

黄克谅 胡中为 陈载璋 编著



天文学导论

下 册

11
40

天 文 学 导 论

(下 册)

黄克谅 胡中为 陈载璋 编著

113.1-0



科 学 出 版 社

1 9 8 3

50050

内 容 提 要

本书系统地介绍天文学，特别是天体物理学的基础知识和基本原理，分上、下两册出版。

上册简述天球坐标系、时间计量和天文仪器，介绍太阳系各天体。

下册介绍太阳系以外的各类天体，由近到远，首先介绍恒星、特殊恒星；然后是恒星集团、星云和星际物质；接着介绍银河系、河外星系和总星系；最后讨论天体的起源和演化。

本书可作为高等学校有关专业天文学课程的教材，也可供天文工作者及有关科学工作者作参考书。

天 文 学 导 论

(下 册)

黄克谅 胡中为 陈载璋 编著

责任编辑 方开文

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年4月第 一 版	开本，850×1168 1/32
1983年4月第一次印刷	印张，12 1/2
印数，0001—2,370	字数，317,000

统一书号：13031·2185

本社书号，2991·13—5

定 价：2.30 元

目 录

第九章 恒星	451
§ 9.1 引言	451
§ 9.2 恒星的距离	453
§ 9.3 恒星的视星等和绝对星等	457
§ 9.4 恒星的大小	458
§ 9.5 恒星的光谱	464
§ 9.6 赫罗图	468
§ 9.7 恒星光谱型的解释	471
§ 9.8 恒星的颜色系统	475
§ 9.9 分光视差	480
§ 9.10 恒星的化学组成	482
第十章 特殊恒星	485
§ 10.1 变星	485
§ 10.2 脉动变星	491
§ 10.3 新星和超新星	501
§ 10.4 金牛座 T 型星和鲸鱼座 U V 型星	512
§ 10.5 早型发射星	517
§ 10.6 A 型特殊星	523
§ 10.7 致密星——白矮星和中子星 (脉冲星)	526
§ 10.8 黑洞	537
第十一章 恒星集团	545
§ 11.1 双星和聚星	545
§ 11.2 双星的轨道运动	551
§ 11.3 恒星的质量	560
§ 11.4 密近双星	564
§ 11.5 几个著名的双星和聚星	575

§ 11.6	星团与星协	585
第十二章	星云与星际物质	597
§ 12.1	星云	597
§ 12.2	星云发光的机制	603
§ 12.3	星际物质	607
§ 12.4	超新星遗迹	615
§ 12.5	星际分子	621
第十三章	银河系	626
§ 13.1	银河和银河系	626
§ 13.2	恒星的分布	630
§ 13.3	恒星的运动	638
§ 13.4	星族和次系	650
§ 13.5	银河系的自转和质量	654
§ 13.6	银河系的结构	661
§ 13.7	银河系的射电辐射和高能辐射	668
§ 13.8	旋臂理论	673
第十四章	河外星系	679
§ 14.1	河外星系的分类	680
§ 14.2	河外星系距离的测定	687
§ 14.3	河外星系的一般性质	691
§ 14.4	河外星系的自转、大小和质量	696
§ 14.5	河外射电源	704
§ 14.6	类星体	709
§ 14.7	活动星系	718
第十五章	总星系	728
§ 15.1	双重星系和多重星系	728
§ 15.2	星系团	735
§ 15.3	总星系	743
§ 15.4	总星系模型	748
§ 15.5	总星系的演化	756
第十六章	天体的起源和演化	762

§ 16.1	天体演化学	762
§ 16.2	恒星演化学的观测基础	765
§ 16.3	恒星的内部结构	768
§ 16.4	恒星的起源和演化	777
§ 16.5	双星的起源和演化	786
§ 16.6	星系的起源和演化	789
§ 16.7	太阳系的起源	793
§ 16.8	康德和拉普拉斯的学说	800
§ 16.9	灾变假说	804
§ 16.10	本世纪的星云说	808
§ 16.11	其它学说	813
§ 16.12	戴文赛的新学说	816
主要参考书		829
附表一	星座表	附 1
附表二	最亮的恒星	附 4
附表三	最近的恒星	附 5
附表四	一些目视双星	附 6
附表五	一些星团与星协	附 7
附表六	一些有趣的星云	附 9
附表七	已发现的星际分子	附 10
附表八	本星系群 (不包括银河系)	附 11

