

高等学校教材

# 天文学教程 中册

朱慈璿 编



高等教育出版社

## 内 容 简 介

本书是建立在大学低年级学生的数理基础上的一部综合性基础天文学教科书，全书全面系统地阐述了天文学各分支学科的基础知识；介绍了六十年代以来天体物理学中的新进展、对于天体测量学和天体力学中正在兴起的新技术、新方法和新理论以及已经取得的最新成果作了简明的反映。全书分上、中、下三册。

上册内容包括地球坐标系和时间计量系统、天文观测和仪器、太阳和太阳系内各天体。

中册内容包括恒星和特殊恒星(变星、致密星和双星)，星团、星云和恒星演化，银河系以及星系和宇宙学。

下册内容包括天体测量学和天体力学的基础知识。

本书不但可作为天文、物理、地理等专业的教材，亦可供有关科技人员参考。

高等学校教材  
**天文学教程**

中 册  
朱慈璠 编

高等教育出版社出版  
新华书店上海发行所发行  
上海市群众印刷厂印装

开本850×1168 1/32 印张14.125 插页2 字数350,000  
1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷  
印数00,001—2,250

书号13010·01375 定价3.25元

## 序 言

六十年代初，在已故戴文赛教授主持下，南京大学天文学系编写了《天文学教程》(上、下册，1961年上海科学技术出版社出版)，它曾对我国的天文教育事业作出了积极的贡献。

在过去的四分之一世纪中，天文学经历了自伽利略时代以来前所未有的繁荣，进入了全波天文学的时代。类星体、星际多原子分子、宇宙微波背景辐射、脉冲星、天王星和木星的环带、引力透镜效应等许多重大发现；X射线、 $\gamma$ 射线、红外和紫外天文学的兴起；“阿波罗”登月的实现；大规模的太阳系的空间探测……，促使人类对宇宙的认识发生了深刻的变化。因此，重新编写《天文学教程》，使之能跟上迅速发展着的天文学的步伐已是刻不容缓的事了。

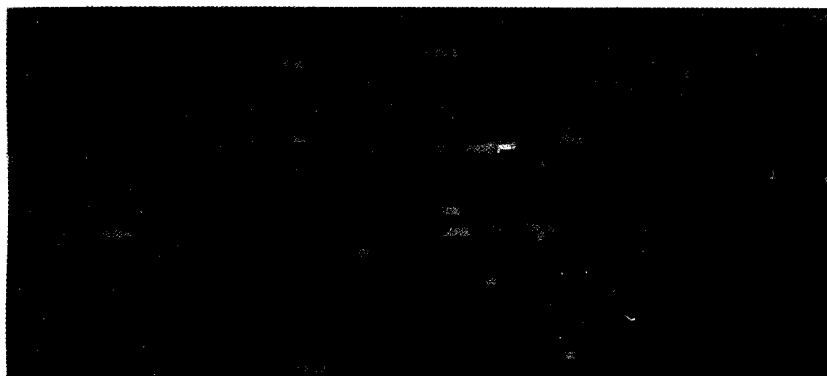
本书是按照国家教育委员会理科物理教材编审委员会天文教材编审小组审定的大纲编写的，分上、中、下三册，基本上保留了原《天文学教程》的框架，但除极少数内容未作大的修改外，大都是重新撰写的。本书是建立在大学低年级学生的数理基础上的一部综合性基础天文学教科书，它较全面和系统地阐述了天文学各分支学科的基础知识；介绍了六十年代以来天体物理学中的新进展，对于天体测量学和天体力学中正在兴起的新技术、新方法和新理论及已经取得的新成果也作了简明的反映。另外，本书除天文学上特有的单位外全部采用国际单位制的单位。为了便于读者查阅，书末附有人名索引和名词索引。

