运行，太阳带着绕它旋转的五大行星一块儿绕地球运行。第谷体系可满足当时的观测精度，但从体系上看是落后的，是落后观念的产物。

古 历 法

【历法】组合年、月、日等计时单位计算较长时间段的系统。初以昼夜变化计日、季节变化计年，基本特征为物候历。逐步过渡到以天象变化作计时单位的天文历法，即以地球自转周期计日，月相变化周期计月，太阳两次到达同一分、至点的周期计年。实际上日、月、年三个时间单位不能公约，而历法要求这三个时间单位都为整数，因而历法就成为解决这一矛盾的方法，尽可能使历日、历月、历年的平均长度与实际日、月、年长度一致。按这一原则采用不同的组合方式就得到各种各样不同的历法，所以历法就是解决历日、月、年平均长度接近自然日、月、年周期的方法。历法最基本的分类是太阳历、太阴历和阴阳历三大类。

【阳历】又称太阳历，平均历年长度接近季节变化周期回归年长的一种历法，能反映季节变化，有利安排农时。中国古代二十四节

气就是一种阳历，现行公历也叫格里历的也是阳历，教皇格里高利十三世 1582 年命人修订而成，它平年 365 天，每四年加一 366 天的闰年，世纪年能为 400 除尽的才算闰年，于是在 400 年里去掉了 3 个闰年，平均历年长 365.2425 日，与回归年 365.2422 日相差甚微。1、3、5、7、8、10、12 月为大月 31 天，2 月平年 28 天、闰年 29 天，其余月份为小月 30 天，通用于当今世界。

【阴历】 又称太阴历，平均历月长度接近朔望月长，每年 12 个月的历法。一般来说大月 30 天，小月 29 天，平均 29.5 天的历月接近 29.5306 天的朔望周期，为解决其间差数的积累会使历与月相不一致的矛盾，也要加闰。历年长 354 天左右。

【阴阳历】 平均历年长接近回归年，平均历月长接近朔望月，调合阳历与阴历的一种历法，既照顾到农时节令，又能参照月相计时的历法。中国通用的“夏历”或称“农历”，老百姓俗称“阴历”的就是这种阴阳历，它虽用阴历计月方法却不是阴历，因为它的年长使用的是阳历计年的方法。调合的具体手段叫置闰，就是适当时候加一闰月。以农历为例，大月 30 日，小月 29 日，平年 12 个月，有 354 或 355 天，与回归年平均约差 11 天 21 小时。闰年 13 个月，有 384 或 385 天，用每 3 年 1 闰，5 年再闰，19 年 7 闰的方法使平均历年接近回归年。月与月相一致，年则用 24 节气循环构成回归年。

【古六历】 以黄帝、颛顼、夏、殷、周、鲁为名的 6 种中国古代历法，是战国时期制订和行用的伪托古名的历法。春秋时期我国已

使用四分历，称古四分历，19 年 7 闰，平均历年长 $365\frac{1}{4}$ 日。古六历可能都是四分历，但岁首所在互有差别，是和使用历法的民族、民俗、上古传习有关而形成的。它们早已失佚，现只能推求其大概。

【太初历】制订于汉武帝太初元年（前 104），行用到东汉章帝元和二年（85），是我国历史上第一部比较完整的历法，由落下闳、邓平等创制。它规定一回归年为 $365\frac{385}{1539}$ 日，一朔望月为 $29\frac{43}{81}$ 日，又称 81 分法。它第一次把二十四节气订入历法，以无中气之月为上一月的闰月，沿用至今，还推算出 135 个月有 23 次交食的周期。此历已失传。

【三统历】中国西汉末刘歆在太初历基础上，引入董仲舒天道循环的“三统说”思想，整理成三统历，于绥和二年（前 7）行用。《三统历》、《三统历谱》载《汉书·律历志》，基本数据采用太初历，可以说实际上仍然是太初历，以

$$1 \text{ 统} = 81 \text{ 章} = 1539 \text{ 年} = 562120 \text{ 日} = 19035 \text{ 月}$$

$$1 \text{ 元} = 3 \text{ 统} = 4617 \text{ 年}。$$

但其刻意用《易·系辞传》来解释历法数据，制造历史循环舆论，对后代历法产生了很坏的影响。

【乾象历】中国东汉末刘洪编制的一部历法，三国时吴国采用，从吴黄武二年（223）行用至吴末（280）。这是一部最早引入月行迟疾的优秀历法，定出一近点月长为 27.5508 日，并定出经过一近点月后月近地点沿月行方向前进 $3^{\circ}.4'$ ，在此基础上提出“定朔”

的算法。

【大明历】中国南北朝时祖冲之创制的一部历法。创制于刘宋大明六年（462），受守旧派阻挠未颁用，直至梁天监九年（510）才颁行。它是中国历法史上第一部引入岁差的历法，此外还有许多创造，如历法数据精确，有实测基础，一回归年规定为 365.2428 日，是 12 世纪以前中国历法中最好的回归年数值。使用新闻周，391 年 144 闰。定岁差 45 年 11 月差 1° 。定近点月长为 27.21223 日，与近代测值 27.21222 日十分接近等。

【戊寅元历】中国唐代傅仁均和崔善为创制的一部历法。于武德二年（619）行用，曾东传日本。刘洪在乾象历中虽提出定朔概念和算法，但未在历法中施行。戊寅元历是中国历法上第一次采用“定朔”计算的历法，真正实现了由“平朔”到“定朔”的改革。

【大衍历】中国唐开元年间由一行编制的一部先进的历法，取《易·系辞》里的数据和术语附会其历法而命名。开元十七年（729）起行用，用了 29 年。他的制历理论、计算方法为后世所宗，影响很大。《大衍历》有历术七篇、历议十篇、略例一篇，历术七篇内容有平朔望和平气，七十二候，太阳、月亮每日位置，每天所见星象和昼夜时刻，日食、月食及五大行星位置，条理分明，结构严谨，为后世历法典范。历法中使用了不等间距二次差内插法和含有三次差的近似内插公式。开元二十一年此历东传日本。

【九执历】中国唐开元年间印裔瞿昙悉达翻译成中文的印度历法，全文载于《开元占经》卷一〇四。九执是九曜之意，是日月五星

这七曜再加上罗睺、计都两曜构成，后两个不是天体，而是黄道与白道的两个交点。它周天采用 360° ， 1° 分为 60 分，是中印之间天文学交流的一份资料。此历未颁用，仅供大衍历核对结果使用。

【统天历】 中国南宋庆元五年（1199）杨忠辅创制并为政府所颁用的一部历法。它的历元不再推求上元积年而采用近元，即以近世某一年为元，是历法的重要改革。它以 29.530594 日为朔望月，365.2425 日为回归年，都是极好的数值，后者只比实际回归年长 26 秒，比现行公历采用同一数值的时间早近 400 年。

【授时历】 中国元初由郭守敬、王恂、许衡等人共同编制的一部历法，至元十八年（1281）颁用。元世祖忽必烈决定并支持制定一部新的历法，在“历之本在于测验”的指导思想下，研制了许多新仪器，进行了大规模实测，创立了新的数学计算公式，并吸收前人成功的经验和精确的数据，使授时历达到很高的水平。考虑到明代大统历实际是沿用授时历，则它是中国历史上行用最久的一部历法，使用了 360 多年。授时历中运用招差法求太阳、月亮和行星逐日运行的度数，用弧矢割圆术计算黄经、黄纬与赤经、赤纬之间的换算，以 365.2425 日为一回归年，29.530593 日为一朔望月，彻底废除上元积年而以至元十七年冬至时刻为历元，体现了它的创新和对以前优秀成果的继承。授时历有很好的实测基础，所定数据全据实测，历史上曾受到朝鲜、日本等国注意并曾东传。

【时宪历】 中国清代根据《西洋新法历书》编成的民用历，由顺治二年（1645）颁行，在中国历法史上，创在民用历中采用“定气”注历的开端，沿用至今。《西洋新法历书》原本为明末编纂的

《崇祯历书》，是由传教士传入欧洲天文学并进入历局参与编纂而成的。清初德国耶稣会传教士汤若望删改原书进献清廷，成为编制时宪历的依据。

【天历】中国太平天国颁行的一种粗疏的历法，1852 年颁行于太平天国管辖地区。规定回归年为 366 日，分 12 个月，单月为大 31 日，双月为小 30 日，为纯阳历，节气放于月首，中气放于月中，忽视了历年、历月与自然周期之间的关系。1859 年，洪仁^二注意到历年与回归年相差达 18 小时，将不与节气一致，提出订正方法，规定 40 年一“**斡**”，逢“**斡**”年则每月为 28 天，得出平均历年长为 365.25 日，称《太平新历》。从历法科学看，天历实在是大倒退。但天历有革命的一面，废除旧历书宣扬迷信的日注“吉凶宜忌”，希望有一部简明的《十二气历》助农耕作。天历在长江流域实行了约十四年。

【回历】信奉伊斯兰教的人们使用的历法，也称回回历、阿拉伯历、伊斯兰教历、希吉来历等，是一种纯太阴历。回历的历元定在公元 622 年 7 月 16 日，这是伊斯兰教创始人穆罕默德从麦加迁徙至麦地那的年份，这次迁徙称“希吉来”。1 年 12 个月，以月相周期纪月，单月为大 30 日，双月为小 29 日，平年 354 日，闰年 355 日，实行 30 年 11 闰制。在 1 周 30 年中，逢第 2、5、7、10、13、16、18、21、24、26、29 这 11 年为闰年，逢闰年在 12 月末加 1 日。置闰后平均历月只比朔望月少 0.016 日，平均历年长 354.3667 日，比回归年约短 10 日 21 时 01 分。是供历史记录与伊斯兰宗教活动使用的一种与农事无关的历法。回历也有太阳历，以 622 年为纪元，春分为岁首，平年 365 日，闰年 366 日，128 年中设置 31 闰，

8 万年才会与回归年相差 1 日，供农事使用。值得注意的是回历不以合朔为一个月的第一天，而是以初见新月为月首，所以有的节日要见新月才可以举行仪式。

【藏历】中国西藏等地区藏族人民使用的一种历法。11 世纪以前西藏使用汉历，以藏王年号或干支纪年。11 世纪以后随着佛教更大的影响，由印度传入历法，经吸收改造而成藏历，虽然也是阴阳历，却与内地农历有许多不同。纪年不同，内地为干支，藏历将五行再分阴阳代替天干，以十二生肖代替十二支，变干支形式为阳木鼠、阴木牛、阳火虎、阴火兔……系列，作为年名；纪月不同，内地重朔，藏历重望，望必定在十五，朔不一定在初一，名义上每月 30 天，实际设置着空日与重日；置闰不同，藏历将二十四节气也分为“气”和“中”，以无“中”之月为上月闰月，但设置实际与内地不一致，平均 32.5 个月有一个闰月；星期不同，星期周用七曜命名，星期日为日曜日，星期六为土曜日；含宗教内容，与内地不同。

【傣历】中国傣族使用的历法。阴阳历的一种。现行傣历开始于公元 638 年，以朔望纪月，单月为大 30 日，双月为小 29 日。平年 12 个月 354 天，每隔约 5 年在 8 月加进一日就是 355 天。闰年 384 日，采用 19 年 7 闰，固定闰 9 月，闰月为 30 天。回归年长 365.25875 日，朔望月长 29.530583 日，岁首放于傣历六月六日与七月六日之间。从上年除夕到下年元旦之间有一、两日空日，这三、四天时间为盛大的泼水节。使用干支纪日、纪年法和十二生肖法，也使用二十四节气。

【彝历】中国彝族、白族、哈尼族等少数民族使用的历法，阴阳历的一种。闰月称重某月或双某月，纪年、纪月、纪日习惯上都使用十二生肖，大体上是同汉族地区相同的。近年来一些学者发掘出一种古老的彝历，曾一直沿用，是约从夏代开始行用的，为十月太阳历。每月 36 天，另有 5 天过年日，平年 365 天，4 年一闰，闰于过年日中。

【儒略历】古罗马儒略·恺撒（前 100—前 44 年）时代制定的一部太阳历，是今通用公历的前身。公元前 46 年由埃及天文学家索西琴尼编制后颁行。1 年 12 个月，单月为大 31 日，双月为小 30 日，只有 2 月平年 29 日，闰年 30 日，所以平年 365 日，闰年 366 日，四年一闰，平均年长为 365.25 日。其继承人奥古斯特改 8 月为大月，9、11 月为小月，10、12 月为大月，并在 2 月份减去一天，使儒略历大小月排列失去规律。1582 年教皇格里高利再次修订后即为现行公历。

【观象授时】中国古代由物候历逐渐向天文历过渡时期采用的一种观测天象确定季节和时间的方法。主要有观测黄昏和平旦经过南中天的星象、观测木星所在位置的星象、观测北斗斗柄指向等天象确定季节，同时还辅以测量日影，测量昼长，以使季节定的准确，不误农时。例如《尧典》中的“日永星火，以正仲夏”、“日短星昴，以正仲冬”，又如《诗经》中的“七月流火，九月授衣”等。用星象周日视动以反映时间流逝的如“三星在户”、“三星在隅”。初观象授时定四季，重在春分，以利耕作。后观象授时更加系统，逐月有南中天昏旦星象、太阳所在位置。在记录天象的同时还记有许多反映该季节、月份的物候，所以观象授时阶段是天

文物候历阶段，这一名词来自《尧典》中“历象日月星辰，敬授民时”。

【岁实】中国古代历法用语，相当于今“回归年”。如后汉四分历，其岁实为 365.25 日。

【朔策】中国古代历法用语，相当于“朔望月”，西汉太初历的朔策为 $29\frac{43}{81}$ 日。

【三正】中国古代历法名词。指三种正月安排的历法，它们是夏正、殷正、周正，为战国时期古六历中《夏历》、《殷历》和《周历》三种历法的正月安排。周正建子，以冬至所在月为正月；殷正建丑，以冬至月后的一个月为正月；夏正建寅，以冬至月后的第二个月为正月。反映三种历法岁首的时间不同，虽然史书认为三正是夏、商、周三代使用历法的正月不同，但实际上是战国时期三种历法的区别，是不同地域、民族、习俗的反映。

【二十四节气】中国古代对一年所分的时间段。有两种划分法：将一年日数等分成 24 段，每段谓之一平气；将黄道等分成 24 段，太阳每经过一段的时间谓之一定气，各气的时间不等长，因为太阳在黄道上不是均匀运动。24 气又分成 12 中气，12 节气，从冬至起太阳黄经每增加 30° ，就是一个中气；从小寒起太阳黄经每增加 30° 就是一个节气。从中气雨水开始为正月，每过一个中气依次得到二月、三月……，月名与中气联系着。没有中气的月份只能继续使用上个月的月名，是为闰月。二十四节气中二分二至概念产

生的最早，可追溯到五千年前。战国末期二十四节气名称已全部产生，汉代太初历正式用于历法，以后成为历代历法中的内容，至今仍在我国民用历中使用。二十四节气是天文历法服务于农业生产的杰出创造。节气名称、相应的大致日期、太阳黄经度可参见下表：

春季	节气、中气	立春 正月节	雨水 正月中	惊蛰 二月节	春分 二月中	清明 三月节	谷雨 三月中
	日期	2月 4或5日	2月 19或20日	3月 5或6日	3月 20或21日	4月 4或5日	4月 20或21日
	太阳黄经度	315°	330°	345°	0°	15°	30°
夏季	节气、中气	立夏 四月节	小满 四月中	芒种 五月节	夏至 五月中	小暑 六月节	大暑 六月中
	日期	5月 5或6日	5月 21或22日	6月 5或6日	6月 21或22日	7月 7或8日	7月 23或24日
	太阳黄经度	45°	60°	75°	90°	105°	120°
秋季	节气、中气	立秋 七月节	处暑 七月中	白露 八月节	秋分 八月中	寒露 九月节	霜降 九月中
	日期	8月 7或8日	8月 23或24日	9月 7或8日	9月 23或24日	10月 8或9日	10月 23或24日
	太阳黄经度	135°	150°	165°	180°	195°	210°
冬季	节气、中气	立冬 十月节	小雪 十月中	大雪 十一月节	冬至 十一月中	小寒 十二月节	大寒 十二月中
	日期	11月 7或8日	11月 22或23日	12月 7或8日	12月 21或22日	1月 5或6日	1月 20或21日
	太阳黄经度	225°	240°	255°	270°	285°	300°

【干支】天干和地支的合称。天干为甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸。地支为子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥。组合以后可得六十干支，用以纪日、纪月、纪年、纪时。其中尤以干支纪年常用，因为许多重大历史事件常用干支表示，如甲午战争、辛亥革命等。

干支表

0 甲子	15 己卯	30 甲午	45 己酉
1 乙丑	16 庚辰	31 乙未	46 庚戌
2 丙寅	17 辛巳	32 丙申	47 辛亥
3 丁卯	18 壬午	33 丁酉	48 壬子
4 戊辰	19 癸未	34 戊戌	49 癸丑
5 己巳	20 甲申	35 己亥	50 甲寅
6 庚午	21 乙酉	36 庚子	51 乙卯
7 辛未	22 丙戌	37 辛丑	52 丙辰
8 壬申	23 丁亥	38 壬寅	53 丁巳
9 癸酉	24 戊子	39 癸卯	54 戊午
10 甲戌	25 己丑	40 甲辰	55 己未
11 乙亥	26 庚寅	41 乙巳	56 庚申
12 丙子	27 辛卯	42 丙午	57 辛酉
13 丁丑	28 壬辰	42 丁未	58 壬戌
14 戊寅	29 癸巳	44 戊申	59 癸亥

【日躔】中国古代历法用语，意指太阳运动。日躔表即太阳运行表。

【月离】中国古代历法用语，意指月亮运动。月离表即以时间为引数的月亮运动表。

【斗建】中国古代历法名词。以黄昏后北斗斗柄所指方位的地支命名该月月名。约在战国时期，地面方位用十二地支表示，北子、南午、东卯、西酉，从北方开始，每顺时针方向转 30° 即为下一个地

支方向。如夏正十一月黄昏，斗柄指子，十二月指丑，正月指寅……则称十一月建子，十二月建丑，正月建寅。若用斗建表示三正，则可以说周正建子，殷正建丑，夏正建寅，分别表示三类历法正月北斗斗柄的指向。有时也称这种用方位地支表示月份的方法为月建。

【历法后天】中国古代历法用语。是历法预报天象时间与实际天象发生的时间不一致的意思。如果历法预算时间迟于实际天象发生时间，就是历法后天。

【岁星超辰】岁星纪年中的一种现象。春秋战国时期由于纪年混乱，岁星纪年法受到重视。这是中国古代独创的一种纪年法，既然周天划分为12次或12辰，而岁星（木星）又大约12年在恒星间运行一周，就以岁星所在次或辰纪年。但岁星运行周期实际只有11.86年，积累84.7年，岁星所在星次与岁星纪年周期算出的岁星所在就会相差一个星次或一辰，谓之岁星超次或岁星超辰。为此汉代刘歆曾创岁星超辰算法，后来岁星纪年法不再使用，就采用干支纪年法了。

【月行迟疾】中国古代历法用语。相当于今之近点月。月球在恒星间移动速度不均匀，这是因为月在近地点附近运行快，在远地点附近运行慢的缘故。古人不知其由，但从观测中发现了月行快慢的周期，实际上就是测量出了近点月的数值。东汉贾逵发现月行最疾处九年移动一周，即发现近地点运行周期为9年。东汉末刘洪测得月行迟疾，即测出了近点月。

【调日法】中国古代历法用语，指一种求取历法基本数据较好近似值的数学方法。南朝何承天在制订元嘉历时首创此法，中国古代历法中回归年、朔望月的小数部分都用分数表示，根据实际观测的回归年、朔望月数值，调整分子、分母。采用调日法可求得较好的近似值。

【交终月】祖冲之制大明历中将交点月称为交终月，是月亮两次通过同一黄白交点的时间间隔。

【经天月】古代对恒星月的称呼，是月球在恒星间运行一周的时间。

【上元积年】中国古代历法中的一项计算内容。一部历法确定历元要求这个起点符合下列条件，它是一个甲子日的夜半，还是朔日和冬至的一天。求出历元后再上推上元，那是一个“日月合璧、五星连珠”的吉祥日子，从上元到编历年份的年数叫积年，这就是上元积年。自刘歆制三统历计算上元积年起，几乎历代历法都作这项计算，从数学上说是解一次同余式的问题，但对历法意义却不大。唐代曹士芮、宋代杨忠辅都曾作过去掉上元积年的尝试，元代郭守敬制授时历彻底废除了这项繁杂计算。

实测天体物理

【天文望远镜】用来收集远处物体的辐射并将其成像的仪器。由物

镜、目镜及其他配件组成。来自物体的光线先经过物镜，再经过目镜，人眼在目镜后面观测。望远镜的作用是扩大物体的张角和增强聚光能力，以便看到更多的细节和更暗的目标。按光学系统不同可分成三类：折射望远镜、反射望远镜和折反射望远镜。光学性能主要由物镜的口径和相对口径决定。口径是指物镜未被镜框遮挡的部分的直径，用 D 表示。相对口径是物镜的口径与其焦距之比，又称光力，用 A 表示。通过望远镜观测点状天体（如恒星），像点的亮度与 D^2 成正比，与 A 无关，即 D 越大便能看到越暗弱的恒星；对于面状天体（如星云、彗星等），它们在望远镜中的亮度与 A^2 成正比，不再与 D 有关。望远镜发明于 17 世纪初，1609 年伽利略制成了第一架天文望远镜。之后的 200 多年间主要用于目视观测。照相术应用于天文观测后，用望远镜进行天体摄影也成了天文研究的重要手段。在现代天文观测中，随着各种光电器件的出现，目视观测和天体照相术的应用已越来越小。现代望远镜的工作范围也不仅限于 4000—7000 埃的可见光波段，随着射电望远镜，红外望远镜、紫外望远镜、X 射线望远镜等的出现，天文望远镜已成为了全波段的观测仪器。

【折射望远镜】用透镜作物镜的望远镜。分为两种类型：由凹透镜作目镜的称伽利略望远镜；由凸透镜作目镜的称开普勒望远镜。因单透镜物镜色差和球差都相当严重，现代的折射望远镜常用两块或两块以上的透镜组作物镜。其中以双透镜物镜应用最普遍。它由相距很近的一块冕牌玻璃制成的凸透镜和一块火石玻璃制成的凹透镜组成，对两个特定的波长完全消除位置色差，对其余波长的位置色差也可相应减弱。在满足一定设计条件时，还可消去球差和彗差。由于剩余色差和其他像差的影响，双透镜物镜的相对

口径较小，一般为 $1/15$ — $1/20$ ，很少大于 $1/7$ ，可用视场也不大。口径小于 8 厘米的双透镜物镜可将两块透镜胶合在一起，称双胶合物镜，留有一定间隙未胶合的称双分离物镜。为了增大相对口径和视场，可采用多透镜物镜组。折射望远镜的成像质量比反射望远镜好，视场大，使用方便，易于维护，中小型天文望远镜及许多专用仪器多采用折射系统，但大型折射望远镜制造起来比反射望远镜困难得多。

【伽利略望远镜】折射望远镜的一种。物镜为凸透镜，目镜为凹透镜。伽利略于 1609 年制成的第一架天文望远镜即为这种结构，故名。这种望远镜能得到正立放大的虚像，而且镜筒短小，制造容易，价格低廉，观剧用的小双筒望远镜多采用这类光学系统。但因视场小，放大率低，视场边缘像质很差，不能安装十字丝，故已不用于天文观测。

【开普勒望远镜】折射望远镜的一种。物镜和目镜均为凸透镜。由开普勒于 1611 年首先发明，故名。这种望远镜成倒立放大的像，这对天文观测并无影响。由于像质好，视场大，能够安装十字丝，所以被普遍采用。若用于观测地面目标，在目镜前加入一组转像镜便可得到正像。

【寻星镜】附加在望远镜主镜镜筒上的小型目视望远镜。通常为口径小于 10 厘米的折射望远镜。为了得到尽量大的视场，目镜多选用低倍率的广角目镜，视场一般大于 3° ，焦平面处装有供瞄准用的分划板，它的光轴要与主镜光轴保持平行。观测时在大视场的寻星镜中先找到待测天体，再将其置于分划板十字丝的中心，此

时待测天体也一定位于主镜视场中。

【导星镜】附加于望远镜主镜镜筒上用于精确跟踪被观测天体的望远镜。由于望远镜跟踪装置的缺陷或被观测天体本身相对于恒星背景的运动都会造成望远镜跟踪不准，导星镜的作用就是确保观测过程中目标在主镜视场中的位置保持不变。导星镜一般是口径比寻星镜大的折射望远镜。为了能觉察到导星的微小偏离，导星镜的放大率要足够高，因而视场较小，常将目镜设计成可以在垂直于光轴的平面内移动，以确保在视场中可以找到足够亮的导星。目镜焦面上装有十字丝，可提高导星精度。目前常用的导星方式有目视导星和光电导星两种。

【反射望远镜】用凹面反射镜作物镜的望远镜。可分为牛顿望远镜、卡塞格林望远镜、格雷果里望远镜、折轴望远镜几种类型。反射望远镜的主要优点是不存在色差，当物镜采用抛物面时，还可消去球差。但为了减小其它像差的影响，可用视场较小。对制造反射镜的材料只要求膨胀系数较小、应力小和便于磨制。磨好的反射镜一般在表面镀一层铝膜，铝膜在 2000—9000 埃波段范围的反射率都大于 80%，因而除光学波段外，反射望远镜还适于对近红外和近紫外波段进行研究。反射望远镜的相对口径可以做得较大，主焦点式反射望远镜的相对口径约为 $1/5$ — $1/2.5$ ，甚至更大，而且除牛顿望远镜外，镜筒的长度比系统的焦距要短得多，加上主镜只有一个表面需要加工，这就大大降低了造价和制造的困难，因此目前口径大于 1.34 米的光学望远镜全部是反射望远镜。一架较大口径的反射望远镜，通过变换不同的副镜，可获得主焦点系统（或牛顿系统）、卡塞格林系统和折轴系统。这样，一架望远镜便

