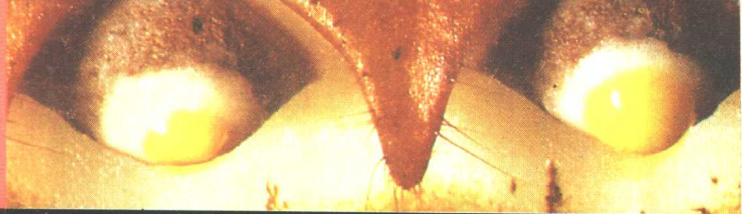
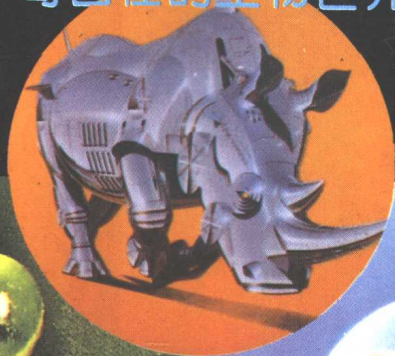


5



二十一世纪 科学万有文库

- 奥妙无穷的天文地理 •
- 千奇百怪的生物世界 •



中国国际广播出版社

5



二十一世纪 科学万有文库

主 编：李庆康 冯春雷 曾中平

第 5 辑

中国国际广播出版社

目 录

恒星的光谱型是怎样分类的?	(1)
怎样由恒星的光谱了解恒星的物理	
状态和运动情况?	(5)
视差和距离有什么关系?	(7)
什么叫测定距离的三角视差法?	(9)
恒星的分光视差是什么?	(12)
什么是造父视差?	(14)
恒星有多重?	(16)
怎样称恒星?	(17)
恒星有多大?	(19)
怎样量恒星的大小?	(20)
恒星有多亮?	(23)
恒星是静止不动的吗?	(26)
恒星有多热?	(29)
恒星磁场和地球磁场一样吗?	(31)
什么是色指数?	(33)
什么是色余?	(33)
为什么要研究天体的偏振?	(34)
恒星的内部结构是怎样的?	(36)

恒星的巨大能量是怎样产生的？	(38)
恒星也有黑子吗？	(40)
星风是什么？	(41)
为什么要研究恒星的自转？	(43)
怎样测定恒星的自转速度？	(44)
什么是双星？	(46)
双星是怎样形成的？	(48)
怎样研究双星？	(49)
距离近是密近双星的主要标志吗？	(52)
研究变星有什么意义？	(54)
什么是脉动变星？	(58)
造父变星的基本特点是什么？	(59)
造父变星的体积大小变化是光度	
变化的主要原因吗？	(61)
造父变星是否都属于同一个星族？	(63)
天琴座 RR 型变星有何奇特之处？	(64)
菜蕻型变星有何特点？	(66)
新星是新产生的星吗？	(67)
超新星是新星的一种吗？	(70)
为什么要研究超新星遗迹？	(72)
耀星是怎样一种天体？	(74)
沃尔夫—拉叶星有什么奇特之处？	(75)
恒星演化晚期处于怎样的物理状态？	(76)
行星状星云的研究价值在哪里？	(79)
恒星演化的末态有哪些形式？	(80)
牛郎织女能每年相见吗？	(84)

恒星在空间如何分布？	(85)
怎样数星星？	(86)
为什么质量较小的恒星数目更多？	(89)
将恒星划分为不同星族的依据是什么？	(90)
聚星是一颗星的名字吗？	(91)
为什么要研究星团？	(93)
用星团的运动可以定出恒星离我们的远近吗？	(95)
星协和星团是同一概念吗？	(96)
星云是恒星上空的云朵吗？	(97)
暗星云是较暗的星云吗？	(101)
亮星云是较亮的星云吗？	(102)
为什么许多天文学家对蟹状星云感兴趣？	(103)
为什么要研究星际物质？	(105)
星际红化效应是星际物质变红吗？	(108)
星星为什么会眨眼？	(110)
银河是天河吗？	(112)
银河系具有怎样的结构？	(116)
银河系为什么会“分叉”？	(118)

恒星的光谱型是怎样分类的？

天文学家很早就考虑恒星的分类问题。从观测的角度看，视星等、空间分布、自行、角直径等对恒星的研究很重要，但它们都需知道恒星的距离后才能对恒星本身性质进行阐述。那么，有没有更普遍、更直接地反映恒星本身性质的观测参数，作为恒星分类的标准呢？对恒星光谱的研究，使人们找到了这种理想的分类方法。

