

# 钱德拉塞卡和白矮星

全号 徐仁新

1983年，73岁的钱德拉塞卡（Chandrasekhar）获得当年的诺贝尔物理学奖。得奖主要原因是他在恒星结构和演化领域所做的贡献，即对白矮星质量上限的研究。这部分工作，是他本人在20世纪30年代完成的，距获奖时隔50年。当时媒体称此为钱德拉塞卡“迟来的春天”。21世纪的今天，当我们再度回顾这段历史，深感带给人们的启发还是相当深刻的。

恒星演化的历史，从诞生到死亡，是抵抗星体自身万有引力的历史。恒星死亡之后，往往会留下一个致密的残骸。白矮星就是恒星死亡的产物之一。太阳约50亿年之前诞生。大概再过50亿年，太阳也将会耗尽内部核燃料，成为一颗白矮星。

人类证认的第一颗白矮星是天狼星的伴星——天狼星B（图1）。20世纪初，通过大量的观测积累，人们认识到天狼星有一颗伴星。它的质量和太阳相仿，光度却是太阳的万分之一，表面温度比太阳还要高，大约是8000度。这么高表面温度的天体，辐射主要集中在白色波段，又很暗；剑桥大学著名天文学家爱丁顿（Eddington）教授称它为“白矮星”。

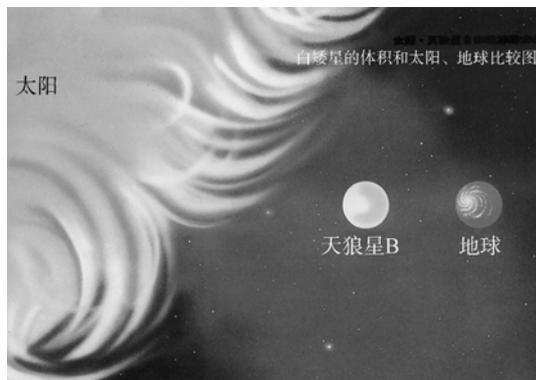


图1 白矮星体积和太阳、地球比较

白矮星这么暗，主要是它半径很小，只有地球这么大！白矮星的密度约是水密度的100万倍，这么致密的物质放在天上，引起了当时人们的广泛关注。爱丁顿认为，在白矮星内部原子核和电子都成为自由粒子，从而使得白矮星半径这么小，物质处于高密状态。如果认为这些自由粒子像经典理想气体一样提供压强，理论计算发现气体压强不足以抵

抗白矮星自身的引力；因此在经典物理的框架内，很难理解白矮星。这在当时被称为“白矮星之谜”。爱丁顿的那一说法也未得到普遍的认可。尽管如此，天文学家关于白矮星的观测依然进行，发现了更多的白矮星；这对当时的物理学提出了挑战。真正解决白矮星之谜，要等到20世纪20年代后期量子力学和量子统计的出现。



图2 青年时代的钱德拉塞卡

1925年春，泡利（Pauli）在原子核外电子分布研究的基础上提出“在一个量子状态上至多拥有一个电子”的概念。把泡利的这一不相容原理应用到统计物理上，是1926年上半年费米（Fermi）完成的。同年8月狄拉克（Dirac）也发表了他关于这种新统计的文章。按照当时的习惯，狄拉克关于量子统计的这篇文章要找一位推荐人。这个推荐人就是剑桥大学的福勒（Fowler）教授。福勒很快意识到，这种新的统计可以解决“白矮星之谜”。1926年12月，福勒撰文指出，白矮星内部电子处于量子简并状态（即接近零温的量子电子气）；电子处于简并状态时表现出的压强称为简并压，是它抵抗着白矮星自身的万有引力。这是人们第一次用量子统计来解决具体问题，而且第一次就应用于天文领域，用来揭开困扰人们很久的“白矮星之谜”。只是福勒仅考虑了非相对论的情形。这一工作的进一步（下转63页）

以太。

1882 年, Michelson 任职于俄亥俄州克里夫兰的 Case 应用科学院, 在那里他和化学家 Edward Morley 合作研究, Morley 帮忙改进 Michelson 在柏林开始的实验。新的装置在基本结构上和原先的设计相似, 但敏感度高出许多——它使用更多的镜子让光束来回反射, 使光束经过的途径变长。Michelson 和 Morley 在地下室的实验室做试验, 为了将振动降至最低, 整套设备放置在漂浮于水银池中的巨大石箱上, 也因此这套装置可以旋转。

但甚至以此精巧、敏感的设计, Michelson 和 Morley 还是无法探测到行经以太的证据。1887 年 11 月, 他们将此失败的结果发表于《美国科学杂志》(American Journal of Science), 论文的标题为“论地球相关的运行与发亮的以太”(On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether, 论文网址: [www.aip.org/history/gap/Michelson/Michelson/html](http://www.aip.org/history/gap/Michelson/Michelson/html).)