第九章 恒 星

§ 9.1 引 言

在晴朗无月的夜晚，人们仰视天空，满天繁星闪烁。除了几颗“行星”之外，看起来星星都是固定不动的，古人遂将这些星星称为“恒星”。为了研究方便起见，古人还把星空分成若干个小区域。

在我国，远在周、秦以前，就把星空划分为三垣四象二十八宿，在《史记·天官书》中有详细记载。三垣在北天极区域，即紫微垣、太微垣、天市垣。四象位于黄道和白道近旁，环天一周。每象又各分七段，称为“宿”，共计二十八宿。即

东方苍龙之象，含角、亢、氐、房、心、尾、箕七宿；

南方朱雀之象，含井、鬼、柳、星、张、翼、轸七宿；

西方白虎之象，含奎、娄、胃、昂、毕、觜、参七宿；

北方玄武之象，含斗、牛、女、虚、危、室、壁七宿。

“宿”即宿舍，月亮沿白道向东移动，大致每天停留在一个“宿”里。

在国外，古巴比伦人很早（约公元前3000年）就把较亮的星连成“星座”。星座的命名根据亮星构成的图形或者结合神话传说。到了公元二世纪，经希腊天文学家的描述，北天星座的划分已基本形成。南天极附近的星座，是在航海者观察了南天之后于十七世纪和十八世纪才逐渐定出的。现国际上将全天共分为88个星座。它们的名称列在下面：

北天星座（29个）

小熊	天龙	仙王	仙后	鹿豹	大熊	猎犬	牧夫
北冕	武仙	天琴	天鹅	蝎虎	仙女	英仙	御夫

天猫	小狮	后发	巨蛇	蛇夫	盾牌	天鹰	天箭
狐狸	海豚	小马	飞马	三角			

黄道星座 (12个)

白羊	金牛	双子	巨蟹	狮子	室女	天秤	天蝎
人马	摩羯	宝瓶	双鱼				

南天星座 (47个)

鲸鱼	波江	猎户	麒麟	小犬	长蛇	六分仪	巨爵
乌鸦	豺狼	南冕	显微镜	天坛	望远镜	印第安	
天鹤	凤凰	时钟	绘架	船帆	南十字	圆规	南三角
孔雀	南鱼	玉夫	天炉	雕具	天鸽	天兔	大犬
船尾	罗盘	唧筒	半人马	矩尺	杜鹃	网罟	剑鱼
飞鱼	船底	苍蝇	天燕	南极	水蛇	山案	蝘蜓

88个星座在星空中占的范围，有的很大，有的很小。最大的是长蛇座，面积1300平方度（全天空共有41253平方度），其次是室女、大熊、鲸鱼、武仙等星座，面积都超过1200平方度。最小的是南十字座，面积只有68平方度。关于星座的详细信息见附录。

1603年，德国的巴耶尔（J. Bayer）建议：在每个星座里，按照星的亮度顺序，配上相应的希腊字母，并加上星座的名字，来作为亮星的命名。例如，天狼星就是大犬座 α （ α CMa），大陵五是英仙座 β （ β Per），等等。希腊字母只有24个，一般小于每个星座里肉眼能见到的恒星，单靠希腊字母来命名是远远不够的。1712年，英国伏兰斯提德（J. Flamsteed）发表了一个星表。在这个星表里，每个星座里的恒星都按照赤经次序排列，这样便各得到一个相应的号数。目前对于各个星座里24个亮星以外的恒星，凡被包括在上述星表里的，就用该星表中的号数（注意，应加上星座名字）来命名，例如天鹅座61星，天兔座17星，等等。

人们根据星座来认识星星，星空就不再是杂乱无章的了。乍一看，星空有千千万万颗恒星，它们是数不清的。其实不然，直

接用眼睛看，一个一个星座计数，整个天空人眼能直接看到的恒星约6000颗，但任何时候只能看到天空的一半，因此肉眼同时看得到的恒星只有3000颗左右。眼力好的人看到的恒星比这更多些，眼力差的人看到的比这少些。