本书上册除§4.1—§4.6由肖耐园撰写外，均由张明昌撰写；中册由朱慈墟撰写；下册由肖耐园(第十三章)、张承志(第十四和

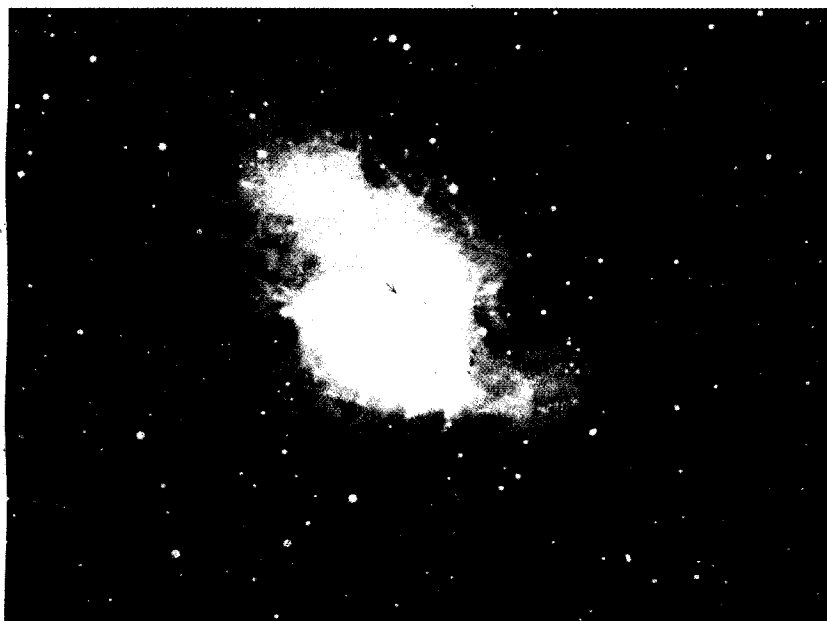
十五章)和周洪楠(第十六至十八章)撰写。上册和中册由朱慈盛通校,下册由周洪楠通校,朱慈盛主持了全书的编写工作。

本书内容广泛,涉及天文学各个领域,鉴于作者学识有限,不当和错误之处在所难免,恳请读者提出批评和指正。

作者 一九八六年一月于南京大学



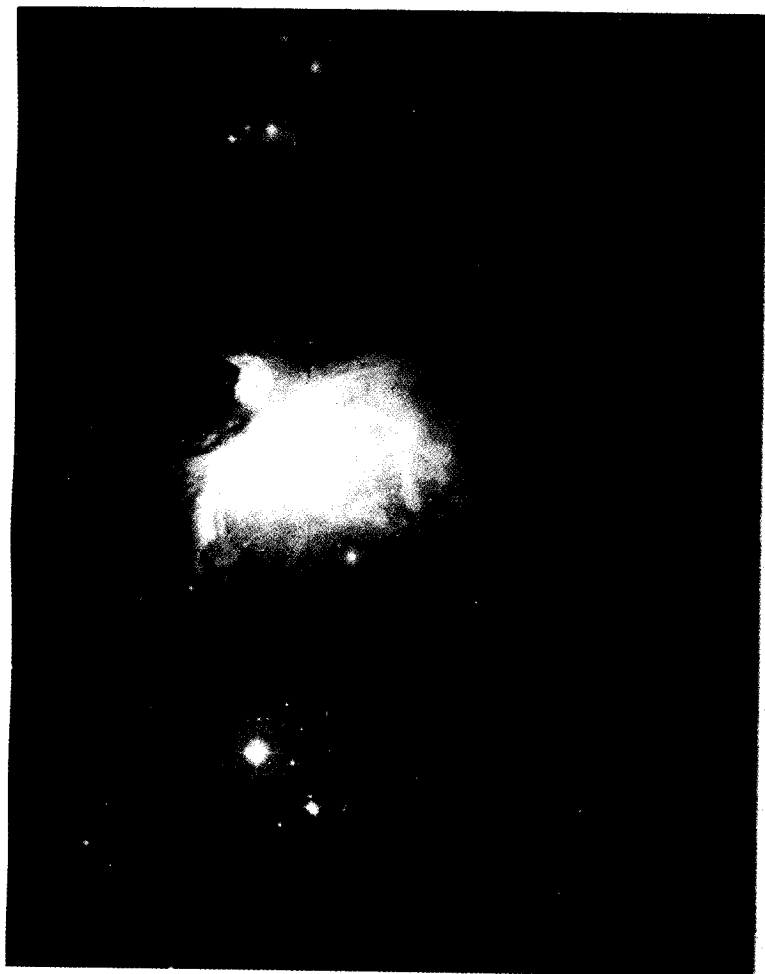
彩照 8 用物端棱镜对一个天区中的恒星拍摄的光谱



彩照 9 蟹状星云。箭头所指的星是脉冲星 NP 0531



彩照 10 行星状星云。(上)天琴座中的环状星云(M 57 或 NGC 6720),  
(下)狐狸座中的哑铃星云(M 27 或 NGC 6853)