可获得几种不同的相对口径和视场。反射望远镜主要用于天体物理方面的工作。

【牛顿望远镜】反射望远镜的一种。1668年由牛顿发明。由主镜和一块平面镜组成，聚焦成像于镜筒的一侧，其焦点称牛顿焦点。多采用旋转抛物面形主镜，成像无球差，但由于彗差等其它像差的影响，视场较小。在镜筒侧面可以安置多种不同的终端设备，转动平面镜就可使其中一种处于工作状态。对于大口径反射望远镜，可不用平面镜直接将终端设备安放在主镜的焦点上进行工作，这种系统称主焦点系统，优点是光线只经过一个反射面，损失少。但由于存在挡光问题，终端设备不宜过大。

【卡塞格林望远镜】反射望远镜的一种。由两块反射镜组成，较大的一块称主镜，较小的一块称副镜。经典的卡塞格林望远镜是1672年由卡塞格林发明的，主镜为凹旋转抛物面，副镜为凸双曲面。通常在主镜中央开孔，副镜将主镜成的像放大并再次成像于主镜后面，其焦点称卡塞格林焦点。这种望远镜无球差，但彗差、像散、场曲依旧存在，相对口径一般为 $1/7—1/15$ 。在望远镜的焦点处可安置较大的终端设备，不存在挡光的问题，且操作方便。为了同时安装几种不同的终端设备，可在卡塞格林焦点前加一平面镜将像成于镜筒侧面，这时的焦点称耐司姆斯焦点，转动平面镜就可换用不同的终端设备。

【格雷果里望远镜】反射望远镜的一种。1663年由格雷果里发明。由两块反射镜组成，主镜为凹旋转抛物面，副镜为凹旋转椭球面。主镜中央开有圆孔，副镜位于主镜焦点后面，光线经副镜和圆孔

在主镜后成正立实像，其焦点称格雷果里焦点。格雷果里望远镜无球差，但彗差、像散、场曲依旧存在，与相应的卡塞格林望远镜相比，光学性能差不多，且场曲更大，镜筒也较长，故大型望远镜很少采用。在太阳观测中为了减少辐射热对像质的影响，有时需要在主焦点处安置光阑，则可采用这种系统。

【R—C 望远镜】反射望远镜的一种。20 世纪初由克列基昂设计，里奇首先制成。由两块反射镜组成，主镜很接近凹旋转双曲面，副镜很接近凸旋转双曲面。无色差、球差和彗差，可认为是消彗差的卡塞格林望远镜。优点是视场比同样相对口径的卡塞格林系统和主焦点系统大，如使底片弯曲来克服场曲，还可获得更大的视场。但使用主焦点时存在球差，需加入像场改正镜。

【折轴望远镜】又称库德望远镜。将望远镜的轴制成空心的，光线经过一些光学元件转向后沿轴射出并聚焦成像。其焦点称折轴焦点。折轴焦点的位置不随望远镜跟踪天体的运动而变化，故可安装与望远镜本体脱离的庞大的终端设备。折轴望远镜的整个视场随天体的周日运动绕中心旋转，观测时应设置像场转动机构补偿这种连续转动。

【折反射望远镜】由折射元件和反射元件组合而成的望远镜。包括施密特望远镜和马克苏托夫望远镜及它们的衍生型，如超施密特望远镜，贝克—努恩照相机等。在折反射望远镜中，由反射镜成像，折射镜用于校正像差。它的特点是相对口径很大（甚至可大于 1），光力强，视场广阔，像质优良。适于巡天摄影和观测星云、彗星、流星等天体。小型目视望远镜若采用折反射卡塞格林系统，

镜筒可非常短小。

【施密特望远镜】折反射望远镜的一种。1931年由德国光学家施密特发明。由一个凹球面反射镜和位于反射镜曲率中心的一块很接近平行平板的非球面改正板组成。这种望远镜视场大，光力强，除场曲外其它像差校正得好，光能损失少，是最常用的折反射望远镜。缺点是改正板加工困难，焦面是弯曲的，又位于光路中间，存在挡光的问题，而且镜筒较长。

【马克苏托夫望远镜】折反射望远镜的一种。1940年由前苏联光学家马克苏托夫发明。由一个凹球面反射镜和加在它前面的一块球面弯月形改正镜组成。它的所有光学表面均为球面，易于磨制，比同样焦距的施密特望远镜镜筒短，但视场稍小。由于改正镜厚度较大，对光学玻璃的要求较高，限制了口径的增大。多用于中小口径的望远镜。

【超施密特望远镜】折反射望远镜的一种。为了得到尽可能大的相对口径和视场，将施密特改正板和马克苏托夫改正镜相结合制成的一种多改正镜施密特望远镜。适于拍摄既暗弱又快速移动的天体，如流星、人造卫星等。

【像差】光学系统实际成的像与理想成像状态间的差别。由物点发出的光线与透镜（或反射镜）主轴夹角太大、离轴较远或透镜对光线的折射率随波长改变等原因造成。可分为单色像差和色差。单色像差包括球差、彗差、像散、场曲和畸变；色差包括位置色差和倍率色差。光学系统对以上各种像差同时校正良好是非常困难

的，实际工作中可根据具体情况着重校正最有害的像差。

【球差】像差的一种。由点光源发出的光线经透镜（或反射镜）后所成的不是点像，而是一个大小一定的圆斑。与物高无关而与入射光瞳口径的三次方成正比，轴上物点只有球差这一种像差。

【色差】像差的一种。由于透射材料对短波长光线的折射率比长波长光线大，点光源发出的复色光经光学系统后不汇聚于一点，而是成为一个有色的弥散斑。分为两种：（1）位置色差（又称纵向色差）与物高无关，不同波长的光线汇聚于不同的焦点；（2）倍率色差（又称横向色差）与物高成正比，使得不同波长的光线的像高不同，在理想像平面上点光源的像成为一条小光谱。对于折射系统，可用不同折射率的玻璃制成的透镜组来消除色差。反射系统不存在色差。

【大型折射望远镜】指口径大于 75 厘米的折射望远镜。由于大口径透镜存在残余色差，镜坯难于制造，透镜加厚会增加对光的吸收和自重引起的变形，镜筒过长会增加望远镜本身的机械结构和圆顶室的设计和制造的困难，故自 1897 年美国的叶凯士天文台建成了口径 1.02 米的折射望远镜后，一直没有更大的折射望远镜投入使用。

【大型折反射望远镜】改正镜口径大于 80 厘米的施密特望远镜。由于马克苏托夫望远镜弯月形改正板的厚度较大，约为口径的 $1/10$ ，对光学材料的要求较高，吸光量也较大，限制了口径的增加，最大的马克苏托夫望远镜改正镜厚度较薄，制作材料容易解决，但

改正镜的形状复杂，难于磨制。

【大型反射望远镜】口径大于 250 厘米的反射望远镜。反射望远镜无色差，制作反射镜的镜坯容易制造，且反射镜可以从背面均匀的支承，减小重力引起的变形，故口径可造得较大。

【多镜面组合望远镜】集合多个镜面以获得更大等值口径的望远镜。制造大口径的单块物镜，工艺上困难很大且造价昂贵，为此，1971 年美国开始研制第一架多镜面望远镜，并于 1979

装备有大型折射望远镜的 6 个天文台

名 称	所 在 地	口径(厘米)
美国叶凯士天文台(Yerkes Obs.)	美国威斯康星州威廉斯湾	102
美国利克天文台(Lick Obs.)	美国加利福尼亚州哈密尔顿山	91
法国巴黎默东天文台(Meudon Obs.)	法国塞纳—瓦兹省	83
德国天体物理台	德国波茨坦	80
美国阿勒格尼天文台(Allegheny Obs.)	美国宾夕法尼亚州匹兹堡大学	76
普尔科沃天文台(пулковое обсерв.)	俄罗斯圣彼得堡	76

年正式投入使用。它由 6 架口径各为 1.8 米的卡塞格林望远镜组成一个六角型的望远镜组，6 束光各经一个平面镜反射后射向一个合成器，汇聚于一个公共焦点，组成后口径为 4.5 米。每个镜筒的副镜可受控作微小调整。6 个镜筒的星像既可互相重合，又可沿摄谱仪狭缝排成一行以提高星光利用率。这种望远镜的优点是合成口径大，镜筒短；造价低。缺点是视场小，光束经多次反射，损失较多，不易保持各光束的相干性和成像质量不够理想。另一种获得大口径的方法是用多块小镜面直接拼成一个大镜面，如建在夏威夷莫纳克亚天文台的凯克望远镜由 36 块六边形镜面拼接而成，等效口径为 10 米，每片镜面下面装有复杂的压力传感器网，

由计算机控制使它们保持正确的位置。

【赤道式装置】用于安装天文望远镜镜筒的一种机械装置。有两根互相垂直的转轴，一根与地球的自转轴平行，称极轴；另一根轴称赤纬轴。镜筒可同时绕此二轴旋转，以便指向待观测天体。观测时镜筒绕极轴以周日运动的速度自东向西旋转，便可对天体进行跟踪，配以电动装置还可实现自动跟踪。常用的赤道式装置有如下五种：（1）德国式，多用于安装长镜筒的望远镜。（2）英国式，基座稳定，适于安装在低纬度地区。（3）摇篮式，两轴的负荷变形不影响指向精度，但不能观测极区。（4）马蹄式，适于安装大型望远镜。（5）叉式，适于安装短镜筒的望远镜和赤纬方向变化小的太阳望远镜。

【地平式装置】用于安装天文望远镜镜筒的一种机械装置。有两根互相垂直的转轴，一根沿铅垂方向，称垂直轴；另一根位于水平面内，称水平轴。要跟踪天体的周日视运动，镜筒必须同时绕两个轴旋转。优点是机械结构对重力是对称的，设计和制造较为方便，特别适用于安装大型望远镜。利用计算机控制可精确跟踪天体的周日视运动，但在天顶附近存在跟踪盲区，而且在跟踪过程中视场会绕望远镜光轴作非匀速转动。

【圆顶室与天窗】安置天文望远镜的建筑物称圆顶室。通常为圆柱形结构，顶部为可绕竖直轴转动的半圆壳体，故名。圆顶上有两扇狭长的活动天窗，可沿水平方向裂开；有的只有一扇天窗，可在圆顶上作上下滑动。天窗打开后配合圆顶的转动可使望远镜对准要观测的天体。圆顶室的作用是保护望远镜免受来自外界的破

坏，并防止外界温度变化对观测的不良影响。圆顶外表涂成银白色，借以反射太阳光，并采取隔热措施，以减少室内的温度变化。圆顶室的地板应与望远镜的基座分开，以防振动。室内配备观测梯、观测椅和星图、星表等资料。大型望远镜的圆顶室内还有折轴装置的分光仪室、暗房、计算机房等设备。

【恒星干涉仪】利用相干原理测定恒星角直径和双星角距离的装置。由迈克尔逊于 1920 年设计的第一架恒星干涉仪可测量 $0''.02$ 的角度。恒星的光通过平面镜 B 、 A 和 B^1 、 A^1 再经过物镜聚焦后，在焦平面 P 上形成干涉条纹。近代将两架大口径望远镜相距一定距离放置，代替上述的 B 和 A 两块平面镜，用光电倍增管接收星光。改变两架望远镜间的距离，把观测结果进行归算，即可求出恒星的角直径。用这种方法可大大提高观测精度，但需要接收大量的光子才能得到有意义的相关性，所以只能对亮星进行测量。

【太阳望远镜】专门观测太阳用的望远镜。太阳观测的特点是入射光很强，故太阳望远镜的焦距都很长，相对口径较小。在目视观测时要加合适的减光板。此外，强烈的太阳辐射会加热仪器周围的空气，引起激烈的对流，严重影响仪器的分辨率。60 年代以前，观测太阳的分辨率极少能达到 $1''$ 。为了得到尽可能高的分辨率，首先要精选台址，实践证明水域中白昼的天文宁静度要优于陆地，这是因为水的热容量大，大量吸收了太阳的辐射，水面上空温度的扰动小，因此很多太阳望远镜安放在湖泊、水库之中。其次要克服仪器自身引起的热空气湍流。常用的措施包括采用塔式结构的观测室，将接受太阳光的镜面置于地面附近的空气对流层之上；避开扰动层的影响；采用无圆顶的露天结构，避免圆顶内外的空

气对流；将光路密封抽真空，避免光路内的空气对流；采用低膨胀材料作镜面，提高成像质量。

【太阳塔】安装有太阳望远镜的塔式建筑物。近地面的上升热气流高度一般不超过 20 米，如果将定天镜置于 20 米以上，并用空心圆塔将定天镜垂直向下反射的太阳光与近地面的上升热气流隔开，由于塔内空气的层次大致呈水平分布，因此可消除气流扰动的影响。这种设计思想由美国天文学家海耳于 1904 年首先提出，1908 年美国威尔逊山天文台建成了首座太阳塔。为了防止外界振动和风力作用影响仪器的稳定性，通常由互不相连的内外两层组成，外塔起保护仪器的作用，表面涂有高反射系数的涂料，可减少太阳辐射热对塔内空气的影响；内塔安装定天镜等光学元件，太阳摄谱仪等大型设备安放在塔底或地下竖井内。为了避免塔内空气对流，进一步提高成像质量，可将全部成像光学元件置于真空筒中，称为真空太阳塔。

【定天镜】将太阳光反射到固定方向的光学装置，由两块低膨胀系数的平面镜组成。第一平面镜的法线位于赤道面内，自转轴与地球的自转轴平行，由电机驱动，以 48 小时一周的匀速与太阳视运动同方向转动，将太阳光反射到第二平面镜上，再经第二平面镜反射到太阳望远镜的成像镜中。第二平面镜多采用可作微动的地平式装置，以改正跟踪过程中太阳像的偏离。由于太阳的赤纬存在周年性变化，二平面镜的相对位置还应当可以调节，以确保一年中任何日期、任意时刻都可在有利的照射条件下观测。优点是结构简单，反射的天区不发生转动；缺点是反射光的偏振状态变化复杂，而且不能安装在真空系统中。

【定日镜】以周日运动速度绕极轴自转的一块平面反射镜。来自太阳或其它天体的光经它反射后再经过一块固定反射镜的反射，可使天体的光沿一固定方向传播。所以也称“定星镜”。

【太阳摄谱仪】又称太阳光谱仪。拍摄太阳光谱的光学仪器。一般采用大色散度和高分辨本领的平面衍射光栅作色散元件。由于入射的太阳光非常强，入射狭缝可以很窄，光谱分辨率接近光栅分辨率的理论值。将摄谱仪内部抽成真空可减小气流的扰动，便于观测太阳光谱的精细结构。

【太阳单色光相机】利用太阳摄谱仪拍摄选定的某一波长 λ 处，狭窄的波长范围 $\Delta\lambda$ 内单色辐射所成的太阳像的仪器。观测时，细长的一条太阳像通过入射狭缝 S_1 落在准直镜 M_2 上，经过光栅 G 分光之后得到日面这一部分的光谱，再通过出射狭缝，在照相底片上便可得到选定波长 λ 处的像。如果转动平面镜 M_1 ，使日面各部分轮流进入摄谱仪，同时令底片盒 P 作同步扫描运动，便可得到整个日面的单色照片。优点是可随意选择单色波长和透射带宽；但扫描一幅太阳像需较长时间，受天文宁静度累积影响，照片上的分辨率不高。

【色球望远镜】又称李奥太阳望远镜。用某一单色光观测太阳色球层活动现象的望远镜。色球层的亮度比光球层微弱得多，平时淹没在光球的光辉里，用普通的光学望远镜无法观测。而太阳辐射中某些谱线中心的光主要来自色球层，这些光成的图像即反映色球的状况。如果在望远镜中加入双折射滤光器，只透过这些谱线

近旁 0.25—0.75 埃的单色光，便可得到色球的单色像。观测色球最常用的谱线是氢线 (H_2 , 6563 埃) 和电离钙线 (Ca^+K , 3934 埃; Ca^+H , 3968 埃)。

【双折射滤光器】又称偏振干涉滤光器或李奥滤光器。由双折射晶体构成的,利用偏振光的干涉作用得到充满视场的单色光的仪器。由李奥于 1933 年首先发明。主要用于太阳的单色光观测,是色球望远镜和太阳磁像仪的重要组成部分。大多数透带半宽在 0.1—1 埃之间,工作波长为 6563 埃;有的透射带中心波长可在较宽的范围内调节。由于双折射材料的性质与温度有关,因此滤光器需在恒温下工作,以避免温度变化引起的透射带位移。最常用的双折射材料是水晶和冰洲石晶体。

【太阳磁像仪】测量太阳活动区磁场和普遍磁场的仪器。根据逆塞曼效应的原理设计而成。逆塞曼效应是指光谱中某些对磁场敏感的吸收线在磁场作用下发生分裂的现象。谱线分裂的程度与磁场强度成正比。对于象黑子这样的强磁场区,可以在太阳摄谱仪的入射狭缝前加上分析偏振光的器件,直接测出磁场敏感谱线的分裂情况,进而求出磁场强度。测量比黑子磁场弱得多的局部磁场或普遍磁场时,谱线的分裂难于直接测量,可采用间接的办法,即在磁场敏感谱线的翼部测量不同偏振状态两支线的强度差,也可归算出磁场的强度。

【日冕仪】在不发生日全食时观测日冕的光学仪器。1931 年由法国天文学家李奥发明。日冕的亮度只有光球亮度的百万分之一,平时被光球的散射光淹没,在地面上只有发生日全食时才能观测到。

日冕仪的设计原理是制造人造日食，并尽可能的消除仪器的散射光。为了消除散射光，应尽量减少透镜的厚度和玻璃与空气交界面的数目，故物镜 O_1 采用单块薄透镜，并在照相镜 C 后安置窄带滤光片 F 来消除 O_1 的色差。光阑 S_2 的口径略小于光阑 S_1 ，可挡去 S_1 边缘的衍射与杂散光。光轴上的小挡块 S_3 可挡住光路中所成的假日面像。镜筒内涂有无光泽的黑色涂料。在地面上，地球大气的散射光亮于日冕，因此日冕仪一般安置在空气稀薄的高山上。

【太阳辐射测量仪】测量太阳总辐射强度和分光辐射强度的一类仪器，如“太阳热量计”、“日射强度计”等。其原理是以最小的损失将太阳辐射能转换为热能或电能等其它形式的能量。前者将吸收率极高的锰铜片分别置于太阳垂直照射和完全黑暗条件下，使后者与前者温差为 0 的加热量即为太阳辐射热。日射强度计除直射太阳辐射能外还要测散射于半个天球的太阳辐射能。测量分光辐射强度需加滤光器或采用单色仪测量。

【大气窗口】能透过地球大气层的天体辐射对应的波段范围。由于地球大气中各种粒子对天体辐射的吸收、反射和散射作用，只有某些波段范围内的天体辐射能够到达地面，按波长不同大气窗口可分为（1）光学窗口，人眼和光学望远镜观测到的波段范围，波长为 3000—7000 埃。（2）红外窗口，红外辐射主要被水汽分子吸收，只有 8—13 μ （微米）。9.5 μ 是半透明窗口。在海拔较高，空气干燥的地方，24.5—42 μ 的辐射透过率达 30—60%。在海拔 3500 米处可观测 330—380 μ 、420—490 μ 、580—670 μ （透射率为 30%）的辐射和 670—780 μ 、800—910 μ （透射率分别为 70%和

85%) 的辐射。(3) 射电窗口, 能透过波长为 0.003—30 米的射电波。15—200 米波段的透过情况随电离层密度、地理纬度和太阳活动而变化。

【大气色散】因地球大气层对不同波长的光线折射率不同而形成的色散效应。它使星像形成一条位于地平经圈上的小光谱, 紫端靠近天顶方向。大气色散随天体地平高度的减小而增大。在许多天文实测工作中应考虑它的影响, 通过光学补偿法可将其减小或消除。

【大气消光】来自天体的辐射受地球大气的吸收和散射, 造成辐射强度减弱和颜色变化的现象。它与大气的成份、辐射的波长及辐射穿过大气的厚度有关。蓝紫色天体的消光比红色天体的大。天体的天顶距越大, 消光也越严重, 在纯静的大气中, 同一颗星在地平附近时要比在天顶暗 3 个星等。对在地面进行的天体测光的结果应进行大气消光改正, 从而得到天体辐射的真实情况。

【大气宁静度】表示进行天文观测时大气状况的量度。大气宁静度差时, 恒星的像变得模糊、闪烁不定, 太阳等有视面天体的边缘起伏不定。常用的是安东尼阿迪所提出的标度。Ⅰ. 理想的宁静, 星像不抖动; Ⅱ. 稍微动荡, 但有几秒钟的宁静时间; Ⅲ. 中等宁静度, 空气有较大的颤动; Ⅳ. 宁静度差, 常出现抖动; Ⅴ. 宁静度很差, 几乎无法描绘草图。

【夜天光】又称夜天辐射。天文昏影结束后的无月晴夜, 在远离人造光源的地方夜空所呈现的暗弱弥漫光辉。在测光工作中称为天

空背景。其主要来源是：高层大气中光化学过程产生的辉光、黄道光、恒星光、银道面附近星际物质反射或散射的星光和地球大气散射上述光源的光。每平方角秒夜天背景的亮度约相当于目视星等 21.6 等，在地球大气外，夜天背景的亮度比地面约暗一个星等。它的存在限制了观测的极限星等。夜天光的光谱由连续谱和发射线组成。作光谱观测时，要注意区分天体谱线和大气谱线；作红外观测时要消除大气红外辐射的影响。

【天文台选址】根据天文观测的特殊要求选择望远镜安装地点的过程。地球大气的状况对天文观测有很大的影响。对于光学观测，云量的多少会影响可观测的时间，大气吸收会影响观测的极限星等，由大气温度和密度起伏引起的折射率变化会影响星像的质量。对红外观测和毫米波射电观测，水汽吸收的影响十分严重。所以天文台址应选在云量小、晴夜多、局部气流平稳、温差小、温度低的地方。人为因素在选址中也是要考虑的。台址应远离人口稠密的城市和厂矿，因为城市灯光会使夜天光增亮，厂矿排出的粉尘会增加大气的吸收、无线电发射台的电波会影响射电观测。选址时还要考虑工作人员的生活条件，尽量做到交通便利、水电供应充分。

【天体光度测量】简称测光。指测量和研究天体在某一波段范围内的辐射流或照度。其基本原理是：在相同条件下，相同的辐射流在探测器上产生相同的响应。测量结果常以星等表示。按所用探测器的不同，测光可分为：（1）目视测光，用眼睛或目视光度计比较待测星和标准星（或标准光源），从而估计待测星星等。测得结果为目视星等，平均波长大致为 5500 埃。这种方法精度低，标

度不稳定，已很少采用。(2) 照相测光，用天文底片作探测器，配以适当滤光片，拍摄天体的照片，再测量星像密度定出星等。如蓝敏底片进行照相测光，所得结果为照相星等，平均波长约 4300 埃。照相测光的相对精度约为 0.05。优点是能同时记录大面积天区内的天体，适于进行巡天和统计工作。(3) 光电测光，使用光电探测器件测光的方法。主要的仪器是光电光度计。测光时选取适当的光阑，让星像位于光阑中，记录仪器读数，然后让光阑对准夜天背景再记录仪器读数。这两个数值相减便得到星光的仪器响应。由于光电光度计的核心——光电倍增管是线性器件，所以很容易将测量结果归算为光电星等。一般情况下，光电测光的精度为 0.01—0.005 个星等，较差测光时可达 0.001 个星等，是最准确，也是应用最广泛的测光方法。

【目视星等】 又称视星等。指人眼测定的天体亮度，用符号 m_v 表示。人眼对波长 5500 埃左右的光线最敏感，故目视星等的平均波长约为 5600 埃。美国哈佛大学天文台规定小熊座入星的目视星等 $m_v = +6.55$ 等，并以此来确定目视星等的零点。例如，太阳的目视星等为 -26.74 等；天狼星的目视星等为 -1.6 等。目视星等为 1 等的星，在地面的照度约为 8.3×10^{-9} 勒克司。

【照相星等】 用蓝敏照相底片（敏感区为 2500—5000 埃）测定的星等，用符号 m_p 表示。平均波长约为 4270 埃。照相星等的零点是这样规定的：令目视星等介于 5.5—6.5 等间的 AO 型星的平均照相星等等于目视星等。

【仿视星等】 用正色照相底片与黄色滤光片组合，使其对各波长的

分光灵敏度与人眼相同,以代替人眼进行天体测光所得到的星等,用符号 m_{pv} 表示。其平均波长为 5900 埃。

【光电星等】由加在望远镜上的光电光度计测定的星等。(其精度高于目视星等和照相星等)由于光电光度计所使用的滤光片不同,又有各种不同的光电星等系统。UBV 测光系统是最常用的光电星等系统。

【热星等】由天体在整个电磁波段内的总辐射确定的星等,用符号 m_b 表示。它无法通过观测直接测定,要利用多色测光测定的星等结合理论计算求出。

【极限星等】又称贯穿本领。在晴朗无月的夜晚通过望远镜目视或拍照位于天顶附近的 AO 型恒星所能达到的最暗星等。目视望远镜的极限星等 m_v 可近似用公式 $m_v = 2^m \cdot 1 + 5 \lg D$ 表示,式中 D 为以毫米表示的望远镜口径。对于照相望远镜,极限星等除与口径有关外,还有底片的特性、显影和定影条件等诸因素有密切的关系。装有辐射探测器的望远镜,其极限星等还与探测器的性能有关,如在望远镜的终端安装电子照相机进行观测,可以达到比一般望远镜高得多的极限星等。

【多色测光】用照相或光电的方法分别测量天体在几种不同波带内的光辐射流,并分析研究其结果。适当选择探测器和滤光片,可组合成多种多色测光系统,根据波带半宽的不同可分为宽带测光系统 ($\Delta\lambda > 300$ 埃)、中带测光系统 (90 埃 $< \Delta\lambda < 300$ 埃) 和窄带测光系统 ($\Delta\lambda < 90$ 埃),常用的有 UBV 测光系统和四色测光系