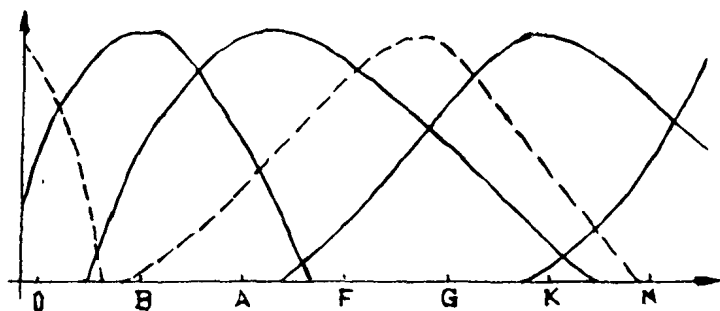
由于恒星的较内层物质处于高温、高压状态，能够发出连续谱，经过冷一些的较外层时加入了吸收线。这样，我们就得到了在连续谱上叠加着不同原子或离子吸收线的恒星光谱。

19 世纪中叶，意大利的塞奇首先根据恒星光谱的不同颜色和形态把 500 多颗亮恒星分为 I、II、III、IV 四类。I 是青星和白星，II 是黄星，III 是红星，IV 是光谱上有许多分子吸收谱带的深红星。20 世纪初，哈佛大学的天文学家继承塞奇的方法，根据一些特定吸收线，特别是氢线的强度，将光谱型分为 16 类。后来，他们给恒星排队时，发现各种光谱型之间似乎存在着一种自然的序列。随着深入的理解，他们按光谱中吸收线的数目（即各种特定原子吸收线的出现或消失）和强度的逐渐变化，对恒星的光谱型进行了重新分类，这就是沿用至今的哈佛分类系统。以表面温度由高到低的顺序，它们的形式如下：

$$\begin{array}{ccccccc} & & & & \text{S} & & \\ \text{O} & - & \text{B} & - & \text{A} & - & \text{F} & - & \text{G} & - & \text{K} & - & \text{M} \\ & & & & \text{R} & - & \text{N} & & & & & \end{array}$$

(人们常用“*Oh, be a fine girl, kiss me.*”这句话每个单词的头一个字母来记忆这个光谱序列的主序列)。每一个字母代表一个光谱型,而各型之间又是逐渐过渡的。在每型中又分为10个次型,用阿拉伯数字0~9加在后面,如:B0、B9、A0、G8。太阳是G2型。而不同的型则表明了恒星表面温度的高低。

为什么恒星光谱中吸收线的数目、强度反映了恒星的温度呢?按逻辑讲,恒星大气中某种元素的原子越多,其特征吸收线就应越强。事实确实如此,但同时,温度也是个重要的影响因素。每个能级上的原子个数随不同的原子和不同的特定级而不同。一些能级较易达到,而在一些能级上电子可停留较长时间。以氢为例,原子从第二能级跃迁回基态在一般条件下只需一亿分之一秒,故我们很难找到处于第二能级的氢原子。但是,在像太阳大气这样高的温度下,原子以巨大速度相互碰撞,不断把原子推入第二能级。所以即使跃迁回基态的时间很短,总还有相当的原子处于第二能级。



恒星光谱和温度

在一个给定能级上的原子数目主要由温度决定,但吸收

线的强弱与温度关系就不这么简单。在温度比太阳低得多的恒星上,只有很少的原子处于第二能级上,所以这类原子的吸收线就很弱。在温度比太阳高得多的恒星上,也很少有存在于第二能级的原子,因为它们几乎全部电离了(等离子态)。所以氢的吸收线在中等温度恒星(约 10000 开)上相对较强,而在很热或很冷的恒星上却非常弱,虽然这些恒星拥有相当多的氢元素。

这样,天文学家通过比较某恒星光谱上几条选定吸收线的强弱,就可以知道某种原子的不同电离态所产生吸收作用的情况,由此确定的恒星的光谱型,就对应一定的恒星温度。这种方法确定恒星的温度比应用维恩定律通过决定最大辐射所在的波长来得出恒星温度可靠而易行的多。

在哈佛分类系统中,光谱型与吸收线强弱的关系,如氢谱线从 O 到 B 逐渐增强,到 A 型最强,随后又逐渐减弱。金属谱线则从 A 型开始出现,越往右越强。同时符合黑体辐射的维恩定律,O—B 型为青星,A 型为白星,F—G 型为黄星,K—M 型则呈红色。R、N、S 型由橙到红色。各型所对应的温度和典型的恒星列于下表:

光谱型	温度	典型星
O	22,000°~35,000°	猎户座 ι
B	15,000°~25,000°	大熊座 η
A	11,000°	天琴座 α (织女一)
F	7,500°	仙后座 β 工
G	6,000°	太阳、天龙座 β

续

光谱型	温度	典型星
K	5,000°	金牛座 α (毕宿五)
M	2,000°~3,500°	猎户座 α (参宿四)

由于历史的原因, O、B、A 型星称为早型, F、G 称中型, 而 K、M 称晚型。到 70 年代初, 按哈佛分类系统作了分类的恒星总数达 90 万颗, 绝大多数属于 B~M 型, 而 O 型或 R、N、S 型极少。还有少数不能归入上述序列, 它们是: P—行星状星云(一种恒星晚期抛出的发光气体壳层), W—沃尔夫·拉叶星(一种可能由双星中初始质量较大的星演化成的高氮—氢比, 高光度的特殊恒星)。

以温度为主要参量的哈佛分类系统称为恒星光谱型的一元分类。当一个巨星的表面重力很小, 气体压力较小, 大气内的原子数目也少时, 那么在这样的物理条件下形成的光谱, 一定和同样光谱型的矮星光谱不完全相同。实际观测的结果也正是如此。20 世纪 20 年代美国威尔逊天文台发展了这种加入密度这一参数的二元分类系统, 分别以 C—超巨星, g—巨星, d—矮星加在哈佛系统的光谱符号之前, 如太阳是 dG2。

另一种二元分类系统称摩根—基南(MK)系统, 在 20 世纪 40 年代由美国摩根和基南等人发展起来。它在哈佛分类依据的物理参量温度之外加入了绝对光度, 并有 7 个罗马数字 I (超巨星), II (亮巨星), III (正常巨星), IV (亚巨星), V (主序星、矮星), VI (亚矮星), VII (白矮星) 加在哈佛光谱型字母之后。如太阳属 G2V。这样, 知道了恒星的 MK 系统光谱型, 就可以直接把它标记在光谱—光度图(赫罗图)上。

另外,恒星大气中化学成分的差异也影响光谱的一些特征。从 20 世纪 60 年代开始,人们提出了以温度、光度和化学组成为参量的三元分类系统,这一系统至今仍处于发展、完善之中。

怎样由恒星的光谱了解恒星的物理状态和运动情况?

对于恒星,天文学家不仅仅想知道它的化学组成,更想了解其物理状态和运动情况,以从宏观上研究宇宙。

前面说过,恒星光谱中的连续光谱,反映了恒星表面的温度,把连续谱形状和不同温度下的黑体辐射的连续谱进行比较,如果两个连续谱的形状相同,这时黑体的温度就是恒星表面的有效温度(黑体是可以全部吸收照在其上的辐射的物体,不过它不同于黑洞,因为它可以辐射光)。有效温度本身就是恒星的一个重要物理量,而它对于计算恒星的光度又极有价值。

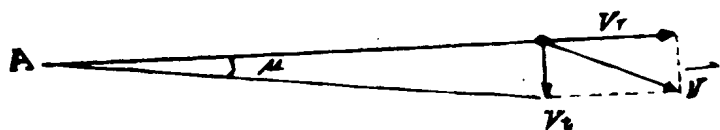
对于恒星的光谱,可由一定的判据进行分类,得出恒星的光谱型,而光谱型对应的就是恒星的温度。光谱中氢的巴尔末线在紫端波长约 3647 埃处的跳变也可以用以测量温度。此外,有些金属线和氢线的强度对恒星温度极为敏感,天文学家已经找出了它们之间的关系,并利用这些谱线的强度来测定恒星的温度。

谱线在磁场中会分裂,分裂的程度与磁场的强度成正比,

这就是塞曼效应,利用塞曼效应的原理,由谱线的分裂就可以推算出恒星上的磁场强度与方向。

对谱线的致宽机制进行研究,并应用于实测出的谱线轮廓,可以推知恒星上物质的无规则运动速度,这是恒星活动性的一个参考量。

上面讲的是由光谱确定恒星的物理性质,恒星的光谱,亦可用以测定恒星的运动状况。



恒星视向速度(v_r)和切向速度(v_t)

如图所示,要想知道恒星在空间运动的速度,就必须知道视向速度和切向速度。恒星的切向速度可以由恒星的自行(即恒星在天空背景上的移动),利用恒星的距离而求得。那么视向速度怎样求呢?这就要用到恒星的光谱,根据恒星光谱中谱线的位移,应用红移定律,就可以算出视向速度的大小及方向。而且,用这种方法算出的视向速度不仅可以了解恒星整体在空间的运动,对于体积不断收缩、膨胀的脉动变星,它亦可以作为研究变星活动剧烈程度的工具。