彩照 11 猎户星云



彩照 12 仙女星系



# 目 录

(中 册)

<b>第八章 恒星</b> .....	( 1 )
§ 8.1 恒星的距离 .....	( 2 )
§ 8.2 恒星的亮度 .....	( 7 )
§ 8.3 恒星的大小和质量 .....	(14)
§ 8.4 恒星的光谱 .....	(18)
§ 8.5 恒星的化学成分 .....	(29)
§ 8.6 赫罗图和恒星内部 .....	(35)
§ 8.7 恒星的自转 .....	(46)
<b>第九章 变星、致密星和双星</b> .....	(54)
§ 9.1 变星的分类 .....	(54)
§ 9.2 猎户座变星和耀星 .....	(59)
§ 9.3 早型发射星和A型特殊星 .....	(65)
§ 9.4 脉动变星 .....	(77)
§ 9.5 激变变星 .....	(91)
§ 9.6 超新星 .....	(102)
§ 9.7 白矮星 .....	(116)
§ 9.8 中子星和脉冲星 .....	(123)
§ 9.9 黑洞 .....	(140)
§ 9.10 双星的类型 .....	(147)
§ 9.11 双星的轨道运动 .....	(154)
§ 9.12 恒星质量的测定 .....	(160)
§ 9.13 密近双星 .....	(164)

§ 9.14	一些著名的双星和聚星 .....	(171)
§ 9.15	X 射线双星 .....	(178)
§ 9.16	SS 433 .....	(189)
<b>第十章</b>	<b>星团、星云和恒星演化 .....</b>	<b>(195)</b>
§ 10.1	疏散星团和星协 .....	(195)
§ 10.2	球状星团 .....	(208)
§ 10.3	星云 .....	(214)
§ 10.4	星际物质 .....	(229)
§ 10.5	恒星的形成 .....	(243)
§ 10.6	恒星演化 .....	(256)
<b>第十一章</b>	<b>银河系 .....</b>	<b>(273)</b>
§ 11.1	银河和银河系 .....	(273)
§ 11.2	恒星的运动 .....	(283)
§ 11.3	银河系的自转 .....	(295)
§ 11.4	星族 .....	(307)
§ 11.5	银盘和旋臂 .....	(313)
§ 11.6	核球、银核和银晕 .....	(324)
<b>第十二章</b>	<b>星系和宇宙 .....</b>	<b>(334)</b>
§ 12.1	河外星系的发现和分类 .....	(334)
§ 12.2	星系的距离和质量的测定 .....	(347)
§ 12.3	星系的一般性质 .....	(356)
§ 12.4	本星系群 .....	(360)
§ 12.5	星系团和超星系团 .....	(371)
§ 12.6	活动星系、射电星系和互扰星系 .....	(385)
§ 12.7	类星体 .....	(405)
§ 12.8	宇宙学 .....	(420)
<b>主要参考书目</b>	<b>.....</b>	<b>(437)</b>
<b>附录 VI</b>	<b>决定目视双星的轨道要素 .....</b>	<b>(438)</b>

## 第八章 恒 星

本书上册讲述了太阳系中的各种天体。对居住在地球上的人类来说,太阳系是至关重要的,但在宇宙中它只不过是沧海一粟。为了认识宇宙,人们的视线必须转向形形色色的恒星以及各种恒星系统。

肉眼看到的天上的星星,除了太阳系内的五颗大行星和流星及彗星之外,都是恒星。由于它们的位置看来固定不变,跟行星迥然不同,因而古人称之为“恒”(固定不动的)星。除了极少数的例外(见§ 9.8),恒星都是气体球,没有固态的表面,气体通过自身的引力聚集成星球。恒星区别于行星的一个最重要的性质是它们自己产生能量而发光。

研究恒星世界比研究太阳系困难得多,有待于观测技术的进步。恒星物理性质的研究是从十九世纪中叶才逐步开展的,它起步晚,但进展快,如今已积累了十分丰富的知识。

恒星的种类繁多。本章讲述恒星的一般性质,着眼于处于相对稳定状态的恒星。这样的恒星有时称作正常恒星或普通恒星,以区别于将在下一章讲的变星和致密星那样的特殊类型的恒星。一方面,正常恒星与变星不同,没有亮度变化或激烈爆发的表现;另一方面,它们内部物质的状态又不象致密星那么特殊。正常恒星为数众多,占恒星世界的大部分,它们与特殊恒星是处在不同演化阶段的恒星,可以相互转化的。因此本章的内容实际上对所有的恒星具有普遍的意义。