人们观测星空，不难发现，恒星在颜色和亮度方面差别很大。对恒星作更深入的研究，可以明了存在着不同的恒星类型，它们不仅在物理性质（光度、直径、质量、密度、温度、压力、磁场、电场）和化学组成方面有很大的差别，而且其空间分布和运动特性以及年龄也有很大不同。研究这些特性，对于了解恒星的结构、起源、演化，对于由恒星组成的各种恒星系统的研究，以及对于哲学都有重大意义。

在天文学发展的过程中，在很长时期内主要研究太阳系中的天体，关于这些天体的物理性质和化学组成，人们已有较深的了解。然而，太阳系只是我们所能观测到的宇宙的极小部分，太阳也只是宇宙间无数恒星中很普通的一个。对恒星世界的研究，能帮助我们了解太阳的过去、现在和未来，又能帮助我们解决太阳系的起源和演化问题。

现在我们将深入到浩瀚的宇宙空间，对恒星以及由恒星组成的各种系统进行讨论。

§ 9.2 恒星的距离

测定恒星距离是很重要的工作。如果测定了恒星的天球坐标，同时又测定了恒星的距离，就能够确定它在空间的位置。知道了距离，才有可能计算出恒星的光度和在空间里运动的线速度，也才有可能研究恒星在空间里的分布，等等。

早在四百多年前，哥白尼就认为，恒星离我们比太阳远得多。到了1837年，白塞耳(S. W. Bessel)第一次成功地用三角测量法定出恒星的距离。到现在，已经用这种方法定出了约一万颗

恒星的距离。下面介绍测量恒星距离的方法和有关定义。

一、周年视差

恒星的距离可以借助于周年视差的测定而求得。恒星“周年视差”的定义如下：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，所构成的直角三角形的最小角 π 即为周年视差（图9.1）。在图9.1中 S 代表太阳， E 代表地球， T 代表恒星。由直角三角形 SET 得距离 r 和周年视差 π 之间的关系为

$$r = \frac{a}{\sin \pi} \quad (9.1)$$

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

$$r = \frac{a}{\pi}, \quad (9.2)$$

式中 π 以弧度表示。如果 π 以角秒表示，并记为 π'' ，则得

$$r = 206265 \frac{a}{\pi''}, \quad (9.3)$$

其中 a 和 r 都以公里为单位。若改以天文单位为长度单位， $a = 1$ ，则 (9.3) 式变为

$$r = \frac{206265}{\pi''} \text{天文单位}。 \quad (9.4)$$

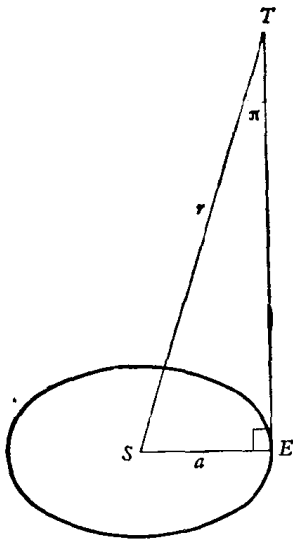


图9.1 周年视差的定义

二、秒差距和光年

谈到恒星距离时一般不用“公里”，也不用“天文单位”为单单位，因为用这些单位时数值将过于庞大。天文上通常使用的是下列两种单位：

秒差距——相当于周年视差 $\pi'' = 1''$ 的距离；

光年——光在一年内所走的路程。

秒差距和光年以及其它长度单位彼此之间的关系如下：

1 秒差距 = 3.259 光年 = 206265 天文单位 = 3.08×10^{18} 厘米；

1 光年 = 0.307 秒差距 = 63290 天文单位 = 0.95×10^{18} 厘米。

显然，恒星的距离若以秒差距为单位，就得下列简单关系式：

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ 秒差距。} \quad (9.5)$$

恒星的距离若以光年为单位，则有

$$r = \frac{3.259}{\pi''} \text{ 光年。} \quad (9.6)$$

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”和“百万秒差距”为单位。

三、三角视差

在一年内地球沿着轨道 $abcd$ 绕太阳运转一周。对地球上的观测者来说，位于黄极的恒星一年内在天球上画出圆 $a'b'c'd'$ (图9.2)，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；恒星愈远，圆的半径愈小。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。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。这种用直接测量周年视差的方法而得到的视差称为“三角视差”。