有些双星由于两子星相距很近,无法用望远镜分开,同时又不发生交食,不能从亮度的变化来发现。但是,两子星绕公共质心的运动,使视向速度发生周期性变化,在光谱中引起周期性的位移或分裂。这样,光谱帮助人们发现了这种星是由两颗星组成的,并因而称这类双星为分光双星。

由于某些谱线对的强度比直接与恒星的绝对星等联系起来,恒星光谱又用来测定恒星的距离。因为这种测距方法的精度与恒星距离无关,所以在测远距离恒星的距离工作中发挥了极其重要的作用。

恒星光谱除了上面的用途之外,还有许多别的作用,因为其原理和方法均比较复杂,便不多叙述了。

视差和距离有什么关系?

距离是各种天体的最基本参量之一。知道了行星的距离,就能直接从数值上验证开普勒定律的正确性,验证牛顿定律的适用性。知道了恒星的距离、星系的距离,再加上一些较容易得到的数据,就能推知恒星、星系的光度、空间运动速度、空间分布等。而这些资料对于研究恒星、星系、宇宙的结构、起源与演化都是必不可少的。正因为距离在天文上如此重要,许多天文学家把大部分精力用于研究这个难题。可是,谁都没有一把能够量一量月亮离我们有多远的量天尺,但是人类的智慧是无穷的,他们找到了一把无形的量天尺——视差。

什么是视差?把手指放在眼前不动,分别用左、右眼去看它,就会发现手指在背景上的位移,这就是两只眼睛有距离而造成的视差。如果我们在不同的地方去对同一天体,同样有视差,这两个地方的距离也叫基线。基线越长,测得的视差就越大。视差在数值上就是不同观测地点对同一天体的张角,因此

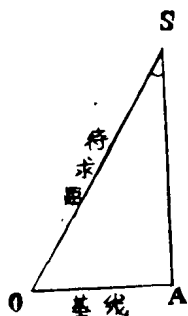
对同一基线,天体越远视差越小。

视差有几种,根据所选基线长度不同而有周日视差、周年视差之分,前者以地球的半径为基线,主要用于测太阳系内天体视差;后者则以地球到太阳的平均距离为基线,用于测量更远的恒星的距离。

已知视差如何求距离? 只要看下图就清楚了。在任何一个直角三角形中,知道了一个顶角和一条边长,则另外的角、边都可用三角关系求得。例如这里 $\angle OSA$ 是测得的视差, $\overline{OA}$ 为基线长,则

$$\overline{OS} = \overline{OA} \cdot \sin \angle OSA$$

这就是视差与距离的关系。



由视差求距离示意图

什么叫测定距离的三角视差法？

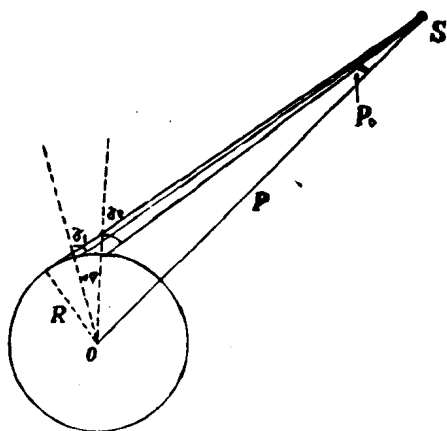
知道了视差和距离之间的三角关系，我们就能利用测视差求距离了，这种通过测视差求距离的方法，就叫三角视差法。

周日视差是由于天体的周日视运动产生的，它的数值定义为：待测天体看观测点处地球半径的张角，显然，当星星处于地平线上时这个张角最大，叫周日地平视差，又叫地平视差，记为 P_0 。已知地球半径 R 时，有待测星的距离 $D = R / \sin P_0$ 。测地心视差的方法，通常都是在地球上选取同经度但纬度相差较大的两个地方，在待测星上中天时同时测它的天顶距 Z_1 和 Z_2 ，利用下图的三角关系，即得

$$P_0 = \frac{(Z_2 - Z_1) - (\varphi_2 - \varphi_1)}{\sin Z_2 - \sin Z_1}$$

月亮离我们最近，它的周日地平视差也应是最大的，测起来也容易。1752 年前后，法国天文学家拉卡伊 (N. L. La Caille) 和他的高足拉朗德 (J. J. LaLande) 分别在好望角和柏林这两地差不多位于同一经度线上，纬度相差约 90° ——观测月亮，首次用三角视差法测定了月地距，他们的结果很接近现代测量数据 $57'02''.6$ ——相当于 1.5 米外五分硬币的张角。

