

上海远东出版社

一千亿颗太阳

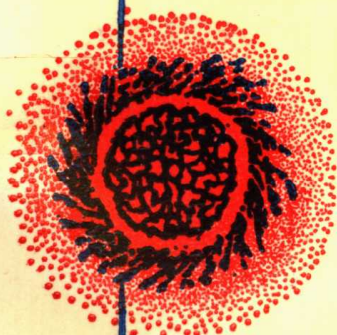
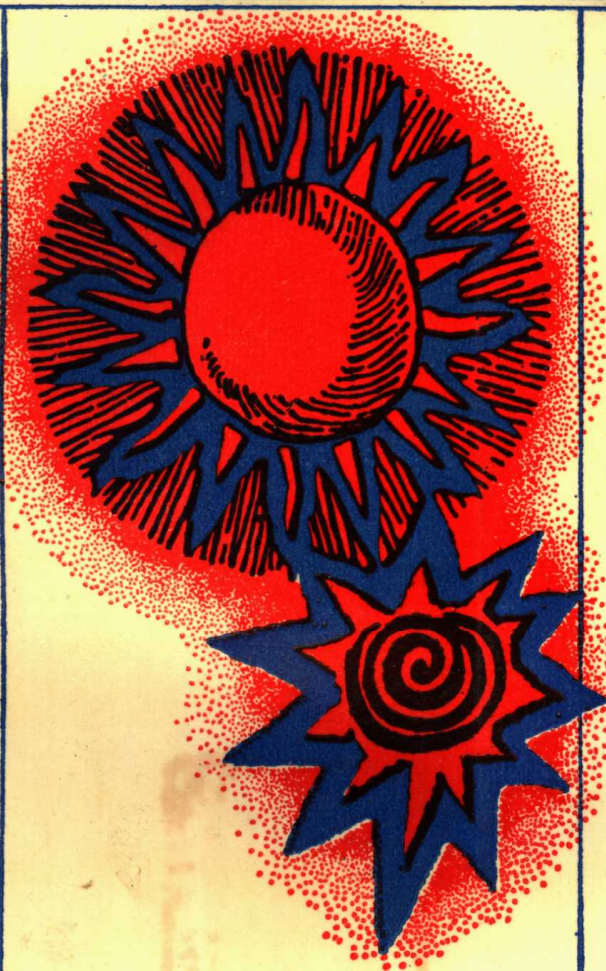
恒星的诞生、演化和死亡

鲁道夫·基彭哈恩

著

赵君亮
朱圣源

译



一 千 亿 颗 太 阳

恒星的诞生、演化和死亡

鲁道夫·基彭哈恩 著

朱圣源 赵君亮 译

上海远东出版社

沪新登字 114 号

一千亿颗太阳

恒星的诞生、演化和死亡

鲁道夫·基彭哈恩 著

朱圣源 赵君亮 译

上海远东出版社

(上海冠生园路393号 邮政编码200233)

新华书店上海发行所发行 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 160 千字

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数 1—4500

ISBN 7-80514-873-2/P·1 定价: 5.00 元

译者的话

本书作者鲁道夫·基彭哈恩是当代著名的天体物理学家，在恒星结构和演化方面有很深的造诣。他于1951年获德国爱尔朗根大学博士学位，1958年获大学教授资格。曾任教于爱尔朗根大学，并在美国的普林斯顿大学、俄亥俄州立大学、加州理工学院、洛杉矶加州大学等校任教和进行恒星演化方面的研究。目前是德国马克斯·普朗克天体物理研究所所长、慕尼黑大学名誉教授。还曾担任过欧洲《天文学和天体物理学》杂志、《天体物理学及空间科学》杂志的编辑。由于在天体物理方面的卓越成就，基彭哈恩曾两次获得荣誉奖励。