统。利用多色测光可以得到恒星的色指数、色温度、绝对星等、有效温度、恒星大气中的金属元素含量和恒星表面重力加速度等物理参量。

【UBV 三色测光】一种宽带测光系统。1953 年由约翰逊和摩根创立。他们使用镀铝反射镜、光电倍增管和紫外 (U)、蓝 (B)、黄 (V) 三种颜色的滤光片精确测量了分布于全天的约 400 颗恒星,给出了大气外星等 V , 色指数 $U-B$ 和 $B-V$ 。 U 为紫外星等, B 类似照相星等, V 和目视星等相近。这一测光系统规定, 10 颗北极星序里的恒星的 V 星等与用光电方法校准过的仿视星等相同, 并规定 6 颗 AOV 型标准星的 $U-B=B-V=0$, 从而建立了光电子星等系统和标准星之间的关系。UBV 测光系统为研究星际消光、银河系的结构和天体演化提供了丰富的资料, 已成为国际标准的测光系统。

UBV 测光系统的滤光片特性

	U	B	V
平均波长 (埃)	3500	4300	5500
波带半宽 (埃)	600	950	1400

【四色测光】又称 uvby 测光系统。20 世纪 50 年代由丹麦天文学家斯特龙根提出的一种中带测光系统。使用 u 、 v 、 b 、 y 四种滤光片配合光电倍增管测量恒星的光度, 所得结果表示为色指数 $b-y$ 和两个色指数之差 $C_1 = (u-v) - (v-b)$ 、 $m_1 = (v-b) - (b-y)$ 。采用 uvby 测光系统可以获得天体的巴尔末跳跃, 进行恒星的

二维或三维分类，确定星际红化、粗略推算晚型星的元素丰度及获得其他许多关于恒星的基本信息。在这一点上，它优于 UBV 测光系统。

$uvby$ 测光系统的滤光片特性

	u	v	b	y
平均波长(埃)	3500	4110	4670	5470
波带半宽(埃)	300	190	180	230

【光电光度计】用光电倍增管作辐射探测器测量天体辐射流的仪器，用以确定天体的视星等和色指数。可分为单通道光电光度计和多通道光电光度计，单通道光电光度计安置在望远镜的终端，待测天体的光线通过光阑、滤光片，经场镜后均匀的照射于光电倍增管的光阴极上，再由前置放大器将光电流放大后输往记录装置。一般将多块滤光片装在一个滑板之上，在多色测光时可根据需要进行选择。为了减小暗流，需将光电倍增管装入隔热箱并加以屏蔽，箱中加入干冰、液氮、液氦等致冷材料降温，并保持恒定的温度。输出信号一般用直流放大器或积分电路测量，或用光子计数电路直接记录入射光子数。多通道光电光度计的原理和单通道的相似，只是它们有两个或两个以上的通道，可以同时观测，提高了测量的精度和速度，并能测量天体光度的快速变化。

【色指数】照相星等与目视星等的差值，用符号 C 表示，即 $C = m_p - m_v$ 。由于人眼对黄绿光敏感，而照相底片对波长较短的蓝光敏感，故呈蓝颜色的早型星色指数为负值，而光谱型晚于 AO 型的恒星为正值，规定介于 5.5—6.5 等的 AO 型星的色指数为 0。求色指数时常仿用仿视星等代替目视星等。色指数可用来表征恒星的

颜色，而恒星的颜色决定于它们的温度，因此它与色温度 T 的关系可表为：

$$T = \frac{7200K}{C + 0.64}$$

广义的色指数指同一天体在任意两波段内的星等差，并定义为短波段星等减长波段星等。如 UBV 三色测光系统中的 $B-V$ 和 $U-B$ 均为色指数。

【热改正】热星等和目视星等之差，记为 BC ，即 $BC = m_b - m_v = M_b - M_v$ ，式中 m_b 和 m_v 分别为视热星等和目视星等， M_b 和 M_v 分别为绝对热星等和绝对目视星等。

【色余】观测所得的大气外天体色指数与无星际消光时该天体的真实色指数之差。当前者大于后者，即天体的颜色显红时色余为正。正色余主要是由星际红化引起的，其数值与光线穿过的距离成正比，故可根据色余来估计天体的距离。当恒星周围存在尘埃近层和红移过大时，也会引起正色余。而一些非热辐射的天体，以及反射星云等，会产生负色余，使天体显得过蓝。

【光瞳光度计】一种测量底片上天体光度的仪器，用来确定恒星的星等。它由一个光源发出两束光，一束直接照射到光电倍增管上，照度不变；另一束通过底片上的星像再照射到同一光电倍增管上，这一光路中有一可变光阑（光瞳）。改变光阑的大小使两束光的光电流相等，记下此时光阑孔径的读数，利用精确测定星等的标准星所制成的定标曲线，便可将读数转换为星等。

【测微光度计】又称测微密度计。测量照相底片上微小区域内的照相密度的仪器。常用的有单光束测微光度计和双光束测微光度计两种。前者要求光源十分稳定。光源经显微物镜缩小后，均匀的照射在待测底片上，底片上的像由另一个显微镜放大，然后投射在一个狭缝平面上，透过狭缝的光流被光电管接收。根据照射光束通过底片上感光部分和未感光部分所记录的光电流读数，即可求出感光部分的密度。后者结构较前者稍复杂，但并不要求有十分稳定的光源，而且测量精度较高。

【闪视比较仪】用来在天文底片上搜索光度有变化（如新星、变星）或位置有变化（如小行星、大自行恒星）的天体的仪器。使用时将在不同时间，相同条件下拍摄的同一天区的两张底片分别安放在仪器的两个底片架上，通过仪器上的光学系统使二者的星像在目镜视场内重合。然后使两底片上的天体像在视场内交替出现，对于光度有变化的天体来说，由于它在两底片上的大小不同，因而在闪视时会出现脉动；而对于运动的天体，则显现出位置的闪动，据此可加以辨认。

【天体分光光度测量】对天体某一波长单色辐射的测量。按采用辐射接受器的不同，可分为照相分光光度测量和光电分光光度测量。测量结果用有量纲单位表示如焦/厘米²·秒的，叫绝对分光光度测量；用无量纲相对单位表示的，叫相对分光光度测量。实际测量中不可能做纯单色辐射测量，而是某一狭窄波长范围内的平均辐射，叫谱线测量，可测得光谱线能量分布，而连续光谱测量可得连续光谱能量分布，可求出色温度、有效温度来。

【色温度】又称分光光度温度。在某一波段中，如果天体连续谱的能量随波长的分布同温度为 T_c 的绝对黑体的辐射谱相近， T_c 就是该天体在这一波段的色温度。两者越是相近，色温度就越接近该天体发出辐射的那一层的实际温度。色温度与天体的颜色有关，故得名。同一天体的连续谱在不同波段往往对应于不同的色温度。

【谱线轮廓】用来描述光谱谱线内能量分布的一种曲线，可定义为谱线剩余强度 γ_0 随波长变化的曲线，实际测量时，某一波长的辐射强度与同一波长处连续光谱辐射强度之比就是剩余强度。

【等值宽度】光谱线内吸收的全部能量的一种量度。吸收线的谱线轮廓与连续光谱背影所包围的面积，即表示谱线内吸收的全部能量，称总吸收。如引入一个与它面积相等的高度为 1 的矩形表示总吸收，这个矩形的宽度就是等值宽度，用 W_0 表示，它在数值上等于总吸收。

【天体光谱分析】应用光谱学的原理和实验方法确定天体的物质结构和化学成分的分析法。拍摄完天体的光谱后，在同一张底片上再拍摄谱线波长已知的物质的光谱（通常为铁弧光谱）作为比较光谱，利用仪器（如比长仪）便可确定天体光谱中各条谱线的波长，改正天体视向速度对波长的影响后，将天体谱线的波长和已知元素的谱线波长相比，或对照理论计算得出的谱线波长表，便可证认出产生天体谱线的元素。每种元素的谱线强度，与它们在该天体上的含量有关，所以通过比较谱线的强度，还可以确定天体中各元素的含量。

【恒星摄谱仪】利用色散元件将来自恒星的光线展成光谱并将其拍摄在天文底片上的光学仪器。恒星摄谱仪是进行天体物理研究的重要工具，利用它可以研究天体的化学组成、物理性质和运动规律。

【衍射光栅】由密集的等间距平行刻线构成的光学元件。由于多缝衍射和干涉作用，它能将入射光按不同波长进行色散，经成像镜聚焦后便可形成光谱。衍射光栅分反射和透射两大类，在玻璃表面镀铝，并在铝膜上刻下密集的平行线的叫反射光栅；由一系列透射细缝组成的叫透射光栅。天文上常用的是反射光栅。光栅的性能由单位长度内的刻线数和总的刻线面积来描述。衍射光栅的特点是性能稳定、分辨率高、角色散高而且随波长的变化小，但对刻线的精度要求很高，难于制造。

【物端光栅】置于小口径望远镜入射光瞳处的一种透射光栅。分两种：一种是间距较大的粗光栅，多用于天体照相中的双星定位工作；另一种刻线较密，作用与物端棱镜类似，用来拍摄天体的低色散光谱。

【物端棱镜】附在天体照相机物镜前端的棱镜，一般为小顶角的三棱镜。最初由夫琅和费设计。星光经由棱镜色散，再由望远镜聚焦成光谱。由于星光可看成是平行光，所以不需任何准直系统。优点是光能损失小，可同时记录视场中所有亮星的光谱，适用于恒星的光谱分类研究。缺点是无法拍摄比较光谱，而且色散度较低。

【无缝摄谱仪】恒星摄谱仪的一种。和有缝摄谱仪相比，其特点是

由望远镜汇聚的星光不通过狭缝,而是直接经准直镜变为平行光,再被棱镜式光栅色散。它的视场接近望远镜的工作视场,能同时拍下许多恒星的光谱。适用于大量暗弱暗星、行星状星云和彗星的光谱研究工作。

【星云摄谱仪】用于星云进行光谱研究的一种强光天体摄谱仪,也可用来研究彗星、黄道光等。它由施密特照相机、棱镜和矩形光阑组成,实际上相当于一架不用望远镜和准直系统的有缝摄谱仪。因为星云等有视面天体在焦平面上的照度只与物镜相对口径的平方成正比,故应采用大相对口径的施密特照相机。在棱镜前几十米处设一矩形光阑,使棱镜在光阑处的张角小于星云的张角,这样可以挡住星云周围的夜天光背景,提高光谱的反衬。

【光电分光光度计】用光电倍增管作为辐射探测器,测量和记录天体辐射和分光强度的仪器。在摄谱仪的照相镜焦面处,有可调宽度的出射狭缝,缝后为光电倍增管。狭缝、光电倍增管前置放大器、屏蔽壳和致冷装置构成光电头,测量时光电头对光谱带依次进行扫描。信号传给自记电子电位差计,由转动的纸卷记录下随波长而变的天体辐射强度。单通道分光光度计的测量精度高,范围大,适用于描记谱线轮廓及其精细结构,但对于宽波段的光谱观测,它的极限星等较低,对于暗弱天体的宽波段分光测量可用多通道分光光度计。

射电天文方法

【射电天文方法】使用望远镜系统在射电波段通过即地球大气基本透明的射电窗（波长为 1mm — 35m ）观测、研究宇宙的方法。1888 年赫兹首次在实验室获得了无线电波，1930 年美国贝尔电话实验室的央斯基首次观测到地球外射电波，标志着射电天文学的诞生。1944 年，范德胡斯特提出，用射电望远镜可以探测到中性氢原子基态能级的超精细结构之间的跃迁（即 21 厘米谱线），1951 年得到证实，这是射电天文学的一个里程碑。第二次世界大战后，利用大战中发展起来的雷达技术观测宇宙，开始了全天射电现象的普查。当然，这段时期射电天文还属起步，射电望远镜空间分辨率低，射电天文方法主要是巡天，搜寻射电源。60 年代，大型射电望远镜日益增多，获得了包括类星体、脉冲星、星际有机分子线、2.7K 微波背景辐射在内的许多具有重大科学意义的发现。从 70 年代开始，射电望远镜性能大大改善，分辨率甚至超过光学望远镜，具有极强的探测微弱天体辐射的能力。射电天文方法已经由“普查”、“巡天”转向对特定天体进行精密的光谱、光度以及编振测量，从而对天体的物理性质、化学组成进行深入的探讨。射电天文观测研究现在已在世界各地开展起来了，为了提高分辨率，提高探测能力，射电天文工作者引进干涉技术，研制出了射电干涉仪，综合孔径射电望远镜，甚长基线干涉仪，甚大阵……；并已向短波延拓，研制出了毫米波、五毫米波射电镜，总之，射电

天文方法正不断地向大型天线系统、高灵敏度的接收系统、高效率的记录和处理系统发展。

【射电望远镜】接收、观测来自天体的射电波的设备，它可用来测定天体射电的强度，射电源的位置、大小，射电辐射的偏振和频谱等等。其基本原理与光学望远镜相似，唯接收的不是光波而是射电波。1932年央斯基在世界上第一个探测到地外射电波，从而标志着射电天文学的诞生。从此，各类射电望远镜突飞猛进发展。从二元干涉仪到综合孔径；从甚长基线干涉仪到甚大阵，到空间甚大阵；从米波、厘米波到毫米波望远镜的研制并投入使用；……这些都说明射电望远镜正在向高分辨率、高灵敏度发展。射电望远镜种类繁多，但基本结构都由三部分组成：天线系统，接收系统，记录系统。天线一般有三种：旋转抛物面天线（即跟踪抛物面天线），固定抛物面天线，组合天线系统。天线相当于光学望远镜的物镜，用来有选择地接收天体辐射。天体辐射经天线传输到接收系统，由接收系统放大，接收系统通常是一具超外差式接收机，现在也主要有三类：补偿型，调制型，相关型。最后，经过接收系统放大的天体辐射信号由记录系统收集、处理。按工作原理，射电望远镜可分为总功率接收类、相关干涉类二大种。总功率射电望远镜只有单面的天线，由单面的天线孔径各部分接收到的天体辐射输出到接收机输入端叠加。相关干涉射电望远镜是两个（或多个）分立的天线通过相关接收机，把各个相关干涉的信息独立加工，综合分析。

【射电干涉仪】天文学的发展对射电源的精细结构的观测及精密定位日益提出了要求，因此提高射电观测的空间分辨率势在必行。分

分辨率 ($\zeta = \frac{D}{\lambda}$) 与口径成正比, 但单纯靠提高连续孔径天线的口径来提高分辨率, 无论技术上还是财政上都有很大困难。为此, 20 世纪 50 年代射电天文工作者发展了以光学干涉原理为基础的各种组合天线系统——射电干涉仪, 在射电源定位和角径测量上起了巨大作用。双天线干涉仪是最简单、最基本的一类干涉仪, 由取向一致的两面天线组成, 这二面天线安置在某一方向的基线上, 接收同一天体的辐射, 再用相同的传输线等距地送到接收机输入端, 两个信号相互叠加。若二天线相距 D , 天体信号与基线的垂线交角为 Q , 那么这个干涉仪的分辨率 $\zeta = \frac{\lambda}{D}$, D 可以很大, 因而干涉仪的分辨率比连续口径的高多了。相关干涉仪也是由二面分立的天线组成, 只是接收机能对天线送来的信号相关即相乘。相关接收机的输出正比于两个组元天线输出的电压乘积的均值, 它可以抑制接收机噪声以及外来的有害干扰、综合孔径, 米尔斯十字等射电望远镜都是以相关干涉仪为基础的。双天线干涉仪只适用于点源或面源的定位, 随后发展起来的栅式干涉仪可以观测大角径的面源, 特别是, 由多面天线排成十字形, Y 形, T 形, 环形, 可以获得两个方向上很高的分辨率。

由于天体信号在电缆传输线中相位不稳定, 信号从两天线传输到接收机的光程并不全等, 从而影响了相关干涉仪的相关。20 世纪 60 年代发展起来的甚长基线干涉仪 (VLBI) 解决了这个问题, 它不需要电缆传输, 每个天线系统都具有独立本振, 观测信号由磁带记录, 事后再相关处理。VLBI 的分辨率特别高, 可达万分之几秒。

【射电日像仪】射电日像仪是根据光学干涉原理, 采取多波束方法,

快速获得太阳射电图像的一种射电望远镜，主要用来研究太阳局部射电源，特别是太阳射电爆发。法国巴黎天文台南锡射电观测站使用栅式干涉仪，采用多波束方法，移动方向瓣的位置，对太阳表面进行电扫描，快速成像，这是射电日像仪的最早形式。澳大利亚库尔古拉射电天文台 1967 年研制成功的射电日像仪，其基本结构是 96 面抛物面天线组成的环形天线阵。它可以每秒钟扫描太阳一次，获得一张高分辨率的太阳射电图像。以环形天线阵为基础的射电日像仪幅度小，分布对称；通过对每个天线响应加以适当的权重，可以消除方向图主瓣周围的旁瓣的影响，这种射电日像仪主要用于观测太阳缓变射电，射电爆发等。射电日象仪可以快速获得太阳射电像，从而精确地确定日面上射电源的强度、频谱和偏振结构，成为研究太阳物理的重要手段。

【射电辐射计】射电辐射计是天文学上用来测量天体在射电波段辐射强度的接收设备，一般包括天线、接收机、记录显示系统、校正噪声源等部分。天体射电信号十分微弱，而接收机内部由于电子运动等因素具有有机内噪声、宇宙环境、外部工业、雷电干扰等等，使得背景噪声十分强。射电辐射计必须具有从强大的附加噪声背景中发现和测量变化十分微小的天体射电辐射的能力——即灵敏度。由于噪声是随机产生的，而且接收机增益不稳定，大大地限制了射电辐射计灵敏度的提高，因此增强射电辐射计的稳定性成了迫切要求。射电辐射计一般都采取迪克调制辐射计：在接收机的输入端加一调制开关，以每秒几十次到几百次的调制频率把待测信号和固定的参考信号轮流接入，经过混频、放大，可以有效地消除增益不稳定对射电辐射计灵敏度的影响。另外，采用低噪声前置放大器，设计制作性能优良、旁瓣后瓣很小的天线；使

前置放大器尽量靠近天线馈源；……这些手段都有利于射电辐射计灵敏度的提高。除了灵敏度外，射电辐射计的另一项重要性能的指标是线性范围，只有达到足够的线性范围，才能用已知的噪声标准准确地测出待测源的强度。另外，抵抗外界各种干扰的能力的大小也是射电辐射计性能优劣的一项重要指标。

【亮温度】射电天文中，描述射电辐射的基本量之一便是射电亮度 B (lm)。它定义为从天体上单位面积、在单位频率间隔、单位时间内向单位立体角发出的能量，即单位立体角中的辐射流量密度，单位是瓦/米²·赫兹·[弧度]²。用绝对温度来表征功率的大小是射电天文中的习惯作法。这里，引进“亮温度”来表示射电亮度的大小。如果一个绝对黑体的温度为 T ，在频率 γ 处的亮度 B 正好等于射电源在同一频率 γ 处的射电亮度 B ，那么这个黑体的温度就是射电源的亮温度 T_b 。亮温度是表示天体射电亮度的一种参量。但是，亮温度只是射电源的等效黑体温度，由源的亮温度并不能直接得出源的实际温度。实际上，射电辐射有非热辐射成分时，源的实际温度就会低于亮温度。

【射电流量密度】射电天文学中，为了描述射电辐射，引进二个基本量；射电辐射亮度 B 及射电辐射流量密度 S 。射电流量密度 S 描述在某一频率 (f) 上辐射总强度，它定义为从接收地单位面积 (A)，在单位频率间隔收到的能量 (W)，(注意此时接收到的辐射的偏振应与天线偏振相匹配)，它与单位频率间隔里天线输出端的有用功率 W 成正比，即

$$S = \Delta W / \Delta A \cdot \Delta f.$$

这里，对接收面积并没有加以任何规定。但是，当用天线来

接收天体辐射时,天线的实际接收面积应为有效面积,而且要考虑天线的线偏振性,因此 $S_0 = 2W/A \cdot \Delta f$ 。这里 S_0 是由线偏振天线的单位有效面积 A 。所接收到的在单位频率间隔 (Δf) 内的辐射功率,称为观测流量密度,它小于流量密度 S 。对于点源,观测流量密度 $S_0 = SSB \cdot Pd\Omega = SSBd\Omega = S$,与流量密度相近;对于面源, $S_0 = BSSpd\Omega = B \cdot \Omega_m$,其中 Ω_m 是主瓣宽度, p 是功率方向图。我们用射电望远镜直接观测到的是 S_0 ,因此通过上面二式可以求出天体的实际流量密度了。射电流量密度的常用单位有二种,一是央 (Jansky),相当于 10^{-26} 瓦/米²·赫兹,用于度量较弱的宇宙射电强度;另一为太阳流量密度, s. f. u, 相当于 10^4 央,即 10^{-22} 瓦/米²·赫兹,用于度量较强的太阳射电密度。

【射电偏振计】部分天体射电辐射具有偏振性,这些偏振的射电辐射由偏振成分和非偏振成分构成。天体辐射偏振成分的电矢量在波前平面内描绘出一个椭圆,用这个椭圆偏振波就可代表天体辐射的偏振信号。物理上常用强度 I_e , 偏振方向 x , 轴比 ρ , 辅助角 β 来表征偏振波。天文学上,一般采用射电偏振计来测定天体辐射的偏振。射电偏振计直接测量的通常是斯托克斯参量: I, Q, U, V , 它们与 I_e, x, ρ, β 的关系可写成: (1) $I = I_e + I_u$; (2) $Q = I_e \cos 2\beta \cos 2x$; (3) $U = I_e \cos 2\beta \sin 2x, V = I_e \sin 2\beta$ 。其中 I_u 是非偏振成份的强度。斯托克斯参量可以完全确定一个辐射的偏振状态。最常用的射电偏振计是以相关原理为基础研制而成的,主要应用于对米波和分米波射电偏振的测量。天体辐射偏振度常常很小,易产生寄生偏振。在微波电路中利用相位延迟片和调制器组成的射电偏振计系统——微波偏振计,可以测定偏振度较低的偏振信号,甚至可以有效地消除或减低寄生偏振。干涉偏振计是

另一种常用的射电偏振计。对于干涉偏振计，由干涉仪的馈源的偏振特征， I, Q, U, V 可以通过相应干涉仪的响应求出。偏振测量和相位密切相关；当前射电偏振计的发展方向便是高稳定度、高精度的相位调整及高对称性的天线系统。

【射电天文接收机】把射电望远镜天线接收的天体射电信号经过适当的处理，转变成适于记录形式的设备。它的主要功能是，通过调制、放大、变频、检波、滤波、定标等将天线传来的微弱信号放大，它的基本结构通常是一具超外差式接收机。在这接收机中，除了平方律检波器，各级放大器都是线性的，这样记录下的电压与接收机的功率成正比。若天线传输给接收机的天体信号功率为 T_a ，记录的电压为 r ，那么 $r = p + q \cdot T_a$ ， p, q 是系数，由接收机性能决定。接收机性能的好坏常用灵敏度、稳定度、可靠性等指标来衡量，外界干扰，接收机内部各元件产生机内噪声，以及噪声起伏，这些因素都限制了接收机灵敏度。考虑到这些因素，接收机灵敏度可表示为 $(\Delta T_a)_{\min} = \frac{T_{\text{sys}}}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$ ，其中 T_{sys} 为接收机

系统噪声， Δf 是带宽， τ 是积分时间。为了减小机内噪声起伏或消除机内噪声，人们研制出了各种射电天文接收机，但就基本结构来讲主要有补偿型、调制型、相关型三类。

【大气射电窗口】由于地球大气中的各种粒子对辐射的吸收和反射，只有某些波段范围内的天体辐射才能透过大气层，这些能穿透大气层的波段被形象地称为“大气窗口”。按波长所属范围不同分为光学窗口、红外窗口和射电窗口。射电窗口波长范围为 1mm 到 30m。由于对流层的水汽，氧气，平流层的臭氧，都吸收电磁

波；降雨时雨滴也对电磁波有吸收和反射作用；对于波长低于 1mm 的射电波，基本上被吸收、散射掉，因此射电窗高频截止。另外，电离层对电磁波有反射和衰减作用。当电磁波的频率低于电离层的临界频率时，就要受到电离层的反射。因此，在波长为 30m 处，射电窗出现低频截止。这样，电磁波中射电窗的波段范围便是 1mm 到 30m。电离层的临界频率决定于电离电子密度，而电子密度受时间、地理位置、太阳活动的影响。因此，对不同的地理纬度、时间，电离层对低频端的吸收程度不相同。另外，大气密度和折射率随高度变化，射电窗受到折射的影响，射电窗高频端的折射大约为光学折射的 2 倍。在射电窗内，背景辐射相对于源的强度比光学窗的要大得多。由于大部分射电源的连续谱是由同步加速机制引起的，因而可以获得关于宇宙磁场和相对论性质的一些材料。

【雷达天文观测】雷达天文观测最早开始于 20 世纪 30 年代，是射电天文学的一个分支。它利用雷达向天体（或人造天体）发出射电波，并接收反射的回波，通过对回波的处理和研究，以探讨天体的物理和几何性质。天文雷达与一般雷达工作原理及结构基本一致，主要由发射机、接收机和记录仪组成。发射机产生高频信号，经过转换开关送到天线上向天体发射；此时转换开关立即使天线和发射机断开，而与接收机相连，经过一段时间，由天体反射回来的信号由天线进入接收机，再由记录仪记录下来。并显示延迟时间。天文雷达与一般雷达的不同之处在于：（1）探测目标远几千、几万倍，因而接收、发射信号时间延迟大；（2）天线口径大，发射机功率强；（3）由于探测目标大，回波会产生多普勒致宽。天文雷达可准确地测定回波延迟，能精确地测定天体的距