太阳的周日视差当然比月亮的小得多。由于太阳太亮了，没法对它进行直接测量。不过，开普勒三定律已经画出了太阳



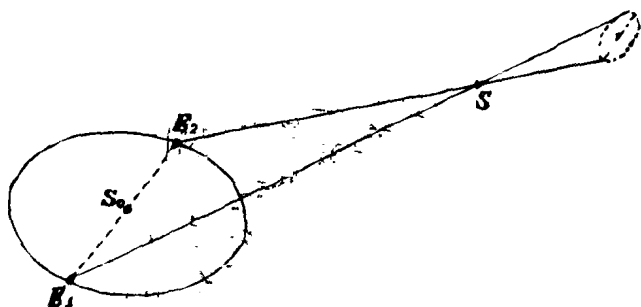
周日视差图

系的比例图，只要知道了地球到任何一颗行星的距离，就可以求出地球到太阳的距离了。基于这个原理，1672年意大利的卡西尼(J. D. Cassini)和里奇(J. Richer)分别在巴黎和卡宴城对火星进行测量。卡西尼综合测量结果，求得火星的地心视差为 $25''$ ，并进而推出太阳的地心视差为 $9''.5$ —距现代结果 $8''.794$ 虽有7%的误差，但毕竟是人类历史上首次得到的比较接近实际的结果。

地心视差使我们在太阳系范围内获得累累硕果，可是它对太阳系外遥远的恒星却无能为力，因为它们太遥远了，它们的地心视差非常非常小，即使用最现代化的仪器也测量不出来。既然以地球半径为基线还嫌短，哪儿还能找到更长的基线呢？天文学家非常巧妙地利用地球的公转，选取地球到太阳的距离为基线，这就使三角视差法威力倍增。即使如此，也只有

当天文仪器达到一定的精度时测恒星视差才有可能,因为最近的半人马 α C 星(比邻星)的视差也不过 $0''.772$ 而已,而“日心说”刚被推出时,“地心说”的维护者们就是利用测不出恒星视差来攻击哥白尼及其学说的拥护者的,因为根据“日心说”,在相隔半年时间分别看恒星时,近的星相对于远的星应该有移运而产生视差。可是,真理终究要取代谬误,这是历史规律。

周年视差就是在恒星位置看太阳、地球所产生的张角,是由于地球公转造成的。当地球绕太阳运行一周时,有限远的恒星相对于无限远的背景,会画出一个椭圆形轨道来,它的半长径,就是这颗星的周年视差。



周年视差图

现代的周年视差测星方法,都采用照相机:在某天对待测星所在天区进行拍照,半年之后再拍同一天区的照片。把暗弱的(因而更遥远的)星看作不动,较亮的(因而较近的)星相对于暗星的运动就是视差,通过对比两张照片即可测出。

人类首次测出恒星的视差是 19 世纪 30 年代末的事,那时,物理学家夫朗和费(J. Fraunhofer)给天文学家提供了当

时最优质的光学望远镜。如果一颗恒星离我们较近,就会更亮、自行更大,而周期短、张角大的双星也离较近的成员。基于这种正确判断,1838年前后,德国的贝塞尔(F. W. Bessel)用新发明的量日仪对天鹅座 61 星、苏格兰的亨德森(T. Henderson)对半人马座 α 星、俄国的斯特鲁维(F. G. Struve)用首架配有赤道仪的望远镜对织女星分别进行了成功的视差测量,掀开了恒星测距的第一篇。

不过,周年视差也有局限。对 100 秒差距以内的星,它给出的结果还比较准确或很精确,对于更远的星它就无能为力了,因为这时测量误差已大于视差。而更多的星都远在 100 秒差距以外,为此人们只有继续探索,寻求其它更有效的办法了。

恒星的分光视差是什么?

我 们看到的恒星亮度,用视星等表示,但是这并不是恒星本身的亮度,因为恒星离我们远近不一。那么有没有某一种量是和恒星的绝对星等相当,即不随距离而变的呢?如果有,根据该量与绝对星等的关系,不就可以求出绝对星等,进而由视星等求出距离来吗?

有。

天文学家把光度大的星叫巨星,光度小的星叫矮星。现在取出光谱型相同的巨星和矮星各一颗,相同的光谱型预示着相同的恒星表面温度。如果研究从 F 型到 K 型的巨星和矮