本书以银河系恒星为主要对象，对恒星的诞生、演化和死亡作了精彩、透彻的描写。书中涉及到恒星演化中的许多重要又饶有趣味的问题，例如，恒星是怎样形成，又是怎样死亡的？人类以太阳作能源还能依赖多久？1967年偶然发现的谜一般的射电脉冲星到底是什么样的天体？宇宙中的X射线星又是怎么回事？地球是否是银河系中唯一的有智慧生命的行星？总之，本书论述了当今所知的恒星演化方面的主要事实，提出了有待进一步研究的方向。本书不仅涉及了这些天体物理学理论的基本方面，同时还告诉读者科学家是如何工作的。因此本书既是一本关于天文学的书，又是一本关于天文学家的书。

本书所用语言通俗易懂，书中充满生动的想象和巧妙的比喻，是一本优秀的科普读物。由于作者是研究恒星演化的权威，书中内容集作者及当代天文界同仁的研究大成，故本书又同时具有科学的权威性和严密性。本书不仅适合于非天文专业的广大读者阅读，对专业人员也很有参考价值。

一些有国际影响的天文学家对这本科普读物给予了很高的评

价。洛杉矶加州大学天文学教授艾贝尔指出：“《一千亿颗太阳》这本书对恒星的诞生、演化和死亡作了极其精彩、妥贴的描述。……我竭力推崇本书。”美国里克天文台台长克拉夫特说，“本书是一位在恒星演化方面有真才实学的专家写的，它既具有知识性，又具有趣味性。……”美国康奈尔大学天文学教授哈威特认为：“《一千亿颗太阳》是一本精彩的书。近代天体物理的所有新进展及其理论解释在本书中都有精辟的讨论。”

译者热诚地希望读者能从阅读本书中得到充实的知识和精神享受。本书第十一章至第十三章由赵君亮翻译，其余部分由朱圣源翻译。赵君亮还对全书作了校阅。由于译者水平有限，难以把原作的文字惟妙惟肖地转译过来，内容上也难免有错译之处，敬请读者批评指正。

译者对上海远东出版社在本书翻译过程中给予的协助表示感谢。

译者
1992.6.18

前 言

本书孕育于一百多次讲座中。讲座的对象是非专业的一般听众，内容是关于激动人心的天体物理世界。本书最后成形于1978年秋对慕尼黑大学普通大学生作的一系列讲课中。书中一部分内容基本上参照了韦格特(Alfred Weigert)和我为《恒星和宇宙》杂志所写的短文。因为本书中许多内容是仅在近二十五年来才为人们所认识的，所以在某些章节中还穿插一些我个人对往事的回忆。我个人“经历”了这些发现。在某些场合，我的一些朋友以及我本人还有幸直接参与了这些发现。

我的许多朋友和同事帮助我排除了原稿中的错误和含混之处。希勒布兰德(Wolfgang Hillebrandt)，基尔克(John Kirk)，里特尔(Hans Ritter)，特吕姆佩(Joachim Trümper)以及恰纳特(Werner Tscharnuter)审阅了个别章节。冯·森布施(Kurt von Sengbusch)几乎校阅了全部内容。我的朋友、格廷根的数学家德·弗里斯(Hans Ludwig de Vries)逐字逐句地仔细阅读了全部原稿，并提出了许多宝贵的意见。对此我深为感谢。最后，如果不是我妻子的不断鼓励本书也是不可能写成的。本书的大部分原稿由亨妮希(Ursula Hennig)和韦斯琳(Gisela Wessling)打字。尽管一再需要修改和重打，她们却表现得极有耐心。对上述所有的帮助我都是非常感激的。

我还要感谢派帕·弗拉格(Piper Verlag)出版社，他们对本书甚为关注，并乐意地接受了我对本书装帧设计的建议。

鲁道夫·基彭哈恩

1979年7月于慕尼黑

序

本书演出的舞台是银河。剧中角色是银河中的 1000 亿颗恒星，以及地球上的数百名天文学家。

根据由自然规律所写出的剧本，物质聚集成我们称之为恒星的天体。无论是固体或液体都难以存在于恒星的高温中。因此，恒星是一个在其自身引力作用下聚在一起的气体球。我们把这些球中的一个称为太阳。从位于我们银河系外的一个观测者看来，太阳不过是银河 1000 亿颗恒星中一个普通的、中等大小的成员而已。它既不特别大，也不特别小，亮度也适中，简直没有任何出众之处。但是，对我们来说，太阳却是极端重要的，因为它是我们的生机所在。