离和位置,这对于计算行星际火箭的精确轨道和有关的天文常数;计算其它天体对所测天体的摄动作用,检验广义相对论所预期的微小影响;通过测量雷达回波的多普勒致宽,可以计算出行星或小行星等天体的自转周期及轨道倾角;雷达天文也能探测流星的空间分布和物理状态,行星、卫星的表面结构等。

【流星雷达观测】流星体是宇宙空间中的微小天体,当它与地球大气碰撞时形成发出耀眼光芒的流星。当雷达发射的无线电波遇到流星时,就会被流星四处散射,雷达接收到流星反射回来的回波时,就可由显示器或记录仪记录下来,经过分析和研究,可得到流星的数目、距离、位置、速度、参量等物理参量。对一般的流星,可以用衍射法求出速度。由于雷达在接收流星头部的回波的同时也接收到雷达天线主瓣垂直对准的流星那部分的回波,它们产生干涉,使得回波强度周期振荡,设周期为 T , 雷达天线主瓣与流星的垂直距离为 R , 射电波长为 λ , 那么流星速度 $v=0.6 \sqrt{R\lambda}/T$ 。雷达方法观测流星的优点在于不受昼夜、晴雨、云雾的影响。从 1945 年开始利用雷达观测流星,这种方法就成了观测流星的主要手段。由流星雷达观测方法得到的流星速度,可以确定流星运行的轨道形状,推断它们的起源,从而研究天体的演化。利用雷达,观测到用其他方法不能发现的许多白昼流星群;并肯定了流星体都是在椭圆轨道上围绕太阳运动的;而且可以推断出地球大气的大气压力、风速、风向、离子重新结合率等高空大气物理资料。

【射电源】广义上讲,能够发出射电辐射的天体都是射电源,宇宙中的每个天体都是射电源,我们一般指的是在地球上能接收到其

射电辐射的天体。按照空间位置不同，可分为三类：太阳系射电源、银河系射电源、河外星系射电源。（1）太阳系射电源，太阳是离地球最近的恒星，对地球上的观测者来说，它是整个宇宙最显著的射电源，具有很高的亮温度，发出热辐射。太阳常有耀斑爆发，相应地射电辐射在短时间（几秒钟）显示出频率和强度的显著变化，另外，太阳大气中的等离子体在活动区中同步加速，也发出射电辐射。自从1955年首次发现行星射电后，已观测到绝大部分行星有射电辐射，有些甚至出现射电爆发。另外，在彗星中也已观测到若干分子的射电辐射。（2）银河系射电源，由氢云组成的射电源广泛分布于银河系，它们被内部的热量加热、电离，产生热辐射；自由电子和质子复合形成氢原子谱线；最有名的中性氢21cm谱线在银河系中随处可见。恒星演化晚期，如果质量超过一定限度，将要爆发成为超新星，留下超新星遗迹和中子星。超新星遗迹可能成为一个银河射电源，也是一个同步加速辐射源。而中子星具有极高的磁场，高速自转，并与自转同步地发出射电脉冲。（3）河外射电源，河外星系可分为两类：正常星系和活动星系。正常星系与银河系类似，也发出射电辐射，只是强度十分微弱，而活动星系（如塞佛特星系、类星体、BL Lac天体）的射电亮度，可以比正常星系亮几千倍，从这些射电星系发出的同步加速辐射经常远远地延伸到星系的光学轮廓的外边。另外，遍布宇宙的2.7K背景辐射也是一种射电源，这是早期宇宙演化遗留下来的残迹。

【射电星】有连续谱射电的恒星或恒星状天体。除太阳外，直到20世纪60年代才首次探测到射电星（耀星）。随着射电望远镜灵敏度的提高，到80年代初，已探测到耀星、红超巨星、射电新星、

早型发射线星、射电双星、射电 X 线星、脉冲星七类射电星。最重要、数目最多的射电星是射电双星。射电双星的射电活动形态甚多，变化复杂，其射电事件有爆发、双峰、非热衰退、上升中的突跳和平坦频谱等种种情况，大部分射电双星（从目前观测情况来看）都是猎犬座 RS 型双星。射电双星的射电辐射很强。红矮耀星是最早探测到的射电星，鲸鱼座 UV 型星是典型星。这类射电星常以耀暴形式释放能量。它们的射电耀爆很剧烈，比太阳微波爆发高几个量级。红超巨星热冕中可产生自由恒稳射电，只是其射电时间短暂，能量较低，而且不常发生。新星爆发时，其高速膨胀着的电离气体壳层中的电子发出可变射电，属于热韧致辐射。因此，射电新星是热射电源。另外，早型发射线星也是热射电源，它的拱星尘埃云发出稳定射电辐射，频谱指数大于 0。有一类密近双星，不仅发射很强的 X 射线，而且辐射非热连续谱射电，人们称之为射电 X 射线星。到 20 世纪 80 年代初，各类射电星已观测到几千颗，这对恒星物理学和天体演化学的研究是很有意义的。

【行星射电】太阳系九大行星，辐射到地面的能量微乎其微，由于受射电望远镜灵敏度的限制，长期未能发现行星射电，随着科学技术的发展，射电望远镜的灵敏度和分辨率也日益增高，使行星射电的发现成为可能。1955 年科学工作者用射电望远镜在 13.6 米波长上接收蟹状星云射电时，发现了一种射电爆发，经证认，这是木星射电——最早发现的行星射电。行星射电中最强烈的要数木星 10 米射电爆发；另外，在厘米和分米波段，木星也有射电辐射，只是要弱得多。以往认为木星射电辐射均产生于木星固体本身，但 1962 年的观测发现，木星分米射电并非来自木星固体本身，

而是来自外围由带电粒子组成的辐射带。金星的外表面覆盖着厚厚的大气层（主要是 CO_2 ），大气层吸收、散射可见光，在可见光波段难以观测它的真貌。射电波能贯穿深层大气，因而人们易于观测到金星的射电辐射，并由此定出金星温度。另外，根据观测到的金星射电辐射随位相的变化，确认了金星自转的特异性——自东向西转。第三个发现有射电的行星是火星。观测表明，火星表面分布着许多亮区和暗区，但亮区和暗区的地形差别问题长期未能解决。20 世纪 60 年代发现火星射电后，采用射电方法，证明了暗区是高地而亮区为低地。随后，陆续发现了土星射电（1958），水星射电（1961），天王星和海王星射电（1970）等。这对于研究行星的结构、物理性质、自转、温度、化学组成，其意义都是十分重大的。

【木星射电爆发】无论是质量还是体积，木星在太阳系的九大行星中都是最大。木星具有磁场，木星大气中存在电离层，外围有一层带电粒子构成的辐射带。1955 年天文学家用工作波长为 13.6 米的射电望远镜接收蟹状星云的射电，却发现在它附近区域天天接收到一种射电辐射，强弱随时间变化，而且该射电源相对蟹状星云移动。经证认，它是木星射电爆发，这是行星射电的首次发现。这种木星射电爆发，来自木星表面的一些活动区，波段范围一般为 10—20 米。射电爆发十分强烈，在太阳系中仅次于太阳；射电爆发变化迅速，由接收到的爆发可看出其形态十分复杂，由一系列短暂的爆发脉冲组成；另外，爆发时间很短，一般是几分钟，长的也只几小时，而单独的小脉冲一般不足 1 秒钟。木星射电爆发具有周期性，它的周期与木星表面的自转周期大体一致。观测表明，木星射电爆发的波段很窄，波长随时间变化，其强度也

随之改变。

【银河系射电】 银河系内天体发出的射电辐射都称为银河系射电，但我们一般不把太阳系射电包括在内。银河系射电主要有 6 种。

(1) 中性氢 21cm 谱线射电：中性氢原子基态超精细结构能级间的跃迁产生 21cm 谱线。1944 年荷兰的范德胡斯特预言银河系中存在中性氢 21cm 谱线，1951 年得到观测证实，中性氢 21cm 谱线成为探测银河系的有力工具，通过它，测到了银河系氢云的密度、温度、视向速度分布，得出了银河系的旋臂结构以及银河系磁场。

(2) H II 区射电：银河系中由一次电离氢组成的 H II 区，电子运动速度较低，在重离子、质子的库仑场中运动时，产生热性质的韧致辐射，在银河中心，这种 H II 区射电辐射很强，在银道面上可看到很多强射电源。

(3) 同步加速射电辐射：银河系中广泛存在相对论性电子，它们在星际磁场中同步加速机制的作用下，发出非热辐射。一般认为，银河系核心可能是一个以 H II 区为中心的热射电源，而外面包围着一个非热射电源。银河系中银盘的非热辐射较强，而银晕较弱。

(4) 超新星遗迹：恒星演化晚期可能发生超新星爆炸，留下超新星遗迹，观测表明，超新星遗迹都是非热分立射电源，发出较强的射电辐射，如仙后座 A 射电源，在米波的射电流量与太阳宁静射电差不多。

(5) 射电星射电：银河系中，除太阳、行星外，脉冲星、射电新星、耀星、红超巨星及其蓝矮伴星、X 射线星、早型发射线星和射电双星等都有较强的射电辐射，被称为射电星。

(6) 星际分子谱线射电：在暗星云、H II 区、超新星遗迹、发射星云和红外星中观测到了星际分子谱线射电，从 1963 年观测到 OH（羟基）18 厘米谱线射电后，到 1990 年已观测到 490 余条分子射电谱线，它成了人们探索宇宙奥秘的探针。

【脉冲星】脉冲星就是恒星演化晚期形成的中子星，主要由简并中子组成。1932 年当中子被发现时，著名物理学家朗道提出了宇宙空间中存在中子星的预言。1962 年有人提出蟹状星云的射电源是一颗中子星；然而由于中子星的辐射是短周期的脉冲，需要专门接收射电脉冲的射电望远镜；另外，射电望远镜的平均流量密度非常微弱，需要很高的灵敏度的望远镜。这二个问题，直到 20 世纪 50 年代才得以解决。1967 年英国剑桥大学射电天文台的休伊什教授主持建立了一架高效能的适合观测发现脉冲星的射电望远镜，终于在 1967 年发现了脉冲星；休伊什也因此而获得了诺贝尔奖。到 1986 年，已发现了 437 个脉冲星，其中只有二颗（蟹状星云脉冲星和船帆座脉冲星）可用光学方法观测，其余只能用射电望远镜才能观测到，即绝大部分都只有射电脉冲辐射。现在一般采用灯塔模型，认为辐射是以灯塔光束的形式向外发散的。脉冲星主要由中子构成，质量一般是一个太阳质量，半径的量级为 10 公里，内部密度极大，达 10^{14} 克/厘米³ 量级。在如此高密态，中子简并成费米气体，同时外部铁原子核和简并的电子形成一个具有很高刚性的固体外壳。中子星具有极强的磁场，大多数脉冲星表面极区磁场为 10^8 特斯拉量级；中子星的压力也极大，中心压力达 10^{28} 个大气压；表面温度极高，可达 1 千万度。脉冲星处在这种超高温、超高压、超高密度、超强磁场和超强辐射等极端物理条件下，这是在地球上所无法实现的。正因为如此，脉冲星一直便是天文学研究的热点，对引力理论和星际空间物理的贡献很大。首先，它第一个提出引力波理论的定量数据。那些其中之一为脉冲星的致密双星系统，具有强引力场和高速运动，因此成了引力波理论的检验手段之一。另外，脉冲星也是探测星际空间磁场、定

量估计星际物质物理结构、化学组分以及总量的强有力武器。

【脉冲星自转突快】脉冲星是具有极高磁场（高达 10^8 — 10^{10} 特斯拉）、高速自转的中子星。它周期性地发射脉冲信号，脉冲与自转同步。一般来说，脉冲星是依靠自身的自转能转化为低频的磁偶极辐射能，再转化为高能粒子能、电磁辐射能，随着脉冲星不断辐射能量，自转能逐步减少，因而转速降低，自转周期变长，但是，令人奇怪的是，有少数脉冲星周期在短时期突然变短，转速突然变快，这种奇异现象称为“脉冲星自转突快”。如船帆座脉冲星在 1969 年 2 月 24 日—3 月 3 日，1971 年 8 月 21 日—9 月 4 日，1975 年 10 月三次周期突然变短；蟹状星云脉冲星也有同样现象。脉冲星自转突快与通常认为的脉冲星自转应当变慢大不相符，许多天文学家提出种种模型来解释这种奇异现象。（1）星震说，脉冲星在辐射能量而自转突慢时，脉冲星壳的弹性应力积聚在原子核晶格组成的固态星壳内，在某种机制的触发下，应力突然释放，星壳局部破坏，产生星震，使转动惯量突然减小，从而中子星转速突然增加。（2）中子星内部的超流中子，角动量梯度为负；由于流体不稳定，超流中子流动到外部，导致外部角动量增大，产生自转突快。（3）脉冲星等离子体向外抛射，脉冲星质量变小，由于角动量守恒，因而转速变快。另外，外界高能粒子碰撞星体也可能导致自转突快。关于脉冲星自转突快的理论，到目前为止还只是假说，尚不能最后定论。

【射电天文谱线】射电天文谱线是天体中原子和分子在不同能级间跃迁时产生的，频率在射电波段。它们不为星际尘埃所吸收，包含丰富的天体物理学信息。由于激发射电谱线要求的能量很低，

因此在低温、低压、稀薄的星际、星系际空间如分子云、暗云、黑云、冷云等不发光的区域，光学谱线根本不可能产生，但都可激发原子或分子的射电谱线；而且由于射电谱线波长长，在穿越黑云、暗云、晚型星尘埃时，穿透率高，为我们研究恒星起源及演化晚期提供了重要的信息。星系际物质、星系物质主要以分子形式存在，通过对原子、分子的射电谱线的研究，可以探索星系物质的分布、银心和银河结构、演化等等。到 20 世纪 80 年代，天文学家找到了几千条射电谱线，它们分属于原子射电谱线、射电复合线、分子谱线。原子在它的精细结构能级之间跃迁以及在超精细结构能级之间跃迁所产生的谱线称为原子射电谱线，另外在原子能级的塞曼分裂中，也产生原子谱线。星际空间最丰富的谱线——中性氢 21cm 谱线就是原子谱线。当一个电子被一个离子重新俘获到基态以外的能级上，接着往下跃迁时产生复合线，利用复合线可以研究中性氢区碳线的起源。分子由于电子态、转动能级、振动能级之间跃迁，分子内部各种复杂运动的各种相互作用，都会引起分子谱线。利用分子谱线，为揭开恒星形成、恒星晚期演化、恒星包层的物理状态等提供了丰富的信息。

【太阳射电】太阳是太阳系中的中心天体，是距离我们最近的恒星。它不仅辐射可见光和热辐射，而且也是一个强大的射电源。1942 年人类利用无线电方法首次观测到了太阳的射电辐射，从此对太阳射电的研究蓬勃开展起来，发现在地面上波长从 2 毫米到 40 米的射电波段都存在太阳射电。太阳射电的观测研究，开辟了太阳研究的新途径，推动了对太阳大气各层结构、物理过程以及日地关系的更全面和更深入的研究。太阳射电和太阳可见光辐射完全不同，它包含多种成分，而且它的强度也呈现巨大的变化。根据

观测研究结果，太阳射电可以分为三种分量：由宁静太阳发出的基本辐射分量，它的强度在几年内大致不变；缓变辐射分量，这是叠加在基本辐射分量上的缓变太阳射电，强度变化周期约为 27 天；射电爆发，它是太阳活动剧烈，特别是出现大耀斑时，射电强度的突然增大和急剧变化。太阳射电可以提供出关于太阳活动区物理的许多宝贵资料（如太阳耀斑过程、活动区中的磁场特性及高能带电粒子的情况），也能供给日地空间物理学和地球物理学一些有价值的情报（如行星际磁场的特性、宇宙线暴和地磁暴的情况等）。因此，人们为了获得太阳射电资料，不仅使用大功率射电望远镜经常观测，而且充分利用自然条件（如日食）以获得高分辨资料，以及研制空间飞行器消除地球大气的影响以获得更好的、更宽波段的太阳射电资料。

【太阳宁静射电】宁静射电是太阳射电中最简单最基本的成分，相当稳定，基本上几乎不随时间变化。当然，并没有绝对宁静的太阳，在太阳上总是出现或大或小的扰动，日常接收到的太阳射电射电辐射总是包含宁静射电成分和非宁静射电成分。但我们可用统计分析方法，通过长期观测，将这二种射电成分区分开来。在米波段，在长期观测的基础上，画出太阳射电强度随时间的变化曲线，再把一些最低点连接起来，就得到了宁静射电。在分米波段和厘米波段，常以每天的射电强度同太阳黑子投影面积的相关图，根据它们的相关直线，外推到黑子面积等于零时的射电强度就是宁静太阳射电强度。观测表明，宁静太阳射电的视面温度随着频率的增加而迅速降低，这也表明太阳大气底层越往上温度越高。在光学波段观测，太阳圆面出现“临边昏暗”现象，但在厘米波段及分米波段正好相反，观测到的太阳具有中心暗而边缘亮

及“临边增亮”的现象。在毫米波段观测宁静射电，除了临边增亮外，在日面当中还具有一个略微增亮的特征。研究表明，太阳宁静射电的毫米波的亮度之所以如此分布，是因为色球层是由冷而密的针状物和热而稀的针状物间物质组成的“双成分”作用的结果。

【太阳缓变射电】在太阳未受扰动期间，除了存在宁静射电成分而外，还存在一种逐日缓慢变化的而且与黑子，谱斑密切相关的“缓变射电成分”。观测表明，厘米波的缓变成分同黑子面积密切相关，缓变射电的流量也随位置而变；分米波的缓变分量同谱斑面积有关。缓变射电强度具有周期性，约为 27 天，与黑子回转周（即太阳自转周）一致。缓变射电与宁静射电完全不同，它不是来自整个色球和日冕，而是产生于黑子和谱斑上空高电子密度和强磁场的局部区域，或日冕凝聚区——称为局部源。在局部源中，电子在离子的库仑引力场中沿双曲线轨道运动而产生出韧致辐射；同时电子又在磁场内沿螺旋轨道运动产生磁韧致辐射；缓变射电就是由这二种辐射组成的。随着高分辨观测技术的进展，局部源的结构越来越清楚，这对缓变射电的研究打下了基础，从而为探索太阳活动区上空的物理情况开辟了道路。

【太阳射电爆发】太阳上发生的一种急剧突变的无线电辐射过程，也是一种复杂的太阳活动现象，它常同太阳耀斑、X 射线爆发共同产生。射电爆发起源于从低层色球到高层日冕的广阔的大气中。大爆发的强度可在短时间内突增到宁静太阳射电的几百万倍，爆发时间一般在零点几秒到几小时，长的可达几十小时。太阳射电爆发是通过韧致辐射、磁韧致辐射、切仑库夫辐射的机制产生

出来的。近年来，在波长为 1 毫米到 10 几千米的波段上都已观测到太阳射电爆发。但是不同波长上的射电爆发有不同的特征。根据它们的强度和频率随时间变化的特性将它们分为“微波射电爆发”、“米波射电爆发”和“分米波射电爆发”。微波指毫米波和厘米波。微波爆发包括脉冲爆发、缓慢爆发、微波Ⅳ型爆发，脉冲爆发最为常见，表现出强度的迅速上升和较缓慢地下降，持续几秒到几十秒钟。缓慢爆发一般持续 10 分钟以上，它的特征是强度缓慢地上升到一个峰值，然后又缓慢地下降到起始水平。微波Ⅳ型爆发是复杂的剧烈爆发，爆发源固定在黑子区域上空，常以脉冲爆发或缓慢爆发为先导，持续几分钟或几小时，有多个峰值。米波爆发包括Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ型等爆发。Ⅳ型爆发持续时间很长，频带范围广（以毫米波到千米波），常与大耀斑共同产生。Ⅱ型爆发也叫慢漂移爆发，它是米波爆发强度最大的一种。从慢漂移爆发的运动频谱图可以看出其频率明显地随时间从高频向低频漂移。Ⅲ型爆发也称为快漂移爆发，它的爆发源在日冕中高速向外运动，其频率迅速向低频漂移。Ⅵ型爆发指的是当爆发从高频漂到低频后，有时出现向高频逆向漂移。Ⅵ型爆发在运动频谱图上表现一个倒“U”型。分米波射电爆发兼有微波、米波射电爆发的特征。太阳射电爆发常同太阳耀斑、X 射线爆、质子爆、宇宙线爆等物理过程一起出现。太阳射电爆发的研究，对太阳物理、日地空间物理和地球物理的研究具有重要意义。

【太阳局部射电源】太阳射电并不是绝对宁静的，总有或大或小的扰动。这种高于太阳宁静射电背景的辐射称为太阳缓变射电。太阳缓变射电产生于太阳局部射源，是由轫致辐射和磁回旋加速辐射联合作用引起的。太阳局部射电源的形状和大小和黑子、谱斑

有关。在厘米波段的射电观测表明，局部射电源的形状和大小与有关的黑子相对应，其大小还取决于黑子磁场，磁场不同，源的大小、亮温度都相差很大。在分米波段，谱斑的大小影响源的形状、大小及其他物理性质。局部射电源辐射频谱的峰值波长为 5—10 厘米，而偏振频谱则在短厘米波长上达到峰值。总之，太阳局部射电源电子密度较大，温度较高，并且渗进了黑子磁场，一般可将局部射电源分为两类：一类与太阳黑子有关，辐射强度大但源的面积较小；另一类相反，辐射强度较弱而面积较大，这是与谱斑有关的射电源。

【日冕射电】日冕位于太阳大气最外层，从色球边缘向外延伸到几个太阳半径 $R_{\odot}$ 处，甚至更远。日冕由很稀薄的完全电离的等离子体组成，其中主要是质子、高度电离的离子和高速的自由电子。日冕辐射的波段范围很广，从 X 射线、可见光到射电波。日冕中的电子在磁场中运动时，产生回旋加速辐射或同步加速辐射，辐射射电波。有几个射电波段的辐射能够透过地球大气层，所以在地面上可用射电望远镜对日冕作常规的观测。宁静日冕射电辐射虽然只占太阳总辐射能的很小部分，但对分析日冕的化学成分、物理条件、物质结构及分布很有意义。另外，由于日冕外层电子密度不均匀，可能引起宇宙射电波的散射。根据日冕的散射研究可以测定外层日冕不均结构的取向、性质以及日冕磁场。

【宇宙射电】宇宙中各天体发出的射电都称为宇宙射电，但通常只指太阳系以外天体的射电辐射。1931—1932 年美国的央斯基发现了人马座银心方向的射电，这是人类首次发现宇宙射电。此后，人类接收到的宇宙射电不仅在频率范围，以及射电种类都有高度很

大的发展。现在一般把宇宙射电分为银河系射电和河外射电两部分。银河系射电最早得到理论与观测证实的是中性氢 21 厘米谱线射电，它产生于中性氢原子基态超精细结构能级之间的跃迁。由这条谱线可以得到银河系结构及分布。另外，在电离氢云中有 H II 射电——即 H II 区射电（H II 是指一次电离氢）。银河系内广泛分布磁场，高能宇宙线电子也不少，因而能产生同步加速辐射，所以在银河系存在很强的星际非热射电辐射。在银河系中，超新星遗迹也发射射电辐射；除此之外，脉冲星、射电新星、耀星和射电双星都有射电辐射。后来（1963），在银河系中还发现了星际分子射电。河外射电包括正常星系射电和特殊星系射电。正常星系射电功率为 10^{37} — 10^{41} 尔格/秒。特殊射电星系射电流量很强，比正常星系强 10^2 — 10^6 倍。它们的射电主要来自星系中心的小区域或星系两边的两个对称的子源。在河外星系中，已观测到原子射电和分子射电。中性氢 21 厘米谱线、羟基、 H_2O 、 NH_3 等分子谱线相继在河外星系中发现。河外星系中的类星射电源有极强的射电辐射，甚至有发射线而且辐射随时间变化。遍布天空的微波背景辐射（2.7K）也属于河外射电，是宇宙的早期阶段的残存辐射。

【河外射电】大多数射电源在宇宙空间呈各向同性均匀分布，且大都位于河外星系，它们基本上可以分为二类：正常星系射电源和特殊星系射电源。正常星系与银河系类似，这些射电源所发射的总射电功率差不多和银河系的总射电功率相同。目前我们还只能接收到几个距离较近的正常星系射电辐射，对于远于 10^9 光年的就无能为力了。仙女座大星云是第一个发现的正常星系射电源。它离我们较近，总射电功率约为 10^{29} 瓦，与银河系相似。通过射电观测，发现它是旋涡结构，中心区域射电辐射比星系冕的要强 10 倍。

另外,从其射电频谱看,它的射电辐射起源于非热同步加速机制。天鹅座 A 射电源是首次发现的特殊星系射电源,它是一个典型的特殊星系射电源。它的射电辐射非常强,辐射功率比太阳强 1 亿倍以上。对地球上的观测者来说,它的射电流量也只比太阳宁静射电流量小一倍而已。近年来,在星系团中发现了“头尾星系”——有一个非常的射电头和一个长射电尾(如英仙座星系中的射电星系 NGC1275),它们射电辐射很强,而且变化十分剧烈。20 世纪 70 年代以来,采用综合孔径和甚长基线干涉仪,河外射电源的研究取得了重大成就。首先,人们发现河外射电源一般呈扁长态,中心有两个(少数有 3 个或更多)致密源,它们发出强射电辐射。其次,河外射电源射电流量随时间发生变化,其结构也相应地逐渐变化。如射电源 3C273,它的二个子源以超光速(约 $5c$)分离,也就是说这个射电源随时间高速膨胀。这种“超光速”问题越来越引起科学工作者的重视和关注。

【河外致密射电源】河外射电源通常按照它们总体的射电特性分为展源和致密源。视角径小于 1 弧秒的河外射电源称为致密源,线度为几分之一秒差距到几十秒差距,大多数致密源观测到有精细结构(约为 $0''.001$ 量级)。致密源一般出现在类星体以及延伸天体或光谱中有强发射线的天体(如塞佛特星系、N 星系、致密星系)的光学亮核中,也有少量出现在正常旋涡星系和椭圆星系中。致密源的频谱很平坦,频谱指数 α 的变化范围为 $0-0.25$,在高频上出现光学同步辐射源所特有的低频反转。致密源大都是变源,其射电流量在几天到几年的时间尺度内可变化 2—3 倍。有些致密变源同时也是光学变源,但两者并没有明显的关系。致密源的射电爆发是随机的,尚未观测到周期性。致密源的能量一般在 10^{45} —