近几百年来，许多天文学家企图测定恒星的周年视差，但由

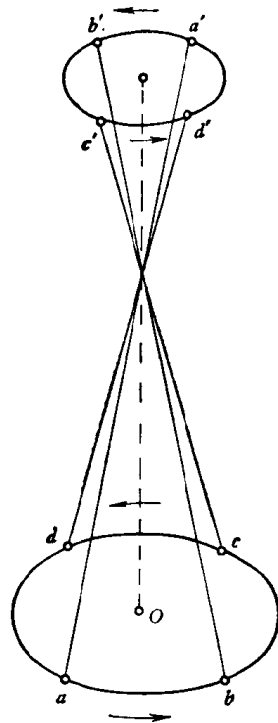


图9.2 视差位移椭圆

于恒星的周年视差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，白塞耳、斯特鲁维 (W. Struve)、汉德森 (T. Henderson) 等人分别对天鹅座61星、天狼星、织女星、南门二 (半人马座 α 星) 作出恒星周年视差的可靠测量。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。测定三角视差的误差在 $\pm 0''.013$ 和 $\pm 0''.004$ 之间，这决定于仪器、观测次数和恒星的亮度。误差平均值为 $\pm 0''.009$ ，而视差数值都小于 $1''$ ，这表示一般说来只对于离太阳110秒差距以内的恒星，视差值才大于误差。距离超过110秒差距时，视差的相对误差将超过100%。

四、确定视差的其它方法

对于某些类型的天体，可以运用一些特殊的方法来决定其距离。建立在光谱分析基础上的测定周年视差的方法，可以应用到那些不能用三角法直接测量出周年视差的遥远的恒星，这就是后面将介绍的“分光视差” (参阅 § 9.9)。有一种变星叫做造父变星，其光度和光变周期之间存在着确定的关系，称为“周光关系”，利用它可以求得恒星的“真”亮度 (光度)，然后可以算出视差，称为“造父视差” (参阅 § 10.2)。对于双星，可以利用由观测数据计算出的轨道要素而求得视差，称为“力学视差” (参阅 § 11.3)。对于某些星团，可以利用星团成员的运动数据而求出视差，称为“星群视差” (参阅 § 11.6)。在恒星天文学里，也讨论如何利用恒星的运动资料，运用统计方法来求出一群具有某种共同特性 (例如视星等相同、属于同一种光谱类型、属于同一种变星类型) 的恒星的“平均视差”。利用恒星光谱中星际吸收线的强度，也可以定出恒星的视差。星越远，星和观测者之间的星际物质越多，因而星际吸收线越强。这样定出的视差称为“星际视差”。

§ 9.3 恒星的视星等和绝对星等

在天体光度学里，以星等来表示恒星的亮度，亦即恒星在观测点和视线垂直的平面上所产生的照度。

一、视星等

如果取零等星的亮度为单位，则星等和亮度的关系根据普森公式为

$$m = -2.5 \lg E, \quad (9.7)$$

式中 m 表示恒星的“视星等”， E 表示亮度。恒星的亮度和距离有关，因此我们不能以视星等来衡量恒星的光度。

二、绝对星等

为要比较不同恒星的光度，可以设想把所有的恒星都移到某一标准距离，然后比较它们的视星等。现在规定把这个标准距离取为10秒差距，就是相当于视差为 $0''.1$ 的距离。恒星如果移到10秒差距的距离，它所具有的视星等称为“绝对星等”，以 M 表示。

以 E 表示观测到的恒星的亮度， r 表示以秒差距为单位的恒星距离， E_* 表示假想把恒星移到10秒差距的距离处它将具有的亮度。由于亮度（即照度）和距离的平方成反比，所以有

$$\frac{E_*}{E} = \frac{r^2}{10^2}.$$

将上式代入(9.7)式，便得到

$$M = -2.5 \lg E_* = -2.5 E + 5 - 5 \lg r,$$

即

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (9.8)$$

把距离 r 换为周年视差 π'' ，即得

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi''. \quad (9.9)$$

当已知某恒星的周年视差 π'' 和视星等 m 时，即可利用(9.9)式算出绝对星等 M 。另一方面，如果某恒星的绝对星等 M 能够由某种方法求得，而视星等 m 可以直接由观测得到，那末利用(9.9)式就可以算出恒星的视差 π'' 。