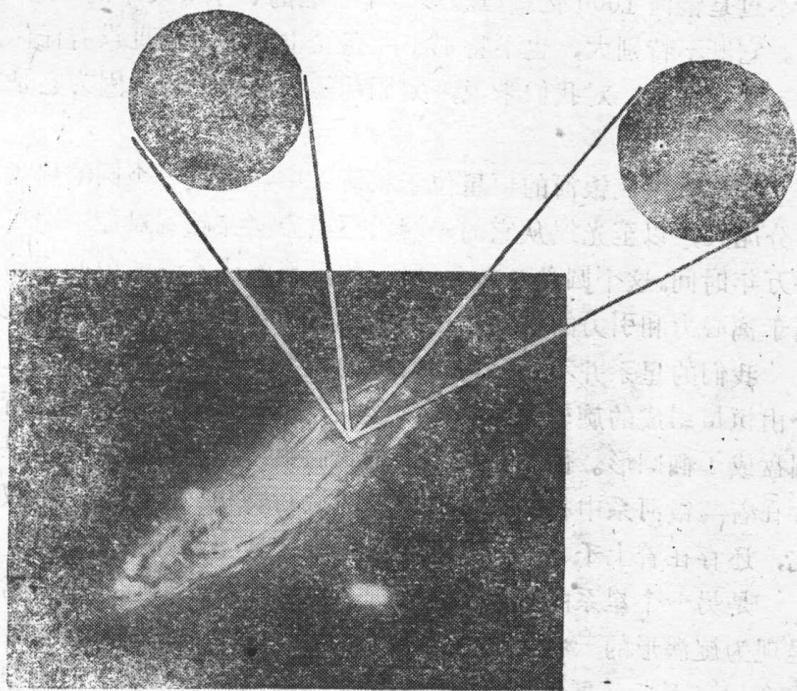
大部分组成银河的恒星位于银河系中。它是一个圆的扁盘，十分庞大，以至光线从它的一端沿直径方向穿越到对面一端要花十万年时间。这个圆盘在转动，所有的星星都绕着它的中心运动。由于离心力和引力的相互作用使它形成了错综复杂的式样。

我们的星系并不是宇宙中唯一的星系。仙女座大星云是又一个由恒星组成的旋转圆盘。因为是从一定视角方向去看它，所以圆盘成了椭圆形。仙女座大星云是我们银河系的肖像。在它里面存在着与银河系中相同类型的恒星，进行着相同的过程。不仅如此，还存在着上千、上百万甚至可能是无数多的其他的星系。

是另一个星系的正视图。银河系与天空中那些遥远的、常常呈现为旋涡形的云状天体属同一类型。这个事实直到 1920 年才被完全肯定下来。可是，这种称为旋涡星云的小而暗的、且常呈椭圆形的云状小盘却早就被发现了。远在 1755 年，当时年仅 31 岁的康德 (Immanuel Kant) 就在他的题为《宇宙的自然历史及关于天空的理论》一文中把它们与我们的银河系作了比较：“倘若在极其

遥远的地方有一个观测者，站在这个恒星世界(这里康德指的是我们的银河)之外观测它，那么它对观测者的张角很小，当位于它的正面观测时，它将象是一个不太明亮的圆斑，如果观测方向是斜的，它就会呈椭圆形。”康德得出结论认为，椭圆星云就是遥远的银河系。“一切都表明这些椭圆形的东西就是象银河系那样的宇宙系统，它的结构我们已经作了描述。”然而，直到两百年后这个结论才得到了确切的证实。

太阳，以及伴随着它的地球，几乎位于银河的中央平面上。如果从垂直银盘的方向朝外看宇宙，我们只能看到比较少的星星。但如果我们沿银盘面的方向看去，星星就很多了。这就如同图I.1所示的那样。在图I.2中可以看到，我们这个星系的扁盘看