太阳是一颗正常恒星。研究太阳取得的成果对于了解恒星的物理性质大有裨益;反之,研究恒星世界对于推测太阳的过去和

未来起着决定性的作用。

## § 8.1 恒星的距离

在天文学上天体的距离是十分重要的数据。没有距离的数据，不仅不能确定恒星、星云和星系等各种天体的空间分布和运动、它们的大小和质量，而且也不能估计它们产能的规模，以至影响到对它们性质的了解。

### 一、周年视差

月球的距离曾经通过测定月球的周日视差而求得，在测定恒

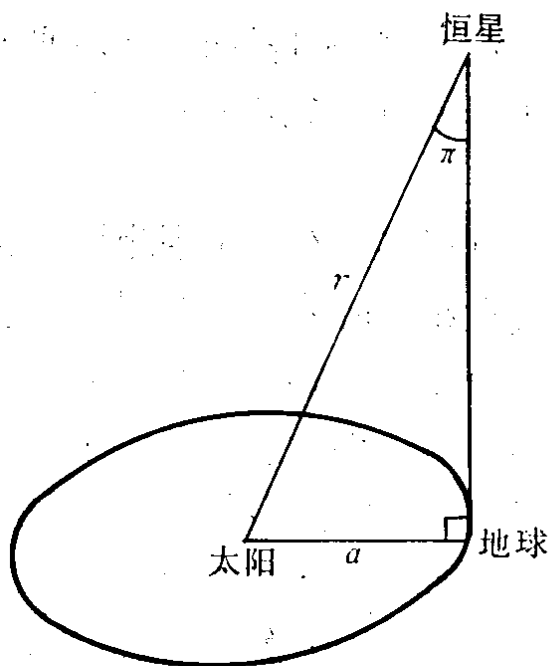


图 8.1 周年视差的定义

星的距离时引入了周年视差的概念。恒星的周年视差的定义是：以太阳到恒星的距离  $r$  为弦，以地球和太阳的平均距离  $a$  为最小边的那个直角三角形的最小角  $\pi$  (图8.1)。显然， $r$  和  $\pi$  之间的关系为：

$$r = \frac{a}{\sin \pi} \quad (8.1)$$

由于  $\pi$  角很小，可以用它的弧度数代替正弦， $\pi \simeq \sin \pi$ ，于是得

$$r = \frac{a}{\pi} \quad (8.2)$$

式中  $\pi$  以弧度表示。如果  $\pi$  以角秒表示，并记为  $\pi''$ ，则得

$$r = 206265 \frac{a}{\pi''} \quad (8.3)$$

其中 $a$ 和 $r$ 都以千米为单位。若改以天文单位为长度单位, $a=1$ ,则(8.3)式变成

$$r = \frac{206265}{\pi''} \text{ 天文单位。} \quad (8.4)$$

量度恒星距离一般不用千米,也不用天文单位为单位,因为用这些单位时数值太大。天文学上通常使用的是下列两种单位:

秒差距——与周年视差 $\pi'' = 1''$ 对应的距离;

光年——光在一年内所经过的路程。

应注意,虽然秒差距和光年这两个名词分别含有角度单位和时间单位的词,它们却是距离的单位。秒差距、光年和其他长度单位彼此之间的关系如下:

1 秒差距 = 3.26163 光年 = 206265 天文单位 =  $3.08568 \times 10^{16}$  米;