三、光度

太阳的绝对星等 M_{\odot} 可以用(9.8)式算出。因为太阳的距离等于1/206265秒差距，太阳的视星等为 $-26^m.74$ ，所以算出 $M_{\odot} = +4^m.83$ 。这就是说，如果把太阳放在10秒差距的地方，它的亮度将比 $5^m.0$ 星稍为亮一些。

在研究恒星及其集团时，常取太阳的光度为单位，因此

$$\lg \frac{L}{L_{\odot}} = -0.4(M - M_{\odot}), \quad (9.10)$$

这里 L 为恒星的光度， L/L_{\odot} 是以太阳光度为单位表示的恒星光度。

光度小的恒星称为“矮星”，光度大的恒星称为“巨星”。一般把绝对星等为 $+9^m$ 左右的恒星称为“矮星”，绝对星等为 -2^m 左右的恒星称为“巨星”，绝对星等为 -4^m 以上的恒星称为“超巨星”。恒星的光度相差非常大。我们观测到比太阳光度大50万倍的超巨星，例如天蝎座 ζ_1 ($M = -9^m.4$)，剑鱼座S ($M = -8^m.9$)，也观测到只有太阳光度五万分之一的矮星，例如佛耳夫359 ($M = +16^m.68$)。在遥远的旋涡星系内观测到的超新星，绝对星等可以达到 -15^m 以上，如果放在10秒差距的地方，它们将比满月还亮得多。

§ 9.4 恒星的大小

直接测定恒星的大小是很困难的，原因在于恒星离地球都很远，因此，它们的角径（即角直径）都很小，最大的也不超过

$0''.05$ ；而口径 5 米的望远镜在 $\lambda = 5550$ 埃处所成的恒星衍射像的角径（即第一暗环的角径）也有 $0''.054$ 。因此，在目前条件下，不可能用一般望远镜直接测量恒星的角径。对于角径较大的恒量，可以用干涉法和月掩星法来测定它们的角径。

一、干涉法

用干涉方法测定恒星角径的原理和光学中著名的杨氏实验的原理大致相同。在图 9.3 中， B_1 和 B_2 表示一板上的两个小孔，其距离为 D 。设通过的光束在这两点具有相同的位相。通过小孔后，两光束产生干涉现象，在屏上出现了明暗相间的条纹。考虑屏上 P 点的情况，令 $OP = l$ ，又令 Δ 表示程差， f 表示小孔和屏的距离。由于 $D \ll f$ ，得

$$\frac{\Delta}{D} \approx \frac{l}{f}, \text{ 即 } \Delta = \frac{lD}{f}.$$

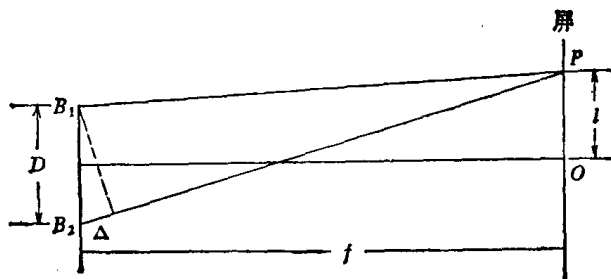


图 9.3 杨氏实验中两干涉光束的光程的概图

当 $\Delta = \pm k\lambda$ 时，两光束互相增强，在 P 点得明亮条纹。由 $\Delta = \frac{lD}{f} = \pm k\lambda$ ，有