图I.1 仙女座大星云这个例子表明，我们银河的光带是怎样形成的。处在星系盘内行星上的观测者如果朝盘平面外的方向看去，他所看到的图象就如左上角所示：天空中只有少量的星星。如果沿盘面方向观测，看到的图象就如右上角所示那样：在天空中延伸着一条明亮的由星星组成的光带。



图1.2 用广角照相机所拍摄的银河照片。图中看到的楔形暗条是由照相机造成的。

上去像是横贯夜空的一条光亮的缎带，这就是银河的光带。

但是，在银河系中不仅聚集有恒星，还有漂移着的亮云弥漫在恒星际空间。银河中约有百分之一的质量并不聚集成恒星，而是散布在星际空间，这些物质的化学成分与太阳的相似，但其密度却只有太阳的一亿亿亿分之一。在这些星际气体中还有直径仅为万分之一毫米的尘埃微粒。这些星际尘埃云就像是一层厚厚的帷幕，使位于它后面的星光变得暗淡，并使它们染上红色，就像地球大气尘埃使日落的太阳变红一样。

银河系中的恒星、气体以及尘埃在缓慢地运动着。它们绕银河系中心转一圈约需1亿年时间。尽管恒星的轨道运动很缓慢，但它们却并不平静。许多恒星形成了双星系统。在双星中有两颗子

星互相绕着对方以数年、数月、数天，甚至数小时的周期转动着。另一些恒星会像呼吸那样有节奏地膨胀和缩小。也有的星星有时会爆发，以至在一个短时期内会变得与银河系中1000亿颗恒星合起来一样亮。还有些恒星并不是稳定地发射星光，而是发出一阵阵的闪光。每次闪光的时间间隔约为百分之几秒。

地球这个小小的行星在绕着一颗称为太阳的不显眼的恒星旋转。地球上的一小批天文学家在各自的观测岗位上观看这出由自然界演出的巨型戏剧，并从中获得对宇宙的真知。他们在天文台里使用由地球上材料制成的仪器，监视着宇宙中的活动，他们还从地球上发射了火箭，载着望远镜监视天空。有些人把天文学家与占星家混为一谈，但天文学家否认两者之间有任何相同之处。还有一些人则很尊重天文学家，认为他们的思维和研究所涉及的领域，远在我们常人的想象力之外；并认为他们的工作使人们对创世*（至少对无生命世界的创世）有了进一步的理解。但作为严肃的科学家，天文学家并不企图从所观测到的现象中引出伦理准则。他们从事宇宙物质的研究并不由此使他们高人一等。致力于探索高深的知识并不是他们唯一的推动力。与人类社会中其他成员一样，他们也考虑到事业和竞争。不少天文学中的发现正是在这种推动下才取得的。当然，正如下面将会看到的，这并不否定在他们中存在着求知的渴望和友好的协作，他们的研究成果是人类工作的一部分，因而就像人类从事的其他工作一样，也难免会有不完善甚至错误的地方。尽管存在着逆流和困难，从巴比伦时代开始到近代天体物理学的顶峰，天文科学始终是向前发展的。

舞台布景已安置好，演员也介绍过了，让戏剧开演吧！

*这里借喻《圣经·旧约》第一篇《创世记》——译者注。

目 录

序	1
第一章 恒星漫长的生命	1
第二章 天体物理学家最重要的一种示图	11
第三章 恒星核工厂	28
第四章 恒星及恒星模型	43
第五章 太阳的生命史	57
第六章 大质量恒星的生命史	73
第七章 高度演化的恒星	89
第八章 脉冲星并不脉动	104
第九章 当恒星从别的恒星中窃取物质的时候	126
第十章 X射线星	143
第十一章 恒星的归宿	163
第十二章 恒星是怎样诞生的	175
第十三章 行星和它们的居民	196
附录 A 恒星的速度	212
附录 B 怎样度量宇宙	215
附录 C 恒星质量的测定	219

第一章 恒星漫长的生命

地球在直径为3亿公里的近圆形轨道上绕太阳公转，转速约为每秒30公里。在轨道运动中地球自始至终受到太阳照射，接着又把接收到的能量几乎全部释放掉。释放能量的过程主要是在从向阳面（即白天）转到背阳面（黑夜）的时候进行的。