10^{51} 焦耳，比展源要低 4 个量级以上。对于年轻的致密源，同步辐射作用不明显，因而没有高频截断现象。另外，大都具有偏振也是致密源的特点。

【河外射电展源】河外射电源可分为展源和致密源。视角径大于 1 弧秒的河外射电源称为展源，其线度可达 10 千秒差距到 0.6 兆秒差距。展源通常出现在亮的椭圆星系中或和类星体相联系。它的能量比致密源的能量要大得多。展源的最小总能量可达 10^{51} — 10^{57} 焦耳，而致密源的能量则在 10^{45} — 10^{54} 焦耳之间。展源射电流量很稳定，不随时间变化。展源中的电子也很稳定，其寿命可长达 10^9 年量级，这与致密源中电子快速耗散（约 100 年）形成鲜明的对照。展源射电频谱，在大的频率范围内，流量密度随频率呈幂律分布，其频谱指数基本上维持在 0.75。另外，有些展源在高频段呈现频率弯曲，弯曲的两边频谱仍是幂律型，只是频谱指数变化较大。展源的这些频谱特征，可用同步辐射机制解释。展源的结构较对称，约 40% 的源具有双结构或者以两个亮子源为主体的复杂结构。与致密源不同，展源偏振度不高，其线偏振一般在 1% 左右（当然，完全分解的射电源局部区域可达百分之几十）；至于圆偏振，至今尚未在展源中发现。

【河外射电双源和多重源】河外射电展源大多由双子源构成，结构很对称，除了双源外，有些河外射电源具有复杂结构：以二个强外子源为主体，里面另有多个子源，其总体结构也近似对称。双源的两子源之间相距几万至 200 万光年，光学对应体位于两子源连线的中心。最典型的代表是天鹅座 A。双源的一些基本性质见“河外射电展源”词条。大多数多重源的辐射集中在天空中通过光

学对应体的一条带里。射电辐射带的主体是最后面的两个亮子源，多重源的内部结构复杂，有 1 个或多个子源以及一些低亮度区域。在多重源中，子源非直线排列，子源的头和延伸部分与源轴常常不成一条直线，延伸部分偏离的角度一般为 12° ，头部偏离更显著。其中一个子源的偏离似乎与另一个子源的偏离无关；也有些源中两子源的延伸部分位于源轴线的同一边。双源和多重源的结构、分布特性，可用等离子体团抛射及膨胀，大质量物体的一次抛射，连续喷射束等理论进行解释。

【星系核射电】无论是正常星系还是活动星系，其星系核（直径一般小于 1 光年）本身都能发出射电辐射。正常星系的核心发出射电连续谱，射电辐射功率为 10^{26} 焦耳/秒量级，其中有热辐射也有非热辐射成分。一般旋涡星系都属这种，如银河系射电。活动星系的最中心部分——星系核，可能产生猛烈的爆炸，粒子以接近光速的速度向外抛出，形成两股方向相反的粒子流。粒子流与星系周围的气体云碰撞，在气体云的磁场作用下，这些高速粒子作圆周运动，同时发出射电波，产生两个有射电辐射的子源。星系爆发释放的能量高达 10^{53} 焦耳。可能的解释是：星系核小尺度（与太阳差不多）范围内聚集了巨大质量（几亿个太阳质量），整个星系核处于高度致密状态，引力场非常强，粒子运动速度几达光速，在星系核内部物理条件发生突变时，爆发性地抛出巨大规模的粒子流，最后辐射射电波。M87 是一个典型的射电星系，它的星系核，它的喷流，通过同步加速辐射发出射电波。活动星系核发出的射电功率比正常射电星系强 100 倍。总之，星系核射电是普遍现象，正常星系、类星体、塞佛特星系等，它们的星系核都有射电，有许多星系核中存在相对论性电子和磁场。

【类星体】1963 年,天文工作者采用月掩射电源的方法准确地定出了射电源 3C273 的位置,施密特证认了它的谱线,宣告了类星体的首次发现,成为 60 年代的四大发现之一。类星体主要有二类:(1)有类似恒星的像,大红移、强射电辐射的类星射电源;(2)大红移,但没有射电辐射——蓝星体。类星体是一类具有奇异性质的天体,它的性质和特点如下:(1)类星体在照相底片上具有类似恒星的像,角直径小于 1 弧秒,极少数类星体在类星的点像周围有一个微弱的星云状包层。(2)类星体的光谱中有许多强而宽的发射线,包括容许谱线和禁线。类星体红移特别大,有许多红移大于 1,最大的红移值(到 1992 年)为 4.89。(3)类星体的光学辐射是非热辐射,常有幂律谱形式。类星体的紫外辐射很强,红外辐射也很强。(4)类星射电源发出很强的射电辐射。类星射电源的射电结构很复杂,多数呈双源结构。(5)大部分类星体都有光变,光变幅度可达几个星等,少数类星体光变很猛烈,时标为几个月或几天。类星体虽然象恒星,但两者差别很大。类星体的光谱与银河系内的恒星光谱有很大的不同,因此类星体是河外天体,现在普遍认为,类星体是某种遥远的活动星系,它的中心有特别明亮的核。类星体是宇宙中最亮的天体。类星体经常有光变,这表示类星体正在发生或曾经发生释放巨大能量的爆发现象。但是类星体的直径只有或还不到 1 光年,在如此小体积内释放如此巨大的能量,一直为天文学家争论不休的问题。另外,类星体的巨大红移也是一直悬而未决的问题。如果采用宇宙学红移的观点,却会引出高光度、能量传递、粒子加速等一系列困难。因此,类星体的发现构成了对近代物理学和近代天文学的挑战。

【微波背景辐射】来自宇宙空间背景上的各自同性的微波辐射，也称为宇宙背景辐射。微波背景辐射是 60 年代天文学四大发现之一。20 世纪 60 年代初，美国科学家彭齐亚斯和威尔逊为了改进卫星通讯，建立了高灵敏度的号角式接收天线系统。1964 年，在用此天线系统测量银晕气体射电强度时，发现总有消除不掉的背景噪声，通过分析，他们认为这些波长为 7.35 厘米的来自宇宙的微波相当于 3.5K，1965 年，又证认为 3K 并公诸于世，此发现荣获了 1978 年度的诺贝尔物理学奖。进行微波背景辐射测量时，主要的干扰因素是大气辐射、银河系辐射和河外源辐射，背景辐射的最重要特征是具有黑体辐射谱。在 0.3—75 厘米波段，可以在地面上直接测到；在大于 100 厘米的射电波段，银河系辐射掩盖了来自河外空间的辐射，因而不能直接测到；在小于 0.3 厘米波段，由于大气辐射的干扰，要依靠各种空间探测手段才能测到。

【地外文明和它的射电探测】地外文明指地球以外的其他天体上可能存在的高级理智生物的文明。地球只是宇宙中很普通的一个天体，因而，人在宇宙间并不是有特殊地位，宇宙间任何天体，只要有适合的条件，就可能产生原始生命，并逐步进化到高级生物。人类是在地球自然条件下长期演化的结果，在条件与地球相差很大的其他天体上，可能存在着生理条件和人类相差很大但能适应那里条件的高级生物。这些地外高级生物的文明程度，可能有的还非常落后，有的远比人类先进，有的与人类文明接近。人类文明已经发明了无线电报、电视、雷达、激光通讯，对地外文明的探索始终是人类的愿望。1960 年，在美国国家射电天文台上设置了一个专用的接收装置用以观测地外文明发射的信号，称“奥兹玛”计划，目标是波江座 ϵ 星和鲸鱼座 τ 星，至今没有得到任何结

果。此外，天文学家又提出了建立“全球性射电望远镜”计划，用以搜索地外文明发来的无线电信号，此计划仍在进行之中。

其他波段天文方法

【红外望远镜】观测红外辐射的望远镜。其结构和外型同光学望远镜很相似。通过光学系统将天体的红外辐射聚焦在红外探测器上，再由电子学系统和终端设备得到天体红外辐射的各种信息。世界上第一台红外望远镜，是 60 年代由美国加利福尼亚理工学院的诺伊吉保尔和莱顿共同设计和制造的，口径为 1.5 米，它的首次巡天观测就发现了普通光学天文望远镜无法发现的红外星，显示出其特殊的优越性。红外望远镜的特点为：（1）口径大；（2）焦距长；（3）主孔和副镜小；（4）镜面和镜筒部件一般应为镀金或镀银，以减小部件的热噪声；（5）镜面的精度要求低；（6）采用红外调制技术。另外，红外望远镜上的探测器一般都要采取制冷技术（使用液氮或液氦），以减低探测器噪声和背景辐射。普通望远镜也可以进行改装成为做红外观测的红外望远镜。现在，世界上许多大型地面光学望远镜正在改装以适应红外观测。这些望远镜在夜间可以进行光学观测，白天则可以进行红外观测，大大提高了望远镜的使用率。

【红外探测器】使用红敏元件高效率地接收红外辐射并将其转换成可显示的电信号的仪器。主要有两类：一类为红外热探测器，使

用辐射热电偶、热电堆、测辐射热器、热敏电阻等，用于测量温度变化缓慢的辐射源；一类为红外光电探测器，灵敏度高于前一类，响应快，广泛用于红外源的探测之中。

【红外调制技术】红外观测中现在已普遍采用调制技术，目的是为了减低来自天空和望远镜的干扰，同时也可以使天体的辐射变为交流信号以便于处理。红外调制技术一般是采用调幅，即对天体的红外辐射以低频方式进行调制，探测器得到的是“源信号加背景”和“背景”，后面的电子线路对二者之差进行放大，这样就可以把源信号从强的背景起伏中检测出来。红外调制通常有三种方式：（1）摆动望远镜的主镜（这是最理想的）；（2）摆动望远镜的副镜；（3）安置焦平面调制器（在焦平面的前一点安置旋转或平移的小反光镜系统）。通过这三种方式，可以获得调制信号差。一般后两种方式最为常用。对调制器的要求是：使调制函数最大可能的近于方波，最终状态很稳定，调制频率应等于所用红外探测器的最佳调置频率，以获得最大的调制比。红外调制技术也广泛地应用于军事工业和尖端科学的红外系统中，除采用调幅外，还可采用调频、调相和脉冲编码等方式。

【红外探测卫星】为了摆脱地球大气对红外辐射的吸收以及避免大气本身在红外波段的强烈噪声，高空和大气外的观测具有特殊的优越性。1975年由美国、荷兰和英国联合提出了IRAS红外天文卫星的计划，并于1983年1月发射上天。卫星主要有两个部分——航天器和望远镜系统。卫星整体高3.60米，长3.24米，宽2.05米。望远镜口径60厘米，镜面使用的是铍材料。卫星对98%以上的天空进行了四个波长上的红外巡天观测，得到了一个红外

点源的星表，一个小于 $8'$ 的展源星表，一个低分辨率的光谱表和一个整个红外天空绝对视亮度图像的星图。其中包括了 250000 个点源和 20000 个展源的数据等。

【红外源】指辐射能量集中在红外波段的天体。现已观测到的天体几乎都有红外辐射，如太阳系天体、恒星、星云、银核、星系和类星体等。在观测到的红外源中，大部分都对应于恒星。恒星形成的早期和演化到晚期时，都有丰富的红外辐射。新星爆发后其可见光度迅速下降，红外辐射急剧增加，表明物质大量抛射。在银河系星云中也发现了其他的一些强红外源。观测到的河外天体红外源还包括一些类型的星系和类星体。这些星系大部分属于塞佛特星系。有的红外星系的红外辐射的强度接近于太阳的 10^{13} 倍。类星体的红外光度也可以达到这个量级或更高。

【BN 天体】低温红外天体。贝克林和诺伊吉保尔于 1966 年在猎户座四边形聚星附近发现，用发现者姓氏第一个字母命名了这一天体。它的温度仅有 530K，直径少于 2 角秒。后来在它的南边近邻又发现了类似的天体。一般认为 BN 天体是正在形成的恒星。

【NML 天体】1965 年发现的红外天体。典型代表为 NML Cyg 和 NML Tau。当时即使用世界上最大的光学望远镜也很难看到它们，但是用一个比较简易的红外望远镜却能测得它们在红外波段（2.2 微米）有很强的辐射。后经研究和观测发现，NML Cyg 是一个温度为 600K 的晚型恒星壳层辐射源，壳层半径为 4.3×10^4 太阳半径，中心温度为约 2500K，NML Tau 的壳层中心温度为 2000K，壳层温度为 550K，壳层半径为 2.1×10^4 太阳半径。这类

天体的发现很大的推动了红外天文学的发展。

【KL 源】一种红外天体，发现者为克兰曼和 F. 洛，又称 KL 星云。1967 年在猎户座星云中发现这一天体，成为在猎户座中发现的第二种红外源（第一种为 BN 天体）。其位置在发现的 BN 天体南边约 $12''$ ，是一个低温（70K）红外展源。在 KL 源中还发现类似 BN 天体的点源，被认为是一群正在形成中的恒星。

【IRC 源】波长为 2.2 微米的红外天体源。1969 年诺依吉保尔和莱顿等人整理出的一个红外天体表中，辐射流量大于 40 央的 IRC 天体约 5600 个。

【CRL 源】美国空军坎布里奇研究所（AFCRL）在红外巡天观测中发现的波长在 4 微米、11 微米和 20 微米处的红外源。这个所发现的这样的红外源约 3200 个。

【太阳紫外辐射】太阳在紫外波段的电磁辐射，波长在 100—4000 埃之间，约占太阳辐射总量的 7%。在地球表面接收的太阳紫外辐射很弱，这是由于太阳紫外辐射经过地球大气时，被大气中的臭氧、氧、氮等分子吸收，一般波长低于 3000 埃的太阳紫外辐射已无法到达地球表面。太阳紫外辐射按波长可分为三个区域：近紫外（3100—4000 埃），中紫外（1700—3100 埃）和远紫外（100—1700 埃）。在近紫外和部分中紫外区，太阳光谱与可见光谱类似，在连续光谱背景上出现吸收线。在 2100 埃以下，吸收线变弱，并开始出现发射线。比 1700 埃波长更短的部份，近于没有连续背景辐射和吸收线，只有发射线出现。不同波长的紫外辐射来自不同

的太阳大气层，近紫外、中紫外辐射来自光球层，远紫外辐射主要来自色球层、色球—日冕过渡层和内日冕。在整个紫外区，最主要的发射线是氢的莱曼线，其中最强的是莱曼阿耳法线，其次是莱曼线贝它线。虽然紫外辐射在太阳辐射中所占比例不大，但因为其辐射能够引起地球高层大气的各种反应，并且对卫星表面有很强的破坏作用，所以研究太阳紫外辐射非常有用。

【太阳远紫外爆发】来自太阳色球局部区域的远紫外辐射短时间突然增强。波长在 $100\text{—}1700\text{ \AA}$ 的远紫外辐射，仅占太阳辐射的 0.001。从 1966 年开始，先在 $1225\text{—}1350\text{ \AA}$ 波段上，观测到短时间辐射突然增强，随后在 $100\text{—}1700\text{ \AA}$ 的波长范围内都发现了这类现象。这种观测主要依靠空间观测，60 年代发射的太阳辐射监察卫星系列和轨道太阳天文台科学卫星系列，都装置有紫外线探测器，发现这些远紫外单色辐射 1 分至几十分钟的突然增强，其爆发过程基本上有两种类型：脉冲型爆发的表现是强度迅速上升而下降缓慢；缓慢爆发型的表现是辐射强度的上升与下降都是比较缓慢的。一般认为脉冲型爆发发生在 $10^4\text{—}10^6\text{ K}$ 的区域，出现在耀斑的闪相期间。

【恒星紫外辐射】由空间探测器探测的一部分恒星辐射。恒星紫外观测始于“宇宙 51 号”空间探测器，现在已获得许多重要资料。近年来的观测证实，早型星在紫外区有强连续谱线并叠加有许多共振吸收线。用紫外光拍摄恒星的像，发现 O、B 型星比地面观测显得更亮，而晚于 B 型的则几乎拍不到，说明 O、B 型的恒星比已经观测结果更热。对晚型星的紫外观测表明，它们的紫外辐射类似于太阳，主要来自色球与日冕，看来高温冕是恒星的普遍现

象。

【太阳软 X 射线爆发】来自太阳活动区波长长于 $1\text{ \AA}$ 辐射的快速增强现象。一般说辐射强度上升较快,约为 4 分钟,衰减则需要 10—13 分钟,总持续时间约 8—24 分钟。它们常发生于耀斑爆发之时,几乎所有 $H\alpha$ 耀斑都伴有软 X 射线爆发,与耀斑爆发的时间演变曲线相似。爆发源约在距色球底部 1 万—2 万 km 的地方。

【太阳硬 X 射线脉冲式爆发】发生在太阳耀斑的闪光阶段、波长小于 1 埃、能量大于 10000 电子伏特的硬 X 射线区的脉冲式的辐射突然增强的现象。这是一种非热成分,辐射的寿命很短,通常为几十秒,爆发的上升时间和衰减时间相差不多,有脉冲特征。在几千电子伏特的低能区不存在爆发,在几兆电子伏的高能区却仍能记录到这种爆发的辐射流。这种爆发的特性是:常在氢线 $H\alpha$ 达到光学极大值前的 0.3—0.5 分钟发生;X 射线辐射流的上升和衰减的时间常数分别为 2—5 秒和 3—10 秒;爆发的寿命随辐射区能量的增高而减小。在爆发过程中,谱型是变化的,常常在流量的上升阶段光子型变硬,而在衰减阶段光子型变软。最硬的谱型一般出现在流量极大时刻,在某些情况下也有例外,与脉冲式微波爆发几乎共生,二者在时间上有非常密切的相关性。脉冲式硬 X 射线爆发的角直径小于 $1'$,比 $H\alpha$ 耀斑区小得多,也小于软 X 射线爆发源。

【X 射线脉冲星】具有短周期 X 射线脉冲辐射的天体,也可称它为 X 射线密近双星。这类天体一颗是光学 O 型或 B 型恒星,另一颗是致密天体如中子星。它们彼此绕转,光学巨星流出的物质被吸

引到致密伴星上，导致 X 射线辐射。中子星的快速旋转又使 X 射线脉冲出现短周期辐射现象。最先发现的 X 射线双星是半人马座 X-3，每 4.8 秒发出一次脉冲，每两天巨大的光学伴星遮掩中子星伴星一次；武仙座 X-1 每 1.24 秒就发出一次 X 射线脉冲，每 1.7 天被遮掩一次，其光学伴星武仙座 H₂ 是一颗变星。比较特别的是蟹状星云脉冲星，它不是双星，但它既是射电脉冲星又是 X 射线脉冲星。

【X 射线双星】指发射 X 射线的双星系统。X 射线脉冲星是由一颗普通的恒星和一颗发射 X 射线的子星组成的。大多数学者一般认为 X 射线子星是中子星或黑洞一类的致密星。现已认为双星的 X 射线源有：小麦哲伦 X—1，天鹅座 X—1，半人马座 X—3，4U0900—40，4U1700—37，武仙座 X—1，天鹅座 X—3，天蝎座 X—1 和圆规座 X—1 等。其中最为著名的有武仙座 X—1 和天鹅座 X—1。据理论分析一般认为，武仙座 X—1 是一颗中子星，其脉冲是由它的自转造成的。通常认为在 X 射线系统中 X 射线是由光学恒星快速流出的物质被吸积到致密 X 射线子星上而引起的。致密星的引力很强，落向致密星的物质可以获得很大的能量，这部分能量就可以转变为 X 射线波段的辐射能量。

【X 射线展源】具有较大视角直径的 X 射线延伸天体。现发现的有两类展源：一是银河系内的超新星遗迹，另一类在星系团内，是河外展源。有些超新星遗迹成为气体云包围的中子星，中子星发出的相对论电子与星云作用而发出 X 射线，所以成为展源。典型星如蟹状星云、船帆座星云，它们的中心分别为脉冲星 PSR0531 和 PSR0833-45。有一些更老的超新星遗迹如天鹅环，可能有活动

期留下的相对论电子与磁场作用，通过同步辐射发出 X 射线。星系团 X 射线延伸源的大小可达 3300 光年，可能产生于星系团内介质。例如室女星系团中的 M87，其中心有一股长 5000 光年的喷注，有强 X 射线辐射。

【暂现 X 射线源】突然出现一段时间后又消逝的 X 射线源，所以也称它为 X 射线新星。1969 年 7 月，维拉卫星探测到第一个这样的天体 GX333+25，7 月 6 日突然产生 X 射线，两个月内光度维持不变，9 月初开始变暗，9 月底消失。它的发现又让人们从过去的观测资料中找到半人马座 XR—2，现已发现 20 颗左右的 X 射线新星。麒麟座 A0620—00 于 1975 年 8 月成为天空中最强的 X 射线源，比蟹状星云强 50 倍，但 42 天后消失。从资料中发现它的光学对应体于 1017 年 11 月爆发过，可能是再发新星。A0535+26 是一类有 6 天先非期的 X 射线新星，在此期间强度稍有增加，此后经 11 天强度达到蟹状星云的两倍，40 天后开始衰减。它还有 104 秒的准确周期，所以可能是旋转较慢的中子星。有人猜测，暂观 X 射线源是轨道非常偏心的双星系统，只有两子星接近时才发出 X 射线辐射。

【宇宙 X 射线爆发】天体的 X 射线辐射突然增强的现象。1975 年在荷兰天文卫星上首先探测到，至今已发现 30 颗以上。它们大都在银道面附近，并大多集中在银心 60° 范围内。其爆发特征是：在 1 秒到几秒内强度猛增至峰值；爆发持续几秒到几分钟；爆发可以迅速重复，但无准确周期；爆发间隔时间长的爆发能量也大。可能与中子星的吸积过程有关。

【X 射线源】辐射能量在 X 射线波段的天体,在太阳系以外的 X 射线源称为宇宙 X 射线源。1962 年首次观测到天蝎座 X—1 的 X 射线辐射,到现在为止,已经发现的 X 射线源约有几千个。源天体有超新星、脉冲星、密近双星、X 射线新星、塞福特星系、星系团等,也可能有黑洞。X 射线的辐射能量在 0.1—500 千电子伏特,即波长在 0.000002—0.01 微米之间。

【气球高空天文探测】在红外和高能天文研究中,由于地球大气对上述两个波段的强烈吸收,需要将天文探测仪器以一定的方式放到高空中进行观测,如在高空气球上进行天文探测。1874 年,气球携带小型光谱仪进行了第一次球载的天文观测。1911 年奥地利的天文学家将探测仪器用气球带到 5000 米的高空,发现了宇宙线。气球天文探测同飞机探测相比,有其明显的优点,如飞行时间长、高度高等,而同卫星相比也有其优点,如造价便宜、发射和回收容易等。现在气球飞行的高度可以达到 52 千米,载重量可以达到 5 吨以上,最长的飞行时间可以达到 762 天。

【火箭高空天文探测】将探测仪器载放在火箭上以进行高空天文观测。因为火箭观测的时间很短,每次只能飞行几分钟;而且其指向精度也比较低,因此一般使用火箭进行对太阳系天体主要是大行星的观测,有时也用来进行一些银河天体的观测工作。

【太阳 γ 射线爆发】太阳耀斑爆发时出现的能理超过 10^5 电子伏特的 γ 射线发射。皮特森等人早在 1959 年就利用高空气球观测到太阳耀斑的 γ 射线。1972 年利用轨道太阳观测站 7 号卫星上的碘化钠谱仪,探测到当年 8 月两次大耀斑期间的 γ 射线爆发,它们具

有 0.51 兆电子伏特、2.22 兆电子伏特、4.44 兆电子伏特和 6.13 兆电子伏特的强度。后来在高能天文观测站 1 号、3 号，太阳活动最大年探测卫星也观测到。反映那里有正、负电子湮灭过程或者中子俘获过程。

【宇宙 γ 射线爆发】宇宙中 γ 射线源的一种短暂而猛烈的爆发。1973 年克莱比塞和斯特朗根据“维拉”卫星上射线探测器的观测资料发现，有一种 γ 射线爆发同地球、月球、太阳和行星都没有关系，肯定发生在太阳系之外，故称之为宇宙 γ 射线爆发。此项发现被列为 20 世纪 70 年代天体物理学的重大发现之一。爆发的重要特征之一是辐射变化剧烈而迅速，从理论上的推算可以得知其每单位面积 γ 射线辐射的能量比太阳上每单位面积辐射的总能量大几百万倍甚至更多。在对 γ 射线爆发的观测中，确定其方位和距离是一件非常困难的事，到 1976 年为止，在已有记录的 50 多个事例中只有 7 个事例得到了确定的方位，有 9 个各得到两个可能的方位，在这些方位上没有找到任何已知的天体与之对应，只有一两个可能的方位与 X 射线源和天鹅座 X—1 有关。爆发源的视分布呈各向同性，但其距离至今仍无法确定。对其爆发的机制，有两种理论模型较为流行：(1) 等离子体相互作用模型：认为 γ 射线爆发发生于双星体系，其伴星为致密星或中子星或黑洞，主星落向伴星的两股等离子流相遇时碰撞可能产生 γ 射线爆发；(2) 恒星耀斑模型，被认为同恒星耀斑爆发有关。后来的研究表明， γ 爆发源可能是强磁场的白矮星上的耀斑。