$$l = \pm k \frac{\lambda}{D} f.$$

所以，相邻两亮条纹的间距为 $(\lambda/D)f$ 。干涉条纹是明暗相间的，所以亮条纹同其相邻的暗条纹的间距为

$$x = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D} f. \quad (9.11)$$

用一个上面有两个小孔的光阑把望远镜的物镜盖住，使两小孔的直径相等，而且它们对称地位于物镜光学中心的两边，便可把干涉原理应用于恒星角径的测定。用附加这种装置的望远镜观测一个角径极小（可设近于零）的恒星，将得到下述结果。当把两小孔的一个遮住时，星像的结构由圆孔衍射决定，其形状和整个物镜工作时一样，但由于有效口径减小，衍射像的大小相应地增加；当两个小孔都打开时，星像的结构将由圆孔衍射和双光束干涉两种作用共同决定，因而得到被一系列等间距的平行暗条割裂的圆孔衍射像，也就是得到具有圆孔衍射像轮廓的一系列明暗相间的条纹，如图9.4所示。两小孔相当于图9.3中的 B_1 和 B_2 。由(9.11)式看出，条纹间距 x 同 D 成反比，改变 D 即可以使 x 等于某一任意规定值。

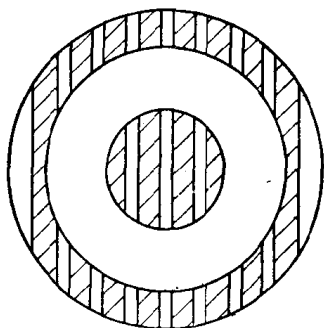


图9.4 一个恒星在干涉仪中的像
(有条纹部分表示亮区)

为了说明利用上述恒星干涉仪来测定恒星角径的原理，先讨论一下如何利用这种干涉仪来测定近距双星的两个子星的角距。设两子星的角径都很小，可以当作零。令 α 表示双星的两子星的角距， y 表示在物镜焦平面上两子星衍射像中心的距离， f 表示物镜的焦距。由几何光学得

$$\alpha = \frac{y}{f}. \quad (9.12)$$

光阑上的两个小孔都在焦平面上产生一组干涉条纹。旋转这个光阑，使两小孔连线平行于两子星星像的连线。调节 D ，当 $x = y$ 时，两组条纹便互相重叠，一组的亮条纹正好落于另一组的暗条纹上。在这种情况下，如果两个子星的亮度一样，条纹将完全消

失；如果两个子星的亮度不一样，条纹也将达到最模糊的状态。把此时的 D 记为 D_0 ，则由 (9.11) 和 (9.12) 式得

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D_0} \quad (9.13)$$

(9.13) 式表明，双星两子星角距的测量归结为 D_0 的测量。

用干涉方法测定恒星角径的原理同用上法测定近距双星两子星的角距是一样的。可以把一个恒星的圆面当做是由两个半圆面组成的，每个半圆面相当于双星的一个子星。可以设想每个半圆的光都由其有效中心 C （即半圆面面积的重心）集中地射出来（图9.5）。不难用数学方法证明，两半圆面有效中心的距离 $2q$ 等于 $(0.41 \times 2R)$ ，这里 R 为恒星的半径。令 β 表示恒星的角径， α 表示两半圆面有效中心的角距（相当于双星两子星的角距），得

$$\alpha = 0.41 \beta = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{D_0},$$

因此有

$$\beta = 1.22 \frac{\lambda}{D_0} \quad (9.14)$$

利用 (9.14) 式可以从 D_0 的观测值算出恒星的角径 β 。

恒星的圆面都很小，条纹消失所要求的 D_0 值很大。为了增大两小孔之间的距离，迈克逊 (A. A. Michelson) 设计了一个安装在望远镜前面的附件来代替有两个小孔的光阑，即在一横梁上安装 4 个平面反射镜，横梁可以绕望远镜的光轴旋转，光路如图9.6所示。两个 A 镜是固定的，两个 B 镜的位置可以改变，但必须使它们对称地位于望远镜光轴的两边。两个 B 镜的距离即 (9.11) 式中的 D 。

1920年皮斯 (F. G. Pease) 使用威尔逊山 2.5 米反射望远镜

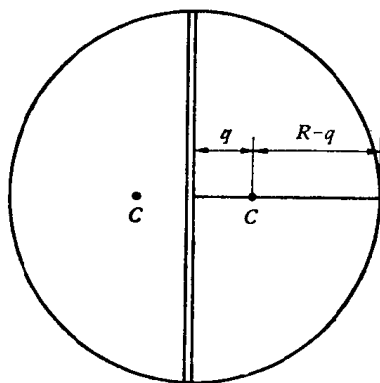


图9.5 将恒星分成两半，设想每个半圆面的光都由有效中心 C 发出