正是这种吸收和释放能量过程的交替进行，才使地球表面维持在适宜万物生长的温度。当然，从太阳接收到的能量并没有全部释放掉，其中一部分就通过化学反应贮存到植物中。人和动物能够活下去就都要靠贮存在植物中的太阳能。我们燃烧煤和石油，利用的就是地球早期贮存着的这种能量。带动水电站水轮机的也还是太阳能，由于太阳的辐射使海水蒸发，由此造成降雨，为河流提供了水源。地球表面向阳处每一平方米接收到1.36千瓦功率的太阳辐射。这么大的能量在我们看来确实是很可观了，但比起太阳每秒钟向所有方向辐射的总能量来，这还是微乎其微的。假如要用千瓦来表达这个总辐射能，则需要用24位数字，但地球所接收到的那部分能量真是连一个零头都不到。

太阳的能源是什么？

太阳连年不断地向宇宙中发出大量的光和热，也就是发出大量的能量。这一切是从什么时候开始的？它还能这样维持多久？这种辐射会不会逐渐减弱，从而把地球上的生命冻结在冰层之中？或者相反，这种辐射是否可能日趋激烈，以致海洋沸腾、生灵涂炭？事实上，即使用最灵敏的测量仪器，在我们观测太阳的全部历史中，都不曾发现太阳辐射强度有什么长期性的变化。太阳的辐射在一个很长很长的时期内都没有减弱，这个判断是根据

史前地壳中有机生物的探索得到的。在南非德兰士瓦地方，在元古代和太古代之间的硅化岩石中发现了像蓝-绿海藻那样的较高等的单细胞生物，使人们对 35 亿年前地球上就有生命的讲法更为信服。为了使地球上生命能得以存在，那时的太阳光照就应该与今天的一样强。

太阳这个天体，它的大小和它所包含的物质的数量是有限的，因而它不可能有无限多的能量。因为引力是质量大小的标志，所以我们可以用太阳引力来测定它的质量。地球和其他行星一起在太阳引力约束下沿各自的轨道绕太阳公转，在每一瞬间其惯性离心力与引力相平衡。由此就可以计算太阳的引力以及质量(见附录C)。用吨为单位，表示太阳的质量要用28位数来表达。如果我们要表示出太阳所产生的能量与每克太阳物质的关系，我们得到每年每克太阳物质约产生 5 焦耳的能量。与人体每克质量每年产生的热量相比，这个数值似乎小得太不相称，后者约是前者的1000倍。但人类必须不断按时吸取营养，以补偿能量的耗散，而太阳物质在数十亿年时间内则是全靠自力更生敛聚能量。

太阳在这样漫长的时间内维持这么强的辐射，它的能源是什么呢？是化学反应吗？让我们来看一看最简单的化学产能过程：燃烧。假想太阳是由烟煤组成的，那么由燃烧产生的能量只够维持太阳辐射 5 千年左右。因此如果太阳的燃料是煤，它早该熄灭了。燃烧过程如此，其他任何的化学反应过程也是如此，它们根本就不足以成为太阳的能源。

直到上世纪末，人们还在不断努力寻找太阳的能源。既然太阳内部的化学反应被排除了，也许太阳的能源来自其外部。太阳系是无数个称为流星体的小尺寸固态物体的家园。它们在行星际运动着。流星体进入地球大气层时会发热、燃烧，有的在大气层中完全汽化，我们正是通过这种星体陨落现象才了解流星体的。有些流星体在大气中并没有燃烧殆尽，它们会掉到地面，这就是天象馆中展览的陨星。太阳质量的引力很大，它必定会吸引那些在太阳系中游弋的流星体，使它们以很高速度撞到太阳上。在撞击的

时候，它们的动能会转变成热能。能不能用这样产生的热能来解释太阳的辐射呢？1克流星物质撞击太阳时可能产生一亿九千万焦耳的能量。为了用它来解释太阳的辐射，每年应有百分之一地球质量的流星体掉进太阳。太阳质量的这种增长是不可能不被发现的，因为太阳质量的增加会引起地球公转轨道的变化。从而，随着时间的推移，使一年的长度显著地变少。但事实上，根据古代日、月食的记录得知，我们这个行星系的相对运动并没有发生过实质性的变化。于是，不得不抛弃流星体撞击太阳以加热太阳的产能假设。