1 光年 = 0.306595 秒差距 = 63239.7 天文单位 =  $0.946053 \times 10^{16}$  米。

显然,恒星的距离若以秒差距为单位,就得下列简单关系式

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ 秒差距,} \quad (8.5)$$

若以光年为单位,保留三位有效数字,则有

$$r = \frac{3.26}{\pi''} \text{ 光年。} \quad (8.6)$$

在讨论恒星的庞大集团——星系时,用秒差距为单位还嫌太小,因此常用千秒差距( $10^3$  秒差距)和兆秒差距( $10^6$  秒差距)为单位。

## 二、三角视差

由于地球在绕太阳转动,观测者应看到位于黄极的恒星一年内在天球上画出一个圆(地球轨道很接近于圆),这个圆的半径等

于恒星的周年视差。对于不同的恒星，圆的大小也不同：恒星越

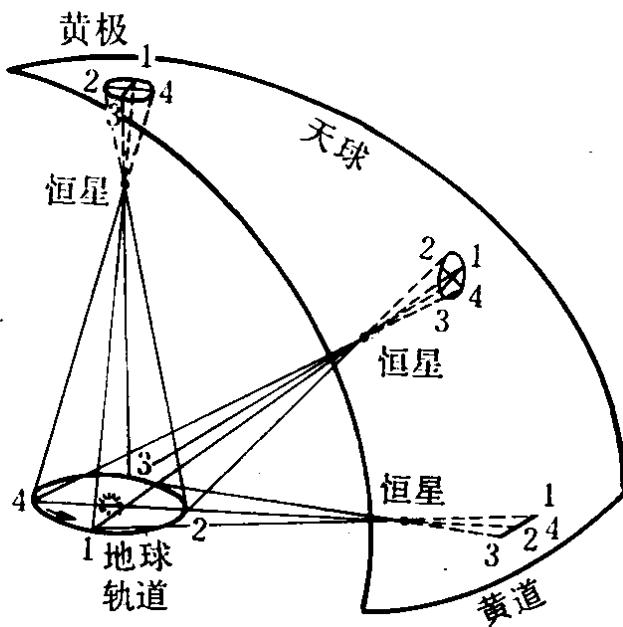


图 8.2 恒星的视差位移

差的方法而得到的视差称为三角视差。

哥白尼公布了他的日心说后，在很长的时期内，许多天文学家企图测定恒星的周年视差，但都由于它的数值很小以及当时的观测精度不高而没有成功。直到十九世纪三十年代后半期，德国天文学家贝塞耳在哥尼斯堡天文台、俄国天文学家瓦·雅·斯特鲁维在多尔帕特天文台、英国天文学家亨德森在南非好望角天文台才独立地分别对天鹅 61、天琴  $\alpha$  (织女星) 和半人马  $\alpha$  (南门二) 第一次作出恒星周年视差的可靠测量。他们测定的结果和现代测量的数据列在表 8.1 中。恒星周年视差的测定是十九世纪天文学上的重大成就，它使哥白尼的日心说取得最后的胜利，从此天文学越出了太阳系的疆界向遥远的宇宙空间进行探索。

测定恒星的三角视差是一项精细而又繁琐的工作。虽然从原则上说，只须拍摄两张相隔半年的待测星的照片，测量待测星相对于周围的一些很暗的星(它们离地球太远，可以认为没有视差位移)的位置变化，就可算出三角视差，但在实际测量时，为了减小测量中的误差以及消去恒星相对于太阳的空间运动引起的位移，

远，圆的半径越小，不位于黄极的恒星在一年内画出一个椭圆，它的长轴和黄道平行，半长径等于恒星的周年视差。正好在黄道上的恒星，椭圆退化为直线(图 8.2)。因此，恒星的周年视差可以根据相隔半年的恒星位置的两次测定而计算出来。这里，测量的基线是地球轨道的直径。这种用直接测量周年视

表 8.1 最早测定的三颗恒星的三角视差

观测者	恒星	最初测定的视差值 (角秒)	现代测定的视差值 (角秒)	现代测定的距离 (秒差距)
贝塞耳	天鹅 61	0.31	0.29	3.4
瓦·雅·斯特鲁维	天琴 $\alpha$	0.26	0.12	8.1
亨德森	半人马 $\alpha$	1.16	0.745	1.34

往往需要经历几年时间，拍摄几十张照片进行归算。现代三角视差的测量是使用长焦距的所谓标准天体照相机进行的。至今只有对离太阳最近的几千颗恒星已定出了三角视差。

恒星的周年视差都小于  $1''$ 。半人马  $\alpha$  的周年视差最大，为  $0.745''$ 。半人马  $\alpha$  实际上是一个三合星系统，即由三颗绕公共质量中心旋转的恒星组成，其中的一颗在一条十分长的轨道上运动，绕转周期达几十万年，现在该星的位置比其他两颗星更靠近太阳，是离太阳最近的恒星，因而获得了比邻星的名字。比邻星的周年视差是  $0.76''$ ，相应的距离为 1.31 秒差距或 4.27 光年。表 8.2 中列出了离太阳最近的 10 颗恒星的一些数据，其中星等、光谱型、自行和视向速度将在以后的有关章节中讲述。