虽然这个实验让 Michelson 和 Morley 非常失望, 但它却在物理界掀起了一场革命。有一些科学家起先一面保留以太存在的看法, 一面试着解释此结果, 例如 George Fitz Gerald 和 Hendrik Lorentz 就

分别主张说, 移动的物体在运行的方向会收缩, 使得光速对于观察者来说似乎都相同。之后虽未能确知爱因斯坦是否真受此实验的影响, 但他于 1905 年, 以开创性的特殊相对论原理, 摒弃以太的观念, 解释了 Michelson-Morley 的结果。

即使 Michelson 承认爱因斯坦相对论的重要性, 但他和 Morley 却都一直相信光必定是在以太中的振动。

虽然 Michelson 干涉仪无法探测到不存在的以太, 但它用于其他的测量却是很有用。Michelson 用它来测量镉光波长以作为国际标准米的长度, 还于 1920 年最先用它来测出一个遥远星球的张角。Michelson 于 1901 年当上美国物理学会第二任会长, 1907 年, 因他的精密光学仪器与所做的测量, 成为第一位获得诺贝尔奖的美国科学家。1889 年, Michelson 搬到麻州 Worcester 的克拉克大学, 后来又于 1892 年转到芝加哥大学。他重回以前的研究, 更精密地测量光速, 还继续从事更多的精密测量, 直至 1931 年离开人世。

(萧如珀, 自由业; 杨信男, 台湾大学物理系; Email: [Snyang@phys.ntu.edu.tw](mailto:Snyang@phys.ntu.edu.tw))

~~~~~  
(上接 66 页)完善, 由 4 年之后(1930 年)钱德拉塞卡完成。

钱德拉塞卡出生在印度, 当时为英国的殖民地。1930 年, 20 岁的钱德拉塞卡以全班第一的成绩录取为剑桥大学的研究生(图 2)。二战时移居美国, 曾任“*Astrophysical Journal*”(ApJ)的主编, 历时近 20 年。钱德拉塞卡在任期间把 ApJ 由一个芝加哥大学的校报, 发展成为世界顶级的天体物理期刊。钱德拉塞卡工作涉及理论天体物理的多个方面, 包括恒星结构和演化、流体动力学、恒星大气、辐射转移、磁流体力学、相对论天体物理、黑洞物理等, 大致是 10 年更换一个主要研究方向, 待若干篇论文完成之后, 每每以一本专著作为总结。关于白矮星的想法, 是他在去英国求学的途中得到的。

在从印度到英国的轮船上, 钱德拉塞卡抓住了白矮星物理的关键点。按照后来钱德拉塞卡撰文纪念福勒时的说法, 福勒的工作已经为解决白矮星问

题指明了道路, 但还有两点需要完善: 一是用相对论的能量动量关系, 计算完整的物态方程; 二是结合流体静力学平衡方程, 具体计算白矮星结构。这两点具体工作由钱德拉塞卡完成。他的计算结果令人吃惊: 电子简并压支撑引力是有限度的(当时包括爱丁顿在内的天文学家都很难接受这一结论)。当白矮星质量太大自身引力太强时, 电子简并压也不能平衡星体的引力。这个极限质量后来就称作钱德拉塞卡质量, 约为 1.4 倍太阳质量。如果星体超过钱德拉塞卡质量, 星体因自身引力主导而继续塌缩。凭借这一重要发现和其他工作, 钱德拉塞卡获得了 1983 年的诺贝尔物理学奖。

可见, 白矮星研究成就了一代理论物理和天体物理大师! 物理学和天文学研究前沿的融合历史上就很紧密; 而如今, 这一融合正在成为一股不可抵抗的洪流。

(全号 南京大学天文系 210093; 徐仁新 北京大学天文系 100871)