有的天文学家曾设想，太阳自身的引力是它的能源。十九世纪德国物理学家和医生赫姆霍尔兹(Hermann von Helmholtz)就提出过这种可能性。可是，如果太阳只放出其引力能而没有得到补充，它就会渐渐地收缩，它的直径就要变小。每克太阳物质就会象电影慢镜头里的下落运动那样慢慢地掉向太阳的中心。就像流星体落进太阳一样，这时的确会有能量释放出来，但与前面的假设相反，此时太阳物质将自行塌缩。在这过程中，太阳的质量和它对地球的引力作用都可以保持不变，但这个过程只够提供太阳辐射1000万年。与太阳照耀到现在的几十亿年时间相比较，连百分之一还不到，因此太阳靠自身引力作用提供能源的假设也被排除了。

太阳及恒星的原子能

原子核能是我们迄今所知的最丰富、最有效的能源。我们今天所用的电能中已有一部分是由核电厂提供的。在那里，重的铀原子核分裂为较轻的原子核。这种核裂变会释放出能量。但如果我们能掌握合适的操作过程，把较轻的原子核聚变为较重的核，那么核电厂的效率就会更高。经研究证明，氢核的聚变能效特别高。

像大多数恒星一样，太阳主要是由氢元素组成的。因此，认

为太阳的能源可能来自于其内部氢的核聚变，不是很合乎逻辑的吗？下面我们就要看到，太阳的能源确实就是核聚变。在第三章中我们要详尽地讨论恒星中发生的核过程。正是核反应使得太阳发光，从而也使人类得以生存。但在证明这个论点之前，让我们先来考虑一下在太阳和恒星中，氢原子聚变为氦原子所产生的结果，以及由所释放的核能使太阳和恒星发光的这个事实。

当1克氢聚变为氦时，要释放出6300亿焦耳的能量，这个数值是同样重量烟煤燃烧时所放出能量的2千万倍。如果烟煤可以维持太阳辐射5千年，那么核能可以维持太阳辐射的时间将延长2千万倍。由此算得太阳的寿命可达1000亿年。我们终于找到了使太阳足以辐射了数十亿年的一种能源，这就是由氢聚变为氦时所释放的核能。根据我们的估计，贮藏在太阳氢原子中的核能将够用1000亿年。这个估计事实上是太乐观了。因为太阳成分中只有70%的是氢，所以核燃料的供应就比我们刚才设想的要少一些。此外，我们以后将会看到，当恒星中10~20%的氢用掉后它就会明显地表现出核能枯竭的样子。于是，核能供应的时间就减少为70亿年。与地球上生命存在的时间相比，这个时间算是足够长的了。

太阳是一颗恒星，就像肉眼看得见的7000颗恒星及为数更多的借助望远镜才能看得见的恒星一样。除了少数例外，它们都以氢为主要成分。如果它们也是通过由氢聚变为氦而得以发光，那么我们同样也能计算出它们的核能源还能够维持多久。对太阳来说，这个数字是70亿年。而有些星星，例如室女座最亮的恒星角宿一，则很快就可能会出现能源枯竭。因为有一颗伴星绕着角宿一作轨道运动，因此它的质量就可以测定（见附录C）。角宿一质量约为太阳的10倍，因此有10倍的氢可供使用。而它的亮度是太阳的1万倍。由于它辐射出去的能量是如此巨大，它的氢供应量所能维持的时间就只有太阳的千分之一，因此角宿一就只能再发光数百万年时间。从宇宙学角度来看这段时间是很短的。但毕竟在100万年前较高级的哺乳动物就已经生活在地球上了；古爪哇