【宇宙 γ 射线源】宇宙中发射 γ 射线的天体。1975 年 8 月欧洲发射的 γ 天文卫星 COS—B，有较高的灵敏度与分辨率，它和高能天文

观测站 3 号的探测,使 γ 射线源的数目增加到 20 多个,它们多集中于银道面上。一类是银河系内的源,主要是两类:一为 γ 射线脉冲星,它们既是 γ 源,又有脉冲辐射特点,如蟹状星云脉冲星、船帆座脉冲星等;一为星云,如猎户座星云。前者 γ 辐射可能由曲率辐射产生,后者可能是宇宙线粒子或电子与浓密星云中气体相互作用面产生。还有一类源在银河系以外,它们属于射电星系(如半人马座 A)、塞佛特星系(如 NGC4151)和星体(如 3C273)。

【 γ 射线脉冲星】有 γ 射线脉冲辐射的脉冲星。在 SAS—B 小型天文卫星和 COS—B 宇宙线观测卫星发现的 γ 射线源中,有几个已被证认为脉冲星。目前已知的 γ 射线脉冲星有:船帆座脉冲星(PSR0833—45),蟹状星云脉冲星 PSR053+24 等,其中,前面两个脉冲星的 γ 射线辐射的功率为射电辐射的 100 万倍,是两个最强的 γ 射线脉冲星,从已知的几个 γ 射线脉冲星来看, γ 射线的脉冲周期和射电脉冲周期相同,但脉冲的到达时间不同,其脉冲轮廓也不相同。

【行星际空间探测】通过一些科学手段来研究整个太阳系内等离子体、电磁辐射、磁场和微量中性粒子的通量、分布、变化以及同行星的相互作用。行星际空间探测手段主要有三类:(1)间接观测:比如由地磁活动、黄道光偏振、宇宙线被调制等现象,来确定太阳风的存在及其速度和成分等;根据流星进入大气后产生的发光现象和电离效应,可以得知流星的一系列性质。(2)直接探测:把行星际探测器送入行星际空间进行探测。如果是地球磁层以内,则可通过人造地球卫星探测,如果是地球磁层以外,则须

依靠空间天文观测航天器。近几十年来，人类已发射了许多探测器飞向金星、水星、小行星、木星、土星、天王星和海王星等行星，获得了大量宝贵的图片、数据等资料。直接探测方法是最有效的一种方法，它需要相当高的综合科技水平。(3) 射电观测：包括被动观测和主动观测。被动射电观测主要是观测天然射电在行星际空间的传播效应来推断星际空间状况，例如，行星际的啸声波、阿尔文波、太阳的射电爆发等均属天然射电。主动观测是通过观测雷达回波的行星际效应来推断行星际空间状况。行星际空间观测的成果主要有：(1) 发现了包括地球在内的行星存在辐射带和磁场；(2) 发现并深入研究了行星际等离子体——太阳风；(3) 发现行星际扇形结构的磁场；(4) 发现了包括微流星和宇宙尘等行星际固体物质。行星际空间探测是研究太阳系起源和演化的主要手段之一。

【空间天文观测航天器】将天文观测仪器送到距离地球几百公里的大气以外的宇宙空间进行天文观测的航天工具。使用航天器进行天文观测可以避开地球大气和地磁场的影响，不仅可以观测太阳系天体所有波长的电磁辐射，还可以观测到不同能量的粒子辐射。对于恒星，其观测仅受星际气体吸收的影响，而对于月球、行星和行星际空间，则可以作直接采样或逼近观测。完整的空间天文观测系统包括航天器、运载火箭和地面支援设备三个部分，其中，航天器是装载科学仪器、执行探测任务的主要部分。现在已经发射的航天器中以天文卫星为主，并且已经构成了不同的天文卫星系列，如作为太阳观测之用的轨道地球物理台 OGO、太阳辐射监测卫星系列 SOLARD、轨道太阳观测台系列 OSO、行星际监测站系列 IMP 和国际辐射研究系列 IRIS 等卫星系列，作为非太阳观

测的轨道天文台 OAO、射电天文探险者 RAE、高能天文台 HEAO 等，以及月球、行星和行星际的观测器系列等。随着航天技术的发展，现在已经发射了可以载人的轨道空间站——天空实验室。

【轨道太阳观测站】美国发射的太阳观测卫星系列。英文缩写 OSO，即“轨道太阳观测卫星”。重约 200—291kg，轨道倾角约 33° ，轨道为高度约 550km 的近圆形轨道，运行一周约 96 分钟。1962—1975 年间共发射 8 颗。卫星上装有 X 射线分光计、 γ 射线探测器、X 射线探测器、尘粒探测器、辐射带质子、电子探测器、X 射线望远镜等，对太阳高能活动作了系统探测，持续观测了整个太阳活动周，取得了丰富的资料。

【太阳辐射监测卫星】美国发射的太阳观测卫星系列。英文缩写 SOLARD。从 1960—1976 年共发射了 11 颗，除其中 3 颗发射失败外其余都成功地监测了太阳的辐射。观测持续了一个太阳黑子周。卫星轨道倾角 25.3° — 70.09° ，运行一周 97 分钟多或 7000 多分钟，卫星上安装有盖革计数器、正比计数器、闪烁计数器、电离室等，用于太阳高能辐射区的探测。

【轨道天文台】美国发射的天文观测卫星系列。英文缩写 OAO，即“轨道天文观测卫星。”卫星重 1800—2000kg，轨道为周期约 100 分钟的近圆轨道。1966—1972 年间共发射 4 颗，其中第一颗因故障而停止工作。安装仪器有望远镜、分光计、X 射线和 γ 射线探测器等。1972 年 8 月 21 日发射的 OAO—3 也叫“哥白尼卫星”，以纪念哥白尼诞辰 500 周年。OAO 是综合探测卫星，观测对象从恒星、星云、银河系、河外星系等比较全面。

【乌呼鲁探测器】用来探测 X 射线的天文卫星。于 1970 年 12 月 12 日由美国在印度洋上发射成功。因为那一天正是肯尼亚独立日,所以用斯瓦希利语的“自由”一词即“乌呼鲁”来命名该 X 射线卫星。乌呼鲁升空后,观测到了大量的 X 射线源,其中有银河系内的,也有河外的,最引人注目的算是 X 射线双星。

【轨道地球物理台】美国发射的天文观测卫星系列。英文缩写 OGO,即“轨道地球物理台”。卫星重 487—632kg,轨道倾角 0.90° — 86.01° ,轨道周期 98.10 分钟—63 小时 59 分钟。1964—1969 年间共发射 6 颗。主要探测太阳和银河系的宇宙射线、射线中粒子的成份、 γ 射线光谱、行星际等离子体、辐射带粒子、地球磁场与行星际磁场等。

【行星际监测站】美国发射的天文观测卫星系列。英文缩写 IMP。卫星重 57—398Kg,轨道周期 33 小时 17 分 2324 小时 48 分。1963—1973 年间共发射 10 颗,是“探险者”卫星中的第 18、21、28、33、34、35、41、43、47 和 50 号卫星。卫星监测了一个完整的太阳活动周。主要探测太阳活动、太阳微粒辐射、日地关系、磁场等。

【先驱者号】由美国发射、目标是为了探测太阳系的一系列宇宙探测器。通过拍照和自动测量,研究行星表面、行星大气以及地球到这些行星之间的行星际物质。从 1958 年 8 月开始到 1978 年共发射了 13 个。第一个计划作为月球探测器但没有成功。5 号—9 号是行星际探测器,任务是测量行星际空间太阳辐射及其变化,目

的是为了寻求保证宇航员不受太阳耀斑的危害的办法。11 号和 12 号是首次飞到木星的探测器。12 号和 13 号进入绕金星的轨道，以研究金星大气。

【旅行者号】美国在 20 世纪 70 年代发射的两个行星际探测器。其中，旅行者 2 号于 1977 年 8 月发射，旅行者 1 号于 1977 年 9 月升空。这两个探测器探测了木星、土星和它们的卫星，以及这些天体间的行星际物质；还探测了天王星、海王星及其卫星，发回来非常详尽和珍贵的行星及其卫星的图像等资料。在“长途旅行”中，旅行者号的两艘飞船探访了木星及其卫星；探访了土星及其卫星；探访了天王星及其卫星；1989 年 8 月，旅行者 2 号探访了海王星。这两个探测器已航行了 10 多年，作出了巨大贡献。估计它们能航行到 2015 年或更久，直到能源耗尽。旅行者号计划是人类从事的伟大的探测使命。

【哈勃空间望远镜】由美国国家航空和宇航局（简称 NASA）发射的一个迄今世界最大的空间望远镜。该望远镜以伟大的天文学家哈勃的名字命名，故称为哈勃空间望远镜（简称 HST）。1990 年 4 月 24 日，HST 由“发现者”号航天飞机载入太空，并于次日成功地进入轨道。哈勃空间望远镜的主镜直径为 2.4 米，原设计观测极限星等为 28 等，角分辨率为 0.1 角秒。但升空运行后，HST 的成像质量未能达到预期的设计要求，光学望远镜总体部分存在严重的球面像差。因不可能在太空中 HST 的轨道上改正这些像差，现只能在地面上用计算机图像退卷积技术来改善所获得图像的质量。用哈勃空间望远镜，现在还不能使用大视场行星照相机（WF/PC）和高分辨率的暗天体照相机（FOC）进行工作，但亮天

体的高分辨率可见光照像工作仍可进行。而且大部分重要的光谱、测光、紫外波段照像和天体测量工作将会作出在地面上无法比拟的成就。天文学家都在对哈勃空间望远镜拭目以待。

【麦哲伦号探测器】美国宇航局发射的主要用于探测金星的探测器。麦哲伦号的关键设备为综合孔径雷达成像系统，它每 37 分钟绕金星一周，当它最接近金星时，探测器能使射电能量的短脉冲从金星表面反跳回来并不受阻碍地通过金星厚厚的“云层”，这些脉冲信号被送回地面，由计算机绘制金星的雷达亮度图。麦哲伦号尤如观测金星的一个显微镜，它可以分辨金星表面 120 米直径的表面特征，比前苏联的金星轨道探测器和波多黎的阿雷西博射电天线阵的分辨率高约 10 倍。它得到的金星表面的环形山、火山和其他一些局部区域的详细图像，为天文学家研究金星乃至太阳系的演化提供宝贵资料。麦哲伦号曾多次出现故障，1992 年 1 月 24 日遥控更换了它的发射机，使之重新开始测绘金星。迄今麦哲伦号已绘制了 97% 的金星表面。按计划它应服务到 1995 年，但美国宇航局宣布在 1993 年麦哲伦号将停止探测。

【高能天文台】美国发射的天文观测卫星系列。英文缩写 HEAO，即“高能天文台”。共发射 3 颗：HEAO—1 于 1977 年 8 月发射，主要进行 X 射线巡天。卫星重 3175kg，轨道倾角 22.76° ，轨道周期 93.16 分钟；HEAO—2 于 1978 年 11 月发射，进一步研究那些有特点的 X 射源，可较好地指向观测目标；HEAO—3 于 1979 年 9 月发射，继续探测脉冲星、黑洞、类星体等天体。

【天空实验室】美国发射的一种载人空间轨道站。1973 年 5 月 14

日发射,轨道高度约 435km,轨道倾角 50° ,运行周期 93 分钟。有圆柱状外形,直径 7 米,长 36.2 米,重约 77.5 吨。二批宇航员共 9 名分别在上面工作了 28、59 和 84 天。1979 年 7 月坠毁。主要目的是考察长时间空间飞行对人的影响,进行空间探测与实验,也对太阳作多波段观测,研究太阳对地球环境的影响。

【阿波罗月球探测】美国国家航空和航天局施行的登月探测活动。从 1969 年 7 月至 1972 年 12 月,共发射“阿波罗”飞船七次,即阿波罗 11—17 号,其中“阿波罗 13 号发射失败,其它六次登月成功。有 12 名宇航员登上了月球,实现了宇航员在月面行走、月球车行驶、月球采样,在月面上设置科学实验站及实验仪器等。取回月岩样品 384.95kg,是人类历史上直接探测月球的壮举。

【紫外望远镜】探测太阳紫外辐射的望远镜。一般采用反射系统,通常用铝作为镀制紫外反射镜的膜料。太阳紫外望远镜探测器分为两类:(1) 正入射太阳分光光度计,其代表为轨道太阳观测台 4 号的太阳分光光度计;(2) 太阳远紫外掠射望远镜,在天空实验室 X 内有这种类型的望远镜。这两种类型的太阳紫外望远镜能够观测到色球和色球日冕层内的速度场、磁场以及一些瞬变现象。因为恒星的紫外辐射通常比太阳的弱得多,迄今在卫星上探测到的最强的恒星紫外辐射通量也只有太阳紫外辐射的百万分之一,所以对恒星紫外望远镜的灵敏度的要求也比太阳紫外望远镜高的多,其口径一般要大于 25 厘米。同时为减少背景辐射,使望远镜有较高的灵敏度,视场不宜太大。对于波长为 1700—3100 埃的中紫外辐射,通常采用反射光学系统,其优点在于能完全消除色差,而且口径可以作得很大,能够探测银河系恒星、星云与河外星系

的紫外辐射。对于波长小于 300 埃的远紫外辐射，因为它垂直入射到反射镜表面很容易被吸收，一般采用掠入射光学系统。

【X 射线望远镜】探测 X 射线的一种装置。X 射线望远镜从制作工艺来分，经历了三代。第一代镜面为铝制的，效率为 1%，可以拍出太阳 X 射线发射区的照片。第二代镜面是在光学抛光的不锈钢模上电铸镍，其效率约为 20%，可得到太阳大面积的弱 X 射线发射区。第三代镜面已在天空实验室的望远镜上使用，镜面用熔石英作材料，镜坯采用铝材，表面镀镍磷合金，分辨率很高，能观测许多日冕亮点。X 射线望远镜的辐射接收器有乳胶、正比计数器和 X 射线图像转换器等。X 射线望远镜的光学系统一般采用沃尔特 I 型，即抛物面焦点与双曲面的后焦点重合的同轴光学系统。其焦平面通过双曲面的前焦点。掠射 X 射线望远镜是根据全反射原理设计出的，它可以减少像差，是很常用的一种 X 射线望远镜。

【海盗号探测火星】两个为在火星上寻找生命而设计的宇宙探测器，由美国分别在 1975 年 8 月和 1975 年 9 月发射。它们在运行轨道上拍摄了火星表面照片，并发回有关火星大气的资料。海盗号的登陆器在火星着陆，采取了火星土壤样品，分析成分，以检验生命是否存在。它还带有两架电视摄像机，拍摄彩色照片发回地球，以分析火星大气和检测火震。

理论天体物理

【恒星大气理论】理论天体物理学中较早发展起来的一个重要组成部分,主要是通过对恒星光谱的解释来研究恒星大气的物理状态、物理过程和化学组成。早在 1905 年,舒斯特就讨论了恒星大气的辐射转移问题。1906 年,史瓦西提出了辐射平衡和局部热动平衡的假定,为恒星大气的研究奠定了基础。1929 年,米尔恩又深入研究了大气辐射平衡理论。20 世纪 30、40 年代以后,由于量子力学的发展并应用到研究恒星大气的物理过程,恒星大气理论得到了进一步发展。其间,斯特龙根开始创立恒星大气模型。后来,因电子计算机技术的广泛应用,天文学家更细致地研究了恒星光谱,使恒星大气模型更加完善。另外还研究了非正常的恒星大气,即偏离辐射平衡和局部热动平衡、化学组成反常、大气中有对流、自转、湍动等,或者是恒星有延伸大气。恒星大气理论的主要研究课题包括:(1) 恒星大气模型。(2) 恒星的连续光谱,即恒星连续光谱能量随波长的分布曲线。(3) 恒星的吸收线光谱,主要从吸收线的辐射转移理论和谱线的致宽理论两方面展开。吸收线的辐射转移理论主要是解吸收线的转移方程,导出谱线的轮廓和等值宽度的表达式。最简单的考虑是反变层模型;即认为连续谱产生于光球,而吸收线产生于光球上面的反变层。这样处理会带来很大误差。现在一般要采用吸收线和连续谱产生于同一大气层的观点。谱线致宽理论主要讨论谱线致宽的机制以及线吸收系数的

变化规律。恒星的吸收线光谱的处理方法主要依赖于谱线的等值宽度和谱线轮廓资料，方法主要有生长曲线法、谱线轮廓法、氢线方法等。(4) 恒星的发射线光谱，其中复合线和禁线的研究有很重要价值。(5) 恒星大气的化学组成，一般采用生长曲线、谱线轮廓和等值宽度等方法。恒星大气理论是研究恒星的重要组成部分。

【恒星大气模型】描述恒星大气内各个物理量（如温度、密度、气体压力、电子压力等）随大气深度的分布规律的理论模型。在给定的有效温度 T_e 、表面重力加速度 g 和恒星大气的化学组成后，假定恒星大气处于辐射平衡、局部热动平衡和流体静力学平衡状态，利用辐射转移理论、物态方程等联立建立方程组，采用数值积分，逐次近似，便可求得气体压力、电子压力、物质密度等物理量随大气深度的分布。结合观测，现已计算出大量恒星的大气模型。对于太阳，它也是一颗恒星，除了有理论的大气模型外，还有经验的大气模型，其中的温度分布可直接由观测太阳临边昏暗得到。对于那些不满足假定的恒星大气模型的计算是相当复杂的。

【谱线的形成和致宽】谱线是由某种体系的分立能级之间的跃迁形成的。当存在两个分立能级 E_2 和 E_1 ($E_2 > E_1$) 时，如果体系从 E_2 跃迁到 E_1 能级，则会发射频率为 γ 的辐射 ($\gamma = \frac{1}{h} (E_2 - E_1)$, h 为普朗克常数)；反之，则有吸收频率为 γ 的辐射。如果发射过程比吸收过程占优势，则会形成发射线；如果吸收过程比发射过程占优势，则会产生吸收线。天体的各种辐射谱中，有吸收线，也有发射线。这些谱线有的出现在光学波段，有的出现在射电波段，有

的出现在红外或紫外波段，还有的出现在 X 射线甚至 γ 射线波段。每一种谱线的形成都有相对应的物理机制。任何谱线都不是无限窄的“线”，而是有一定宽度的“线”。主要是由于观测仪器的分辨本领总是有限和天体自身辐射性质引起的，一般称它们为谱线致宽。对于天体本身的致宽原因，主要是由于形成谱线的分立能级本身并不是无限窄，而是有一定宽度，这样跃迁产生的谱线必然也有一定宽度，这种宽度称为谱线的自然宽度（这种效应称为辐射阻尼）；另一种主要原因是由于辐射体系的运动状态以及和周围物质相互作用，导致谱线迭加效应造成的，比如热动多普勒效应、碰撞阻尼、统计加宽、自转、膨胀和湍动等都可导致谱线致宽。分析谱线的形成和致宽原因，对研究恒星、星系和星云等的物理状况都有重要价值。

【复合线】在气体星云和其他一些天体的光谱中出现的氢、氮等元素的容许谱线的发射线。以氢为例，在气体星云中，绝大部分氢原子处于基态，而处于激发态的则很少。氢原子在吸收一个属于赖曼辐射区辐射的光子后电离，形成质子和自由电子。自由电子又会被质子俘获，形成基态的氢原子并放出属于赖曼辐射区的光子；或者自由电子被质子俘获后复合到某一激发态，然后再落到基态，同时释放出属于辅线系（巴尔末系、帕邢系等）的光子。这种辅线系是因自由电子与质子复合到激发态，再跃迁至基态而形成，所以称为复合线。

【禁线】原子在各能态间跃迁时，将满足选择定则。满足选择定则的跃迁叫容许跃迁；违背选择定则的跃迁则是禁戒的。但有极少数禁戒的跃迁在特定条件下将会发生，这种跃迁称为禁戒跃迁。禁

戒跃迁产生的谱线称为禁线。禁线的表示方法是在化学元素符号外面加上方括号，并写出该禁线的波长。如一次电离氮 $[\text{N II}]$ $\lambda 6583$ 埃，表示一次电离氮原子产生的波长为 6583 埃的禁线。只有从亚稳态跃迁到低能级时，禁线才可能被观测到，其中的亚稳态是指该能态跃迁到低能态只有禁戒跃迁的能态。从某一高能态向低能态跃迁，若既有容许跃迁又有禁戒跃迁，因为容许跃迁的概率远远大于禁戒跃迁的概率，所以此时禁戒跃迁是无法观测到的。要使禁线的强度足够强，应当有足够多的原子处于亚稳态。只有在辐射密度和物质都足够小的条件下，禁线才可能有较大的相对强度。在实验室条件下，是很难实现的，但在气体星云中，在日冕中，都能满足这两个条件，因此禁线能产生，而且已得到观测证实。

【谱线位移】泛指谱线偏离正常频率位置的现象。有诸多因素可以造成谱线位移。例如：多普勒效应可造成谱线位移；强引力场也可造成谱线位移；二次斯塔克效应、辐射原子和中性氢原子的碰撞等都可导致谱线位移。谱线移动在天文观测中很常见。比如：观测证实白矮星谱线存在引力位移；观测发现绝大多数河外星系都存在谱线向长波方向移动（即红移），其中类星体的谱线红移尤其突出。河外天体的这种红移大多被认为是宇宙红移。谱线移动中的多普勒效应在进行天体视向速度和自转速度测量、研究矮星运动等方面都有广泛应用。

【非热辐射】辐射源（等离子体、中性气体云等）中质点远离热动平衡分布的辐射。单个带电粒子的非热辐射，主要包括：（1）质点间近碰撞产生的轫致辐射；（2）质点在磁场中的回旋加速辐射

和同步加速辐射；(3) 质点沿弯曲磁力线运动产生的曲率辐射；(4) 相对论性电子与光子碰撞而产生的逆康普顿散射；(5) 质点速度超过介质中光的相速度而引起的切连柯夫辐射。非热辐射在解释类星体、中子星、星际分子、射电源、X 射线源、 γ 射线源等的辐射谱形、偏振状态、光变特性等都是很有效的。

【阿尔文波】在磁场中，导电流体所特有的一种磁流体力学波动，是 20 世纪 40 年代由瑞典学者阿尔文首先从理论上预言的，故称之为阿尔文波。考虑完全导电流体，因其电导率极大，所以流体和磁场是冻结的。在某种意义上，可以把磁力线看作质量等于每一根磁力线上的流体质量的物质线。因磁力线上存在着张力，可把磁力线比作弹性弦，磁力线的波动传播可以看作与弦线的振动传播十分类似。在垂直于磁力线方向受到一种局部扰动时，便会产生阿尔文波。阿尔文波是一种横波，其波速为 V_A ，称为阿尔文速度。宇宙天体大多属于有磁高电导率等离子体，因此阿尔文波有很重要应用。

【磁声波】磁流体力学中声波与阿尔文波互相耦合形成的一种波，可分为快磁声波和慢磁声波。

【光生中微子过程】 γ 光子和电子 e^- 碰撞产生一对中微子（正中微子 ν_e ，反中微子 $\bar{\nu}_e$ ）的过程。该过程是电子吸收光子的电磁作用和由中介玻色子传递的弱作用结合起来的过程。由于中微子穿透力极强，随着它的逃失，星体内的能量将被带走而受损耗。理论估计，当星体内部温度在 1 亿度以下，密度小于 10^5 克/厘米³ 时，光生中微子是造成星体能量损耗的主要过程。

【宇宙线】来自宇宙空间的由各种高能粒子组成的射流。其中的高能粒子主要是质子（氢原子核），其次是 α 粒子（氦原子核），还有少量其他各种原子核，以及电子、中微子和高能光子（X 射线和 γ 射线）。宇宙线中存在能量极高的粒子，其能量高达 10^{20} 电子伏特以上。20 世纪初发现了宇宙射线并验证它是来源于地球外的空间。30、40 年代发现了宇宙线大部分是带正电的粒子。现在对宇宙线的研究已经很深入。宇宙线带有很高能量，进入地球大气后，将同大气中的原子相作用，能量遭受损失。一般把同大气作用前的宇宙线粒子称为初级宇宙线；把作用后的粒子以及作用中产生的各种粒子称为次级宇宙线。在地面上探测到的，除了中微子外，几乎都是次级宇宙线。要得到初级宇宙线，必须用气球、火箭或人造卫星等把探测器送出大气外进行探测。在地面上探测主要是通过高能粒子（如 γ 射线）在大气中产生的空气簇射，然后推出宇宙线的性质。分析表明，银河系内恒星所发射的粒子只占银河系宇宙线的一小部分，银河系宇宙线应来源于比普通恒星活动更剧烈的爆发过程，如超新星爆发、超新星遗迹、脉冲星等。宇宙线荷电粒子在空间传播时将受到星际磁场和行星际磁场的影响，但总体来看，宇宙线是各向同性的。极高能量的宇宙线粒子的传播和来源还存在很多疑点。研究宇宙线具有重大意义：由宇宙线中元素和同位素的丰度分布，可研究恒星晚期演化过程；由宇宙线中各种成分随时间的变化，可研究太阳系和银河系的磁场；分析宇宙线粒子轰击行星及行星际物质所产生的放射性同位素，可研究太阳系和银河系的历史；探测宇宙线中的中微子（其穿透力极强），可得到星体（行星、恒星、星系等）的核心的重要信息。因此宇宙线天文学已成为高能天体物理学中重要分支。

【引力理论】研究物质间的引力作用的理论。在现今人们已知道的物质的四种基本相互作用中，引力作用是一种远程作用，而且是最弱的作用，所以在研究微观世界中的基本粒子的运动时，引力往往可以忽略。但在天文上，由于研究对象的质量往往非常巨大，引力就成为支配天体运动、决定天体结构和演化的主要因素。

【引力收缩】在原始气体弥漫物质中存在着密度的随机涨落。当出现尺度足够大、密度比周围的高的区域时，由于自身引力的作用，收缩压力将大于内部的热压力，该区域的密度将进一步增大，最后将形成密度远高于周围的原始星云。大云块的原始星云由于同样的原因再次收缩，碎裂为若干小云块，形成恒星的前身，即星胚。星胚再逐渐演化为恒星。按照这种观点，太阳系、恒星，乃至星系都是由于引力收缩演变成的。