表 8.2 10 颗最近的恒星

星名	目视星等	绝对目视星等	光谱型	距离 (秒差距)	自行 (角秒年)	视向速度 (千米·秒)
半人马 $\alpha$ C (比邻星)	11.05	15.45	M 5	1.31	3.85	- 16
半人马 $\alpha$ A	- 0.01	4.35	G 2 V	1.34	3.68	- 22
B	1.33	5.69	K 2 V			
巴纳德星	9.54	13.25	M 5 V	1.81	10.31	- 108
沃尔夫 359	13.53	16.68	M 8	2.33	4.71	13

(续表)

星名	目视星等	绝对目视星等	光谱型	距离 (秒差距)	自行 (角秒年)	视向速度 (千米秒)
H D 95735	7.50	10.49	M 2 V	2.49	4.78	- 84
天狼星A	- 1.45	1.42	A 1 V			
B	8.68	11.56	D* A	2.65	1.33	- 8
鲸鱼UVA	12.45	15.27	M 5			
B	12.95	15.8	M 6	2.72	3.36	30
罗斯154	10.6	13.3	M 4	2.90	0.72	- 4
罗斯248	12.29	14.80	M 6	3.15	1.59	- 81
波江ε	3.73	6.13	K 2 V	3.30	0.98	16

\* D: 白矮星。

对于离太阳20秒差距以内的恒星，三角视差的测量精度是很高的，距离50秒差距，测量误差同测量得到的视差值已差不多了，结果就不很可靠；距离在300秒差距以上，三角视差小到不能测出。因此这种直接测量周年视差的方法受到很大的局限。幸好天文学家找到了其他一些方法可以测量更远的恒星的距离，不然，探索恒星世界的工作就难以进行了。

### 三、测定距离的其他方法

另一类测定恒星距离的重要方法是基于恒星的视亮度和光度之间的关系(见§ 8.2)。一颗星的视亮度由三个因素决定：它的光度、距离以及星际空间中的气体和尘埃对星光的吸收和散射。若暂且忽略第三种因素，而有办法估计出恒星的光度，那么立即可从容易测定的视亮度推出恒星的距离。

对恒星光谱进行仔细研究后发现，对于光谱类型相同的恒星，在光谱中总可以找到这样的几条谱线，其强度只随着光度而改变。对于由测定三角视差得知光度(由视亮度和距离算出)的一些近



星，以这种谱线的强度为横坐标，以光度为纵坐标，得出一条曲线，叫做归算曲线。然后对于待测距离的属于同一光谱型的恒星，先测量该谱线的强度，再利用归算曲线，就可以定出这颗恒星的光度，从而得其距离。这种建立在光谱分析基础上的测定周年视差的方法，称为分光法，得到的视差称为分光视差。用分光法已定出了几万颗恒星的距离，其优点是可以应用于那些不能用三角法直接测量出周年视差的远星，但对于暗弱的恒星，由于得不到清晰的光谱，分光法仍不适用。

有些特殊类型的恒星，可以运用一些特殊的方法来决定其光度，其中最重要的是造父变星。这类星的视亮度作规则的周期变化，且光度越大，光变周期越长。于是光变周期成了造父变星光度的标记，如此推算的视差称为造父视差(见 § 9.4)。

对于双星，可以利用由观测数据计算出的轨道要素求得视差，称为力学视差(见 § 9.12)。对于某些星团，可以利用星团成员星的运动数据求出视差，称为星群视差(见 § 10.1)。此外，还有一些估算天体距离的方法将在有关章节中讨论或提及。

## § 8.2 恒星的亮度

跟太阳一样，在恒星核心里进行的热核反应产生的能量不断向外层转移，最终从恒星表面逸出，射向太空。恒星的能量发射率，即整个星面每秒释放的能量，称为恒星的光度。光度是恒星本身所固有的量，与距离无关。恒星的亮度是恒星在观测点和视线垂直的平面上所产生的照度。天上的星看起来有多亮，指的是亮度，或更明确起见叫做视亮度。在恒星的各种数据中，人类最早通过观测获得的当推亮度了。光度的国际单位制单位是瓦，即焦 秒，照度的单位是勒。但早在这些物理单位使用之前，天文学