人也早已漫步在爪哇森林之中*。

恒星的年龄

尽管储存在太阳和其他恒星中的核能非常丰富，但随着时间的推移，这样丰富的核能也会枯竭，因此恒星也一定会日趋苍老。我们能否称得上是恒星生命史的目击者呢？我们能否观测到一颗恒星随着时间的流逝、在耗尽了它所贮存的能量后变得暗淡无光呢？太阳以及角宿一的例子表明，恒星的这种变化如果用人类生存的时间尺度去衡量是显得极其缓慢的。事实上，肉眼所看得到的恒星，其现在的性质与公元前150年希腊天文学家喜帕恰斯(Hip-parchus)所记录的情况是一样的。因为对恒星的科学探索不过是近期的事情，我们还不掌握关于恒星长期发展变化过程的第一手资料。尽管某些恒星会表现出暂时的亮度变化，但这种变化与长期演化效应并没有直接的联系，它们就像是烛光的颤动，这种颤动与因贮存在石蜡中的能量消耗导致蜡烛烧完并无直接的联系。我们并没有直接观测到恒星老化的效应。假想我们能够活得足够长的话，我们应该是看得到恒星衰老过程的。

天文学家们力图掌握恒星演化发展的规律，就好比短命的果蝇企图观测人类成长的过程一样。果蝇寿命只有一天，在这一天内它显然无法看到人类成长的明显的迹象。人的成长当然比果蝇慢得多，可是果蝇可以看到许多不同类型的人：男人、女人，矮个、高个，浅肤色的、深肤色的。可它并不知道自己所看到的究竟是不是不同类型的人呢，还是同一种人处于不同的年龄阶段。果蝇所能得到的只是短暂的印象。它不会知道也不可能知道矮个子是否永远长不高，浅肤色的人皮肤是否会变深色，男性能否变为女

* 在我的演讲中经常用古爪哇人作例子。在一次演讲中，一位德国的日报记者来找我，说他想写一段关于我作讲座的报道，并想附一幅照片。他问我能否搞到一张爪哇人的照片。我说，我演讲的内容是星星，爪哇人不过是随便提到的例子。如果用爪哇人的照片作讲座的特写镜头怕会偏离正题。他说：“我懂了，”考虑了一下又说，“那么就让你的照片作为特写照片吧。”

性。对星星来说，人类处在与果蝇同样的地位上。天空存在着许多不同种类的恒星，有些类型的星星简直就像谜一样引人，例如天狼星边上就有一颗奇特的星星在绕它转动。而我们所能得到的只是所有恒星整体的一个暂短的印象。

天狼星的伴星

天狼星是夜天中最亮的恒星。1844年柯尼斯堡(Königsberg)天文台的贝塞尔(Friedrich Wilhelm Bessel)发现天狼星存在着一种勉强可以觉察到的周期性运动(图1.1)。他得出结论说，天狼星有一颗卫星，天狼星及其卫星一起以50年为周期绕着公共重心运动。由于看不到卫星，他的想法受到了怀疑。1862年，美国

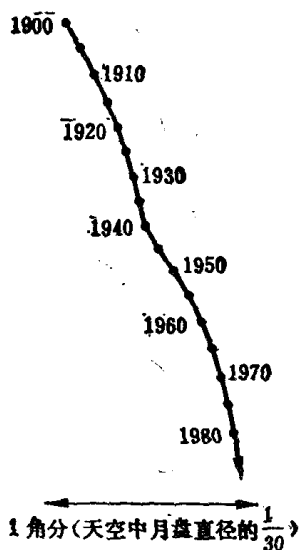


图1.1 1900~1985年间天狼星在天空上的轨迹。就像所有的“恒星”一样，天狼星也在天空中缓慢地移动。图中的运动方向是从左上到右下。这种运动是由于天狼星与太阳绕银河系中心运动的轨道不同而引起。天狼星轨道运动的均匀性受到了一个周期为50年的扰动，图中表现为在1940年处有一个凹口。从图下面的比例尺可知，天狼星在天空中的位置移动和位移的波动都是很微小的。只有用最精密的测量仪器才能发现它们。有规律地重复出现的扰动是由一个绕主星转动的暗伴星引起的。伴星每50年接近主星一次，产生了对均匀移动的干扰。