【弯曲空间】空间曲率不是处处为零的空间。初等平面几何所研究的对象是欧几里得空间，又称平直空间。球面则为一种弯曲空间。弯曲空间在天体物理中是很常见的，尤其是其中的黎曼空间。黎曼曲率 K 等于 1 的空间称为黎曼球空间； K 等于 -1 的称为罗巴切夫斯基空间； K 等于 0 的称为欧氏空间，即欧氏空间是黎曼空间的一个特例。从现代物理学的角度看，时空的弯曲性质是由物质的分布和运动决定的，也就是说，物质的分布和运动，实际上就是时空的变化。爱因斯坦的广义相对论非常清楚地阐明了时空与物质及其运动的关系。时空弯曲通常在非常强的引力场（如黑洞、白洞等）中，才非常明显，因此广义相对论在强引力场问题中应用极为普遍。

【空间曲率】表征某种给定空间相对于欧几里得空间的偏离程度的量。半径为 R 的球面是一种特殊的二维弯曲空间，其空间曲率为 $1/R$ 。对于一般的二维曲面可用高斯曲率来表示空间曲率。黎曼研究了更一般的空间，称为黎曼空间，用黎曼曲率 K 来表示其空间曲率。

【广义相对论的天文验证】通过天文现象和天文观测结果来验证广义相对论，是广义相对论中极为重要的工作，同时也是天文学中很有意义的课题。爱因斯坦在建立广义相对论后，提出了可从三方面来观测检测广义相对论的结论：（1）弱引力场中的效应；（2）宇宙学效应；（3）引力波效应。弱引力场中的效应主要是在太阳系内观测验证：（1）广义相对论预言从太阳表面发出的谱线和地球上的同样谱线相比将发生引力红移。观测结果与理论值相符很好。（2）广义相对论预言，当光线经过太阳引力场后，它的方向将发生偏折。利用日全食观测比较星的位置变化，或者观测射电源被太阳遮掩时的位置变化，便可验证光线偏折。（3）水星近日点进动问题的圆满解决，是广义相对论的成功预言之一。（4）广义相对论预言，当从地球向地内行星发射雷达信号，并接收其回波时，如果雷达波在太阳附近通过，则回波的时间比不在太阳附近通过的回波有所延迟。实验验证了该预言。广义相对论在宇宙学方面的预言是关于宇宙膨胀的理论。哈勃定律及诸多观测事实对该理论进行了有力支持。在引力效应方面的验证在 1978 年完成，是由两颗致密星构成的双星体系的射电脉冲星的公转周期有规律地变短与引力波辐射阻尼有关这个事实验证的。

【水星近日点进动问题】水星近日点在它的轨道平面上移动，每100年向前移动 $5601''$ ，而用牛顿力学只能得 $5558''$ ，差 $43''$ 无法解释。由牛顿万有引力定律计算得的水星近日点进动值与观测值之间的分歧，称为水星近日点进动问题。19世纪中叶，法国天文学家勒威耶发现水星近日点进动的观测值与用万有引力定律计算得的值每百年快 $38''$ ，并猜测可能有一个比水星更靠近太阳的水内行星吸引所致，但该猜测始终没有得到观测验证。后来纽康测定这个差值为 $43''$ ，并提出了自己的观点，但没有成功。19世纪末，电磁学理论发展的早期，韦伯、黎曼等人也曾试图用电磁理论来解释这个进动，仍没有满意的结果。1915年，爱因斯坦发表了著名的广义相对论，该理论成功地解释了水星近日点进动问题。

【引力场致光线偏转】见“引力红移”。

【引力红移】根据广义相对论，处在引力场中的辐射源发射的光，当从远离引力场的地方观测它时，将会发现光谱线会向长波方向移动。光谱线的这种移动称为引力红移。当光从强引力场传播到弱引力场时，会引起引力红移现象；反之，则引起蓝移（谱线向短波方向移动）现象。谱线的移动归因于引力场对谱线的作用。当发生红移时，是克服引力做功；当蓝移时，则是引力做功。这个理论可在地面定量测量验证。20世纪60年代，庞德和雷布卡等首先通过采用穆斯堡尔效应的实验方法，测出了自由下落光子的蓝移现象，实验结果与理论值完全相符。实际上，引力红移最初是在天体中，特别是白矮星中得到证实的。白矮星天狼B（它是天空最亮的恒星天狼A的伴星）是第一个被提出来对引力红移进行天文观测的对象。

【引力透镜】引力场对光有作用。如果引力场非常强，当从其他天体射来的光线穿过它时，会产生光线偏离，甚至光线会聚，此时引力场起着类似于凸透镜的作用。这种效应称为引力透镜。引力透镜已被天文观测所证实。引力场可改变天体像的强度分布，在天文观测和资料分析处理时，不应忘记引力透镜作用。

【引力坍缩】恒星演化到晚期的一种剧烈变化过程。恒星核心区经过氧燃烧的核反应阶段后，如果质量大于昌德拉塞卡极限，并由铁族元素构成时，它的等效多方指数 γ 接近临界值 $4/3$ ，恒星中心温度极高（约为 10^9K ），这时，各类中微子将产生，并把中心核的部分能量迅速带走，核心区很快冷却，以致辐射压力不足以抵抗自身引力，从而发生引力坍缩。在引力坍缩过程中，恒星的中心部分成为致密星。不同质量的恒星将形成不同类型的致密星。由于坍缩过程中出现强的激波，恒星外层的物质将被抛射，成为星际物质。在一些特殊条件下，坍缩过程并不一定产生物质抛射。

【黑洞】广义相对论预言的一种特殊天体。它的特点是外来的物质和辐射可以进入视界（即黑洞的边界）内，但视界内的任何物质都不能跑出来。根据广义相对论理论，一定质量的天体，在自身引力的作用下，当坍缩到它的引力半径（ $r_g = 2GM/C^2$ ，式中 G 为万有引力常数， M 为星体的总质量， C 为光速）范围内时，天体发射的任何粒子，甚至光线，都不能逃出引力半径范围，这时的天体就成了黑洞。形成黑洞之前的天体可以有各种不同属性，但当形成稳定的黑洞后，几乎所有属性都不能再被观测到。只需要用质量 M 、角动量 J 和电荷 Q ，便可完全表征黑洞的性质。当 J

$=0$, $Q=0$ 时, 为球对称的史瓦西黑洞; 当 $Q=0$ 时, 为轴对称的克尔黑洞。对于黑洞来说, 能量和动量在每一个物理过程中总是守恒的。同时, 黑洞的视界面积绝不会减少, 这正类似于热力学中的孤立体系熵不减原理。这两条规律称为黑洞物理第一定律和第二定律。理论研究表明, 黑洞具有一定温度。当考虑黑洞的量子效应后, 黑洞也会发射, 甚至有剧烈爆发。某些演化到晚期的恒星可能是黑洞的候选者; 有些星系或球状星团中心因发生大规模碰撞产生超大质量天体, 它们坍缩后会形成黑洞; 有些黑洞可能是原始的。黑洞是很难直接观测到的, 只能通过它导致的一些现象来推证。目前认为黑洞的最佳候选者之一是天鹅座 X—1。它所发射的 X 射线没有规则、但有短时标脉动涨落。人们还普遍认为活动星系核的中心为黑洞。比如, 观测表明在室女座 M87 的核心可能有质量约 $10^9 M_{\odot}$ 的超大质量黑洞。因为它的核心处有异常的亮度分布和光度变化, 有大“蓝包”, 弥散速度也较大, 这正好可用黑洞理论来解释。

【视界】黑洞的边界。对于经典黑洞而言, 黑洞外的物质和辐射可以通过视界进入黑洞内部, 而黑洞内的任何物质和辐射均不能穿出视界, 因此又称视界为单向膜。视界并不是物质面, 它表示外部观测者从物理意义上看, 除了能知它(指视界)所包含的总质量、总电荷等基本参量外, 其他一无所知。球状黑洞的视界是以引力半径值(即史瓦西半径 $r_g = \frac{2GM}{C^2}$, 式中 G 为引力常数, M 为黑洞质量, C 为光速)为径向半径的。对于有旋转运动的黑洞(克尔黑洞), 视界的径向坐标则不同于史瓦西半径。

【吸积】天体以自身的引力把周围空间中的气体、尘埃等物质不断吸引并积聚起来的过程。如果被吸积的介质没有足够的角动量,则它会沿径向运动,导致球对称吸积;反之,则为盘吸积,形成吸积盘。吸积现象在天体物理中是很普遍的。如在双星体系中,主星在演化过程中的某些阶段会向外发射物质流,这就使伴星周围的物质密度比星际的平均值要高得多,吸积现象也就比较明显。吸积是一种非常重要的天体物理过程,它会释放很高能量。例如,当物质落入很陡的中子星或黑洞的引力势阱中时,被吸积物质的约10%的静止质量能可以转化为辐射能。

【吸积盘】致密天体因引力作用俘获周围运动介质,在致密天体周围形成的盘状物。吸积盘上的物质沿着螺旋轨道向星体表面旋进。由于盘中介质的粘滞作用,越往里,物质密度越大,同时向外转移角动量并释放能量。为了研究方便,把吸积盘分为厚盘和薄盘:当盘的半径远远大于盘的厚度时,为薄盘;当盘的厚度与盘的半径相比,不可忽略时,为厚盘。吸积盘的物质成分主要是等离子体。现在,在研究吸积盘时,往往还考虑盘中磁场的影响。除了致密天体外,活动星系及活动星系核也有吸积盘。吸积盘的具体性质主要由中心天体及盘的原始物理特性决定。目前,有些天体的高光度变化,X射线辐射,射电辐射等高能现象的机制,用吸积盘模型来解释是很有效的。

【黑洞的发射】弯曲空间中的一种量子效应。黑洞的辐射在经典物理学中是不可能的,但在量子物理学中却是可能的。霍金在这方面进行了卓有成效的研究。在量子力学中,真空被所谓虚粒子对充满着,这些虚粒子对自发地产生和消灭。每一对由一个粒子和

它的反粒子组成。黑洞可捕获粒子对中的两种成份，也可以仅捕获其中的一种。若其中具有负能（相对于无限远观测者而言）的一个粒子进入黑洞，则另一个具有正能的粒子就会远离黑洞，从而形成黑洞的发射。若黑洞有净发射，则必须有宏观引力场的初态和终态不一样这个条件，即黑洞必须由引力坍缩形成。理论研究表明，大质量黑洞的发射温度很低，发射过程中黑洞质量缓慢减少，相当于一种蒸发过程；小质量黑洞，温度很高，发射强度很大，类似于一种爆发。

【奇点】指时空度规张量中的奇点。在奇点处时空性质表现出某种奇异性。奇点分为本性奇点（内禀奇点）和坐标奇点。坐标奇点可以通过坐标变换加以消除。而本性奇点则不能。天体物理学家霍金指出，只要物性不太特别，则由广义相对论场方程得到的解必定含有奇点。

【白洞】广义相对论预言的一种具有与黑洞相反性质的特殊天体。它仅是一种理论假想，还没有观测证据。白洞内部的物质，只能经过边界向外运动，但不能反向运动。也就是说，白洞可以向外部区域提供物质和能量，但不能吸收外部世界的物质和能量。白洞是强的喷射源。白洞的喷射将会导致许多高能现象。比如 X 射线、宇宙线、射电爆发、射电双源等现象就与白洞有关。有人猜想类星体中心是个白洞。白洞也是一个强引力源，它可以把周围物质吸积到边界上形成物质层。但物质层的物质和能量则不能继续往里运动了。

【致密星】恒星核能耗尽后，经引力坍缩而形成的星体。可以认为

致密星是恒星演化的终结阶段。致密星与正常星相比，有高密度、高压特征。致密星不再燃烧核燃料，因此不能靠产生的热压力来支持自身的引力坍缩。致密星主要有三种类型：（1）依靠简并电子压力与引力平衡形成的星体，即简并矮星。白矮星就是其中一种，其物质密度约为 $10^5\text{—}10^8$ 克/厘米³，可由光学望远镜直接观测到。对于无转动的星体，简并矮星的质量上限为 $1.44M_{\odot}$ ，即昌德拉塞卡极限。（2）依靠简并中子的压力与引力平衡形成的星体，称为中子星，其物质密度为 $10^{13}\text{—}10^{16}$ 克/厘米³。脉冲星就是一种中子星。中子星的质量上限约为 $2M_{\odot}$ ，即奥本海默极限。（3）黑洞。一般认为质量大于 $3.2M_{\odot}$ 的无转动星体，将会坍缩为黑洞。观测表明，天鹅座 X—1 可能是一个黑洞。

对致密星的深入研究需要对物质结构和物质相互作用（四种基本相互作用）进行深入研究。由于涉及强引力场，广义相对论在对致密星的研究中占有极为重要的位置。

【超密态物质】在极高压力下具有极高密度的物质，致密星和大爆炸以前的物质均属此类物质。当物质密度 ρ 大于 500 克/厘米³，电子已不能为个别原子核所束缚，而成为在所有原子核的正电荷背景上自由运动的电子气。白矮星就是由简并电子气压力与自引力相平衡而形成的一种致密星，其密度约为 $10^5\text{—}10^8$ 克/厘米³。当物质密度极高，甚至大于 10^{11} 克/厘米³ 时，原子核将释放一个中微子，质子变为中子即核中子化，物质将进入简并中子气状态。简并中子气压力与自引力相平衡形成中子星。中子星的密度约为 $10^{13}\text{—}10^{16}$ 克/厘米³。如果物质密度还要高，这时物质将处于一种超子混合态。至于大爆炸前的物质的具体物理性质，现在还不太清楚。

【昌德拉塞卡极限】简并矮星的质量上限。根据白矮星简并电子压力和引力平衡决定,20 世纪 30 年代,美国天体物理学家昌德拉塞卡利用完全简并的电子气体的物态方程以及牛顿引力理论中的无转动球对称星体的结构方程,建立了白矮星的模型,导出了白矮星的质量上限 M_c 约为 $1.44M_c$,即昌德拉塞卡极限。当星体的质量小于 $M_\odot$ 时,能演变为稳定的、平衡的白矮星;反之,就不能演变为稳定的白矮星。

【奥本海默极限】稳定中子星的质量上限。奥本海默和沃尔科夫等在 1939 年首先讨论了简并中子态物质构成的致密星体。他们假定中子星的物质是由高密无相互作用的理想中子气组成。中子星的引力和简并中子压力二者相平衡。奥本海默等利用结构方程和物态方程证明存在一个临界质量 M_c 约为 $0.75M_\odot$,当星体的质量小于 M_c 时,存在稳定的平衡解;反之,没有稳定的平衡解。中子星的质量上限 M_c 就是奥本海默极限。一颗演化到晚期的星体,如果质量大于奥本海默极限,则不可能成为稳定的中子星,它可能坍缩为黑洞或介于中子星和黑洞之间的其他类型致密星。当星体质量小于奥本海默极限时,则能演变为稳定的中子星。奥本海默极限依赖于中子物态方程,由于非常高密情况下的物态方程尚未确定,奥本海默极限也没有确定,一般取 $2M_\odot$ 。

【引力波】以波动形式和有限速度传播的引力场。爱因斯坦于 1916 年预言了引力波的存在,他提出的引力波与参考坐标有关。1956 年,皮拉尼提出了一个与坐标选取无关的引力波定义。之后的几年中,邦迪、皮拉尼等对引力波进行了深入研究。广义相对论预

言，引力波也是以光速传播（在真空中）的横波，它的辐射强度极弱，但携带着能量及与波源有关的信息，静止物质在引力波脉冲作用下会产生运动；引力波的穿透性极好，物质对它的吸收效率极低；引力波的偏振特性为两个独立的偏振态。大质量天体的剧烈活动可发射出强引力波。例如，双星体系公转、中子星自转、超新星爆发及黑洞的各种过程，都能辐射较强的引力波。正因为如此，可以通过对双星体系公转周期变化、轨道参数变化等的观测，间接验证引力波的存在。直接验证引力波存在的办法是根据引力波携带能量，当穿过物体时会使物体产生运动。因此，可用一定质量的物体作天线，直接接收引力波。这种方法需要的测量环境、仪器材料都非常严格，对仪器的灵敏度要求也极高。通过对引力波的探测及研究可以得知引力源的一些特性，这些特性也许用其他手段是无法得知的，因此引力波的检验及理论研究都非常引人注目。

【中子星】 主要由简并中子组成的致密星。中子于 1932 年被发现后，前苏联科学家朗道就提出可能存在由中子组成的天体。巴德和兹威基在 1934 年分别提出了中子星的概念。1939 年奥本海默和沃尔科夫建立了第一个中子星模型。1967 年英国射电天文学家休伊什和贝尔等发现了某些天体的奇怪的“灯塔效应”，后来称之为脉冲星。脉冲星是快速自转的有强磁场的中子星。中子星的简单结构为：外壳为固体壳，主要由各种原子核构成的点阵结构和简并的自由电子气组成，密度约为 10^{11} — 10^{14} 克/厘米³；再往里的中间一层主要由电子流体，以及质子、电子和 μ 介子构成，密度约为 10^{14} — 10^{15} 克/厘米³；中子星的内部一般认为由固态的中子核子、超子流体或中子流体中的 π 介子凝聚组成，密度极高，达到

10^{16} 克/厘米³；中子星的核心状况如何，仍没有完全解决。一般认为，某些恒星内部发生极其激烈的核爆炸，随后又急剧收缩，恒星内部将产生极大压力，把原子的外层电子挤到原子核中，形成异常紧密的中子结构星体，即中子星。中子星的质量下限为 $0.1M_{\odot}$ ($M_{\odot}$ 为 1 个太阳质量)，上限为 $1.5-2M_{\odot}$ ，其半径一般认为 10 公里。

天 体 演 化

【太阳系近圆性、同向性、共面性】在太阳系中，除了太阳以外，太阳系主要成员是九大行星。九大行星都在接近同一平面的近圆形轨道上，朝同一方向绕太阳公转。九大行星的轨道偏心率都较小（仅水星和冥王星稍大），所以其轨道几乎呈圆形，但不是正圆，而是偏心率较小的椭圆，此即近圆性。大行星均朝着同一方向即由西向东绕太阳公转，太阳也朝同一方向自转，此即同向性。大行星对黄道面的轨道平面倾角一般比较小，其中只有水星和冥王星略大些，即九大行星的轨道平面接近于同一平面，此即共面性。各行星轨道不是完全共面的，而是对不变平面有较小的倾角。

【月球的起源和演化】关于月球是如何形成的，有许多学说，其中主要的有三种：（1）俘获说。认为月球可能是在地球轨道附近运行的一个小行星，后来被地球俘获而成为地球的卫星。因为月球与地球的平均密度、化学成分相差很大，而且与陨石、小行星的

平均密度十分接近。(2) 分裂说。认为太阳系形成初期，地球与月球本是一个整体，那时地球处于熔融状态，自转非常快，而太阳对地球潮汐作用的周期与地球自由摆动周期恰好相等，于是产生共振，使地球在赤道面上形成一串细长膨胀体，终于分裂成月球。但据计算，地月系统现有角动量总和加上时间损耗也不足以使之分裂，且月球也不在地球赤道面上。(3) 同源说。认为地球和月球是由同一块行星尘埃云所形成。它们的平均密度和化学成分不同，是由于原始星云中的金属粒子在形成行星之前早已凝聚。地球形成是以铁作为核心，而月球是在地球形成之后，由残余在地球周围的非金属物质聚集而成。这 3 种假说都能或多或少地解释月球的一些基本事实，但哪种更合理，目前尚无定论。据研究，整个月球曾发生过多次数局部熔融。在月球形成初期，其大部分温度曾达到 1000°C 。距今 41 亿年前，曾发生过一次较大规模的岩浆运动，形成了斜长岩成分的月亮，残留部分成为月表的高地。约 40 亿年前形成了富含放射性元素、难熔元素的非月海玄武岩。距今 41—39 亿年前，月球较集中地受到各种大陨石撞击，出现许多月海盆地。31 亿年以来，月球内部演化已处“停滞”状态，外力作用主导了月球的演化。

【太阳系起源和演化】自 1755 年康德提出了第一个太阳系起源的星云说以来，太阳系起源的学说已有 40 多种，但其中还没有一种学说是比较完整的和被普遍接受的。太阳系起源首先要说明的一个基本问题就是行星的物质来源。对此可将各种学说分成三类：(1) 灾变说或分出说。认为行星物质是因某一偶然的巨变事件从太阳中分出的，如因一颗恒星走近或碰到太阳，或因太阳爆发抛出大量物质，后来形成行星。(2) 俘获说。认为太阳从恒星际空

间俘获物质，形成原始星云，之后演变成行星。(3) 共同形成说，认为整个太阳系所有天体都是由一个原始星云形成的，星云中心部分的物质形成了太阳，外围部分的物质形成行星等天体。这三类中每一类又都有几种学说，各自特点亦不尽相同。另外一个要说明的基本问题就是行星的形成方式。对此大致有五种看法：(1) 先形成湍涡流的规则排列，在次级涡流中形成行星。(2) 先凝聚成大小不一的固体块——星子，星子再聚集形成行星。(3) 先形成环体，然后由环体形成行星。(4) 先形成很大的原行星，原行星演化成行星。(5) 先形成中介天体，由中介天体结合成行星。随着太阳系物理学的迅速发展，有关太阳系起源的研究，现已进入定性、系统研究阶段。虽然学说仍很多，但已有许多共识：(1) 太阳系的年龄为 50—46 亿年，地球和月球约在 46 亿年前形成。(2) 大行星轨道基本稳定，从 20 亿年前到现在没有很大改变，而小天体（小行星、彗星、流星体）的轨道则发生了较大的变化。(3) 小天体形成以来变质过程较少，保留了许多形成时的信息。它们形成时的温度为 400—500K，形成时间为几百到几千万年。(4) 原始星云的化学组成最初是较均一的，后来才发生化学分馏，导致各行星化学组成的差异。(5) 星云盘内的固体颗粒先沉降到赤道面，形成尘层，然后才随密度增加在尘层内形成星子。(6) 太阳系角动量的特殊分布是太阳磁场通过磁耦合机制和沙兹曼机制使太阳角动量转移造成的。(7) 研究太阳系起源，必须通过动力学、原子过程、化学过程、电磁和等离子体过程等的综合研究，才能解决这一难题。

【星云说】 关于太阳系起源的一类学说。康德和拉普拉斯各自于 1755 年和 1796 年提出关于太阳系起源的星云学说。这是最早的

科学的天体演化学说。康德认为，形成太阳系的这团原始星云是由大小不等的固体颗粒组成的，万有引力使微粒相互接近，大微粒把小微粒吸引过去凝成较大的团块，引力最强的中心部分吸引的物质最多，先形成太阳。外围的微粒在太阳吸引下向中心体接近时，与其它微粒碰撞改变方向，变成绕太阳的圆围运动，这些微粒又各自逐渐形成几个引力中心，并凝聚成行星。拉普拉斯认为，这团星云是一团巨大的、炽热的、转动着的气体，大致呈球状。由于冷却，星云逐渐收缩。在中心引力和离心力共同作用下，星云变为扁平盘状。在离心力与引力相等时，就不断有部分物质留下形成一个个绕中心转动的环。星云中心形成太阳，各环凝聚成各个行星。星云说否定了牛顿神秘的“第一推动力”，首先提出了自然界是不断发展的辩证观点。目前认为，虽然星云说在科学上有不少缺点和错误，但其基本思想还是正确的。

【俘获说】太阳系起源学说的一种。这种学说认为构成行星和卫星的物质是太阳形成后从太阳邻近区域俘获来的。前苏联科学家施米特 1944 年提出的陨星说认为，太阳在运行中穿过一个星际云，俘获了 3% 太阳质量的星际物质，这些物质逐渐形成行星和卫星。还有一些人，如爱尔兰的埃奇沃思、英国的彭德雷和威廉斯以及印度的米特拉等，提出了其他类型的俘获说，但在描述的图像和处理的方法上存在着很大差别。提出俘获说的一个主要出发点是为了说明太阳系角动量的异常分布，但计算表明，俘获的概率是极微小的，而且仍无法解释不变平面及大到 62° 的交角等问题。

【灾变说】太阳系起源学说的一种。这种学说认为太阳系的形成是宇宙中某种偶然的巨大事件的结果。法国动物学家布丰于 1745 年

首次提出灾变说。他设想曾有一巨大彗星掠碰到固态太阳边缘,使太阳自转,同时碰出一些物质形成行星。美国地质学家张伯伦于1900年提出了星子说。此学说设想有一恒星运行到离太阳几百万公里的地方,在太阳正、反面掀起两股巨大的潮,抛出物质的聚合成行星。英国天文学家金斯于1916年提出了著名的潮汐说,假定一巨大恒星接近太阳时在太阳表面产生潮汐隆起物,正面隆起物相当大并逐渐脱离,形成长条,进而集结成各个行星。此后还有所谓碰撞说、双星说、超新星说等。灾变说中的偶然因素是其主要弱点,它们也不能解释太阳系角动量的特殊分布等问题。这些学说已基本上被否定了。

【其他关于太阳系演化的学说】除了星云说、俘获说、灾变说等太阳系演化学说外,还有德国物理学家魏茨泽克于1944年提出的旋涡说,美国天文学家柯伊伯于1949年提出的原行星说,瑞典磁流体力学家阿尔文于40年代提出的电磁说。美国化学家尤里、英国天文学家麦克雷、法国天文学家沙兹曼等都曾提出过一些具体理论,解释太阳系演化机制。沙兹曼、美国的卡梅伦、前苏联的萨夫龙诺夫、日本的林忠四朗和英国的霍伊尔等人的新星云说,都曾较细致地论述了行星的形成问题。

【恒星的演化】恒星形成后的演变、发展和变化。一般认为恒星是由低密度的星际物质凝缩而成的。首先,星云经历了快收缩阶段,由热运动形成的向外的压力远远抵不住向内的引力,物质急速内聚,半径缩小到约原星云的百万分之一,平均密度增加 10^{16} 倍以上。此后,当星云内的向内引力几乎和向外压力相等,处于所谓准流体平衡状态时,星云进入慢收缩阶段。待其中心温度升到700

万度以上，氢聚变为氦的热核反应产生足够的热量与向外辐射的热量相当，星云便不再收缩，达到流体平衡状态，成为一颗正常的恒星，称为主序星。恒星停留在主星序阶段的时间可根据恒星内部结构理论推算出来。爱因斯坦在 20 世纪初提出质量和能量之间的关系；30 年代末，贝特和魏茨泽克提出了氢聚变为氦的碳氮循环的热核反应理论。由这些理论我们知道，在恒星中心部分氢聚变为氦的过程中，当氦的质量约占恒星总质量的 12% 时，恒星的结构就发生明显变化，开始离开主星序。此外，因主序星符合质光关系，即恒星的光度和质量的 3 次方成正比，所以大质量的恒星中氢的消耗相对要快得多，其中心部分氦的质量很快就达到恒星总质量的 12%，故比小质量恒星在主星序上停留的时间远为短促。一般高光度、大质量的 O、B 型星停留在主星序上只有几百万年、几千万年，而低光度、小质量的 M、K 型星停留在主星序上可达几千亿年、几万亿年之久。太阳为 G 型，能停留在主星序上约 100 亿年，到目前已停留了约 50 亿年。恒星脱离主星序后在赫罗图表现为向右演化，不同质量的恒星将经历不同的演化程（即演变的途径）。质量大的恒星，如 $5M_{\odot}$ 、 $7M_{\odot}$ 和 $9M_{\odot}$ 恒星的演化程是从左向右演变到红巨星，此后再向左移，在离主星序不同距离处，又沿不同演化程回到右方，这样可以来回几次，但并不重复上次的演化程。它们来回移动时跨过赫罗图中主星序和红巨星之间的一条不稳定区狭带，当恒星进入此区域时就表现出脉动不稳定性，此区域即为造父变星的区域。质量小于 $1.5M_{\odot}$ 的恒星则表现出截然不同于上述恒星的演化程。当恒星向右一直演化到红巨星支的顶点 F 时，自 F 点向 G 点下落，再从 G 点向左移动，在到达主星序之前，又折回向右，绕行一个很扁的水平圈。这个水平圈的轨迹对应于由星族 II 恒星组成的球状星团赫罗图中有特

征性的水平支。水平支上的不稳定区域是著名的天琴座 RR 型变星的位置。60 年代以来应用大型快速电子计算机进行研究,已获得很多成果,但至今计算不完善,未考虑磁场和自转,数据也不足,理论也过于简化。对恒星的结局,目前的理论认为,随质量不同,恒星可能演化成白矮星、中子星和黑洞。

【球状体】一种小型而密度较大的球状暗星云,是银河星云的一种,又称作巴纳德天体。它是在亮星云背景上出现的圆形黑暗物体。1946 年发现,至今已有数百个。直径为 10^3 — 10^5 天文单位,质量约 0.1—750 个太阳质量,温度约 7—15K。据估计,银河系中较大的球状体有 2 万多个。球状体的密度与体积介于恒星和星云之间,有人认为它是一些正处在引力收缩阶段的原恒星;但也有人认为球状体的尘气比例过大,不符合形成恒星原材料的要求,且密度太小,不足以产生引力收缩。据观测,在人马座内的星云 M_8 背景上的球状体特别多。

【赫比格—阿罗天体】一种形状为半星半云的、并拥有独特发射光谱的特殊天体。这是赫比格于 1948 年和阿罗于 1950 年首先发现的,故名。因两人姓氏的第一个字母都是 H,故简称 H—H 天体。其特征是由单个或多个星云块组成,有以巴耳末线、电离硫和氧为主的低激发光谱,有很弱的连续谱发射,只出现在暗云复合体中。现已确认它们不是早先认为的处于恒星演化早期阶段的天体。

【红外星】光谱中主要的能量位于红外区的恒星。美籍中国天文学家黄授书 1961 年就预言了这种天体的存在。1965 年开始,利用电导探测器和红外滤光器,终于在电离氢区和星云中找到了红外星。

辐射波长为 0.77—1000 微米。红外星的主要特点是表面温度低，只有几百摄氏度，是迄今所知温度最低的恒星；而且体积很大，半径为太阳的几十至几千倍。这种星一部分是年轻的正在形成中的恒星，它们正处于引力收缩阶段，其寿命取决于原恒星的质量，质量越大，寿命越短。另一部分是年老的走向死亡的演星，它们的氢燃烧殆尽，由于核心收缩释放能量，处于膨胀阶段。相当多的红外星是晚型星。红外星在天体演化学中占有重要的位置。

【原恒星】恒星演化过程中处于极早期阶段的天体。通常把正处在引力收缩阶段的浓密星际物质云叫作原恒星。前苏联的阿姆巴楚米扬认为原恒星是形成恒星的星前物质，具有较小的体积和很大的密度，估计质量为太阳的几百到几千倍。原恒星经过几千万年到几亿年的收缩，真正成为恒星。演化的快慢，取决于原恒星的质量。质量越大，光度也大，演化快，到达主序星的时间较短。不少人认为赫比格—阿罗天体、金牛座 T 型变星、耀星以及一些红外星是原恒星的不同演化阶段或不同形态。因此，原恒星还被称作星胎、胚胎星。

【恒星的早期演化】处于主星序阶段的恒星，其中心部分的热核反应产生的能量与向外辐射的能量相当，恒星处于相对稳定阶段。随着热核反应的继续，恒星中心部分形成对流核心，且氢的含量逐渐减少。当恒星中心对流核心的氢含量消耗到只有 1—2% 时，由于热核反应的能量供应不足，恒星整体就开始收缩。质量在 $2.5-10M_{\odot}$ 的恒星，因收缩而使紧贴对流核心外面的薄层开始热核反应，这时外层温度增高，使星体膨胀起来。质量大于 $10M_{\odot}$ 的恒星可以引起三个氦核聚变成碳核的热核反应。质量小于 $1.5M_{\odot}$ 的恒

星，因相对中心温度低、密度大，电子成为简并态，中心部分收缩不象大质量恒星那样厉害；而且其热核反应中，质子—质子反应取代碳氮循环，成为主要能源。质量在 $2.5—10M_{\odot}$ 的恒星，当演变到红巨星顶端、光度最大、中心温度达 1 亿度时，才会发生三氦聚变为碳核的热核反应。质量小于 $1.5M_{\odot}$ 的恒星演化到达红巨星支的顶点时，中心温度高于 1 亿度，三氦聚变为碳核的热核反应成为可能，此时中心部分的电子简并态回到非简并态，然后膨胀、吸热，中心氦核开始稳定的燃烧。

【恒星的晚期演化】恒星进入演化的后期，星体结构趋于复杂，变化趋于更加剧烈。随着恒星内部温度的升高，氦、碳、氧等核子先后参与热核反应，这些反应十分剧烈。与恒星演化早期不同的是，刚离开主星序的恒星两个相继星型的时间间隔可以取近亿年，而在红巨星顶端 F 处，必须取 2 秒作为时间间隔来计算。可见演变的快慢是非常悬殊的。恒星的归宿是在赫罗图上主星序的左面。从主星序极右方的红巨星或超红巨星演变到其末态，一般要抛失质量，甚至要像新星、超新星那样大爆发。理论分析认为，恒星演化末期将出现 3 类天体：白矮星、中子星和黑洞，具体是哪一类，视质量而定。恒星在核能耗尽后，如它的质量小于 $1.44M_{\odot}$ ，就将成为白矮星，估计此类星占恒星总数的 $1/10$ 左右；如它的质量在 $1.44—2M_{\odot}$ 之间，就将成为中子星；如它的质量超过 $2M_{\odot}$ ，就形成黑洞，其半径不超过 5.2 公里，其引力之大足以使一切粒子，包括光子都不能外逸。

【星系的演化】研究星系作为一个整体在形成后的变化规律。星系

的哈勃分类推出后，不少人认为它具有演化意义。但现在知道，椭圆星系和旋涡星系中都有老年星，且年龄相差不多，质量、扁度等量上的差别表明，各种类型星系不能相互转化。各类星系是独立演化的。星系演化的方式和形态的不同，取决于星系形成时的初始条件（如密度、速度弥散度、角动量分布、温度、湍流、磁场等）。一般认为，原始星系云在收缩过程中出现第一代恒星。在原星系的中心区，收缩快，密度高，恒星形成率也高，同时形成旋涡星系的星系核或椭圆星系整体。星系在自转离心力等因素的作用下，部分气体未聚合为星胚，并因碰撞而沉向赤道面，成为旋涡星系和不规则星系。在几亿年间，原星系形成为年轻星系，此后百亿年中一般星系演变十分缓慢。

【奥伯斯佯谬】1826年德国天文学家奥伯斯指出：若宇宙中存在无限多个均匀分布的不动的恒星，则整个天空将是无限亮的，但实际夜空是黑暗的。理论与观测之间的这种矛盾就叫作奥伯斯佯谬，也称为光度佯谬。即使考虑星际消光以及每颗星对它后面的星光的遮挡效应，天空亮度仍相当于布满普通亮度恒星的球面那么亮，还是比白昼亮得多。现在一般用膨胀宇宙模型来解释，即膨胀宇宙中遥远天体的红移接近无限大，所发出的光子到达地球时的能量已接近零，所以不会发生奥伯斯佯谬。这个矛盾是考虑宇宙大尺度性质时提出的，标志着科学宇宙学萌芽的出现。

天文机构·天文教育

【天文台】天文观测和天文研究机构。拥有各种类型的天文望远镜和测量计算的仪器,在进行观测的同时,处理分析观测的数据,进行天文学的研究。按工作的特性和设备状况,天文台可以分为:(1)光学天文台:一般装备有光学望远镜,从事方位天文学或天体物理等方面的观测研究工作;(2)射电天文台:进行射电天文研究的天文台,装备有射电望远镜;(3)空间天文台:设置在大气层外的空间天文台,因不受大气的干扰,有较大的优越性,有利于多波段的观测。世界上最早的天文台是在公元前 2600 年埃及建立的天文台。1609 年天文望远镜发明以后,在欧洲逐渐建立了一些天文台,如 1667 年在法国建立的巴黎天文台和在 1675 年建立的著名的格林尼治天文台。当时这些天文台主要是从事天体测量和天体力学方面的研究。随着天体物理学的迅速发展,很多天文台都在建造大型的反射望远镜,并选择条件最佳的台址。中国的最古的天文台如河南偃师的古天文台遗迹洛阳灵台。在 1949 年以前,中国只有南京紫金山天文台和几个观测站,现在,除紫金山天文台外,还有北京天文台、上海天文台、陕西天文台、云南天文台、台北市立天文台以及一些观测站。另有几所大学也设有教学天文台。

【紫金山天文台】中国科学院下属的天文研究机构。1934 年建成,

当时称为中央研究院天文研究所。中华人民共和国成立后，于1950年改称为中国科学院紫金山天文台。台部设在南京市鼓楼，观测基地位于南京城外东北的紫金山上，地理位置为东经 $118^{\circ}49'$ ，北纬 $32^{\circ}04'$ ，海拔 267 米。主要设备有 60 厘米反射望远镜、14 厘米色球望远镜、太阳光谱仪、40 厘米双筒折射望远镜、43 厘米施密特望远镜、光电中星仪和太阳射电望远镜等。主要从事于空间天文、射电、人造卫星、太阳物理、恒星物理、理论天文、行星、时间、纬度、历算等方面的研究。出版物有《紫金山天文台台刊》、《中国天文年历》等。

【北京天文台】中国科学院下属的天文研究机构，是以研究天体物理为主的综合性天文台。1958 年建台，本部在北京市中关村，下设 4 个观测站，分别在北京沙河、怀柔、密云县、河北兴隆县。兴隆观测站位于东经 $117^{\circ}30'$ ，北纬 $40^{\circ}24'$ ，海拔约 980 米，主要侧重于天体物理的研究工作，有东亚口径最大的 2.16 米反射望远镜，望远镜配有先进的 CCD 探测系统和光纤探测系统，极限星等可以达到 21.5 等；有 1.26 米红外望远镜、60 厘米卡塞格林反射望远镜、60/90 厘米施密特望远镜和 80 厘米光学折射望远镜等，主要开展恒星物理、河外天体物理以及观测宇宙学方面的研究。密云观测站位于东经 $117^{\circ}30'$ ，北纬 $40^{\circ}24'$ ，是射电天文的观测基地。有由 28 面 9 米口径天线组成的米波综合孔径射电望远镜，主要从事太阳射电、宇宙射电和射电技术的研究工作。怀柔观测站在北京怀柔水库中心，是太阳物理的观测基地，主要从事太阳物理研究，现配有国际领先的太阳磁场望远镜。沙河观测站位于东经 $116^{\circ}20'$ ，北纬 $40^{\circ}06'$ ，是一个多学科性的天文观测与研究基地，配有太阳望远镜、太阳闪光光谱观测仪、Ⅱ型光电等高仪、光

电中星仪、光电等高仪、光学跟踪经纬仪、人造卫星激光测距仪，还有氢、铯原子钟等设备，工作主要侧重于世界时、地球自转和人造卫星运动的观测和研究以及太阳活动预报等。世界数据中心天文分中心中国中心设在北京天文台，提供天文数据服务。

【上海天文台】中国科学院下属的天文研究机构之一，位于上海市区西南徐家汇，在上海市松江县佘山有一个工作站。徐家汇观象台北纬 $31^{\circ}12'$ ，东经 $121^{\circ}26'$ 是 1872 年由法国天主教会建立的；佘山观象台北纬 $31^{\circ}06'$ ，东经 $121^{\circ}11'$ ，1900 年由耶稣教会建立。1950 年中国政府接管了两台，隶属紫金山天文台，1962 年合并扩充以后称为上海天文台。主要的仪器设备有光电棱镜等高仪、光电中星仪、40 厘米双筒折射望远镜、1.56 米天体测量望远镜、氢钟、色钟等。主要从事天体测量学学科的研究，开展时间、频率、纬度、地球自转、照相天体定位、恒星星系演化、红外天文等方面的研究工作，主要以天文地球动力学为重点，出版物有《上海天文台年刊》、《授时公报》、《天文学进展》等。

【云南天文台】中国科学院下属的天文研究机构之一。1975 年起由原来的紫金山天文台昆明工作站扩建为综合性的天文台。位于云南昆明市东郊的凤凰山上。北纬 $25^{\circ}02'$ ，东经 $102^{\circ}45'$ ，海拔 2020 米。主要设备有 1 米反射望远镜、14 厘米色球望远镜、定天镜为 40 厘米的太阳摄谱仪、15 厘米光学跟踪经纬仪、50 厘米天文大地测量自动照相机及附加的人造卫星激光测距仪、人造卫星激光测速仪、光电等高仪、光电中星仪、厘米波射电望远镜等。主要从事太阳活动区物理、太阳射电、人造卫星运动、恒星物理、时间、纬度等方面的观测和研究。出版物有《云南天文台台刊》等。

【陕西天文台】中国科学院下属的天文研究机构之一。1966 年筹建，位置在陕西省西安市东郊临潼县，北纬 $34^{\circ}57'$ ，东经 $109^{\circ}33'$ ，海拔 497 米，在其本部附近还设有天文观测站和长、短波授时发播台。主要仪器有铯钟、氢钟、光电等高仪、光电中星仪、人造卫星多普勒测速仪等。主要从事时间、频率和天体测量学方面的工作，开展世界时、纬度、原子时、高精度时间同步、天文常数和星表等方面的研究。常年以短波呼号 BPM 和长波呼号 BPL 向世界发播时间频率信号，还以卫星、电视、通讯广播等方式提供时间服务。出版有《陕西天文台台刊》。

【台北市立天文台】1938 年建于台湾省台北市圆山。主要从事太阳黑子、日珥、日月食、月掩星、行星、小行星、彗星、流星、流星雨和变星等方面的研究。主要设备有 41 厘米反射望远镜、25 厘米和 12.5 厘米折射望远镜、12.5 厘米天体照相机、水平式太阳望远镜、双筒彗星搜索望远镜等。该台还设有进行天文科学普及工作的天象厅，圆顶直径为 16 米。

【中国的天文观测站及人造卫星观测站】在中国大陆，除了天文台及其下属的天文观测站外，与天文有关的观测研究机构主要有：长春人造卫星观测站、乌鲁木齐人造卫星观测站、广州人造卫星观测站、武昌时辰站等。还有值得一提的是北京天文台下属的天津纬度站。在 20 世纪 50 年代，国际联合在地球北纬 39° 纬圈上设立地球纬度观测站，对纬度变化进行系统观测、研究，之后这些站的工作重点转向极移服务。中国也在天津设立了站，该站在纬度测量等方面做了许多工作。随着天体测量新技术的发展，经典技

术已不再适用了，现天津纬度站挂靠在北京天文台下，进行着各方面工作。中国的天文观测站及人造卫星观测站为中国的天文学事业的发展做出了很大贡献，同时为中国的国防、气象及其他科技事业的发展也做出了重要贡献。

【天文年历】刊载一年中天象和天体坐标的表册。主要内容有日、月、大行星和上千颗基本恒星在一年中不同时刻的位置，日月食、月掩星、行星动态、日月出没和晨昏蒙影的天象资料，进行天体各种坐标之间换算的有关数据和辅助用表等。主要供天体测量、大地测量和天体物理学的观测和计算使用。早期的天文年历主要是为了航海时测定船位而编算出版的，与航空天文年历一同出版，现在已经单独出版。中国 1966 年由紫金山天文台独立编算出 1969—1970 年的天文年历，以后每年正式出版《中国天文年历》。

【国际天文学联合会】1919 年 7 月在布鲁塞尔成立的由世界各国天文学术团体联合组成的非政府性的学术组织，宗旨是通过国际合作，促进天文学的发展。到 1990 年有会员国 58 个，会员 7000 多人。国际天文学联合会每年召开若干次专题讨论会和座谈会；每 3 年召开一次大会，以促进学术交流，同时改选负责人员。联合会设立执行委员会，有主席一人，副主席 6 人，秘书长一人。下设专业组若干，第 20 届联合会设置专业组 41 个。各专业组分别组织各种学术活动，联合会还同其他学术组织联合举行各种学术会议。国际天文学联合会的出版物有：《大会会议录》、《天文学进展特辑》和定期刊物《联合会通讯》。还有卡片式的天象报告《国际天文学联合会快报》和《天文电报》等。

【中国天文学会】中国天文学者的群众性学术团体。1915 年筹建，1922 年在北京成立。第一任会长高鲁。它的任务是组织学术活动，开展国际学术交流。1949 年举行了学术年会和理事会。现在它是中国科学技术协会所属的一个专业学会，设有 13 个专业委员会：恒星与行星物理、星系与宇宙学、太阳物理与日地关系、射电天文、星表与天文常数、天文地球动力学、时间、天体力学、天文仪器、天文学史、人造卫星动力学、高能天体物理学、高空与大气外天文观测等。有江苏、北京、上海、云南、广东、湖北、陕西、安徽等地方分会。学术刊物有《天文学报》、《中国天文学会会讯》、《天文爱好者》等。

【天文刊物】刊载天文观测资料和研究成果的定期或不定期的连续出版物。世界上历史最长的天文刊物是英国的《皇家天文学会研究报告》和德国的《天文学通报》，这两种刊物都是 1821 年创刊的。据统计现在世界上的天文刊物有几百种，分为全国性刊物、台刊、国际性刊物、文摘索引性刊物和天文通俗刊物等 5 种。中国最早的天文刊物是中国天文学会编辑的《观象丛报》，创刊于 1915 年。现在中国的天文刊物主要有《天文学报》、《天体物理学报》、《天文学进展》、另外还有《天文通讯》、《天文爱好者》等。

【天文系及天文专业】中国在大专院校中设置了天文系或有天文专业的有北京大学、南京大学、北京师范大学、中国科技大学。南京大学天文系于 1952 年成立，现设天体物理、天体力学、天体测量学 3 个专门化。设有天文台，备有天顶仪、折射望远镜、坐标量度仪等，还研制成 3.2 厘米波段射电望远镜和太阳塔（主镜口径为 46 厘米）。1960 年，北京师范大学天文系和北京大学地球物

理系天体物理专业建立。北京师范大学天文系设有天体物理、天体力学和天体测量学专门化,配有 40 厘米折射望远镜和 3.2 厘米波太阳射电望远镜。北京大学主要从事太阳物理学、恒星物理学、高能天体物理学和射电天文学的教学和研究工作。中国科技大学建有天体物理中心,从事星系与宇宙学、高能天体物理学、恒星物理学等方面的教学和研究工作。

【天球仪】天球模型。由圆球和圈架两部分组成。圆球套置在圈架上,圈架代表地平圈,上刻有代表方位的刻度,一根金属轴贯穿球心,表示天轴。圆球上绘有恒星、星座、黄道、天赤道以及赤经、赤纬等。用来演示天球的各种坐标、天体视运动以及求解一些简单实用的天文问题。主要作为天文教育之用。

【天象仪】演示天文现象的仪器,主要作为普及天文知识之用。形状一般为亚铃型。两端的大球上安装有数十个恒星放影镜头,中间的笼架中装有太阳、月球和行星的放影器。它的运转由操纵台控制,把大球内的星片通过恒星放影器放影到半球形的银幕上,人们可以看到恒星和银河等的人造星空。同时,通过中间笼架的放影器把日、月、行星放影到人造星空中。附加上一系列的附属仪器,即可以演示天球的旋转、太阳、月亮、行星的运行和一些罕见的天象,如彗星隐现、日月交食等,以及一些壮观的天文现象。有的天象仪系统可以由电子计算机技术控制演示。

【活动星图】为天文科普使用的星图,主要为了认识星空。其上标出肉眼可见的星体。使用时手持活动星图,将观测日期与观测时刻相对应,面向南方,将其举过头顶,使其上标出的方向与实际

方向对应，则星图所展示的与实际看到的大体一致。不同的纬度上使用的星图有差别。

【月地运行仪】天文教学和普及的仪器，又称为三球仪。它由代表太阳、地球和月球的三个球，以及一些机械装置共同组成，可以形象地演示日、地和月三者的关系并模拟这三个球产生的一些天文现象。为真实地再现自然现象，用一个发光的灯泡代表太阳，它照亮代表地、月的两个球。设置好地球绕日运动的倾斜轨道以及月球的轨道，让地球、月球分别自转和公转，这样就可以演示出地球、月球的运动，日食、月食、月球的盈亏，昼夜交替和四季变化等现象。许多天文馆都有该仪器。

【天文馆】专门从事宣传和普及天文科学知识及其它科学知识的机构。一般来说它建有一个天象厅，可以进行模拟天象表演。此外有展览厅、讲演厅、放映室、活动馆及小型天文台。天象厅的主体仪器为天象仪，再配以各种辅助放映设备，可以逼真地表演四季星空、星空周日运动、日月交食、彗星流陨等天象。世界上第一个大型天文馆于1928年建于德国慕尼黑。我国第一个大型天文馆1957年建于北京。现在我国大陆建有小型天文馆80多个。许多省会、工业基地、少年宫、中学等都建成了拥有小型天象仪的天文馆。

【北京天文馆】于1957年建成，是中国第一所以传播天文知识为主的科学普及机构，座落在北京西直门外。其任务是普及天文知识，组织群众性的天文教育和观测研究工作。北京天文馆初期使用的是德国生产的天象仪，从1976年起，改用中国自己设计制造

的天象仪来演示天文现象。现在的天象仪在附属仪器的支持下可以演示 6.5 等以上恒星 8900 多颗，星云、星团 20 个，以及行星的运行、各种天文辅助标志、廿四节气等各种主要的天文现象。1980 年以后，还可以表演“探索行星世界”等大型的节目，还可以 360 度的环景画面表演各种天体和宇航器的活动画面，以及超新星爆发、陨石雨等各种特技画面。始建于明朝的古观象台，经国务院批准，归北京天文馆保管使用。1956 年 5 月 1 日起以“北京古代天文仪器陈列馆”的名义对外开放，供国内外参观者游览和考察。台上陈列着 8 架清代大型铜制观天仪器，是按照乾隆年间的布局摆放的。8 架仪器有天体仪、赤道经纬仪、黄道经纬仪、纪限仪、地平经纬仪、地平经仪、象限仪和玑衡抚辰仪。

【青少年天文教育】1949 年中国天文学会成立了“大众天文社”以普及天文教育。从 1954 年起，继北京、上海等地成立天文学会之后，全国各地也陆续成立了各自的天文学会以普及天文知识。1957 年，中国第一所天文馆——北京天文馆建成。80 年代以来，蚌埠、福州、天津等地的天文馆相继建成，昆明云南天文台附设的青少年天文台和苏州天文站也建成投入使用，现在全国已有天文馆约 10 座。除了云南天文台附设的青少年天文台之外，北京四中、北京小学、北京十一学校等中小学也建立了自己的小型天文台。已经开始在国内外发行的科普杂志《天文爱好者》从 1958 年创刊至今，已发行了千万份。1969 年 5 月全国第一个天文爱好者协会——上海天文爱好者协会成立，同年，北京天文爱好者协会成立，到现在已有这类天文爱好者协会 19 个。中国科协在指导组织青少年天文活动中起了非常重要的作用。

【天文普及年历】1977 年创刊，由北京天文馆和紫金山天文台合作主办，科学出版社出版。是一本天文普及性书刊，用以帮助天文爱好者进行天文学习和天文观测之用。主要内容有太阳系各大行星、彗星、流星等有关知识的数据，每月还刊有一套星图和行星目视运动图，用以帮助天文爱好者认识星座和寻找行星，还载有各大城市太阳出没的时刻表等。

【天文爱好者】1958 年 4 月创刊，由中国天文学会和北京天文馆主办，是目前国内唯一的一本专门普及天文学基础知识的刊物。它的主要对象是具有中学文化程度的天文爱好者、广大青少年、学生、中小学生等。其刊登的文章内容涉及天体和天体研究的所有领域，如天体物理、天体力学、天体测量和实用天文，以及国内外天文台、站，天文馆、天文学史、天文学家和空间探测等诸多方面的内容，刊物上开辟的栏目几十个。1980 年开始由香港向国外发行。