

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”。

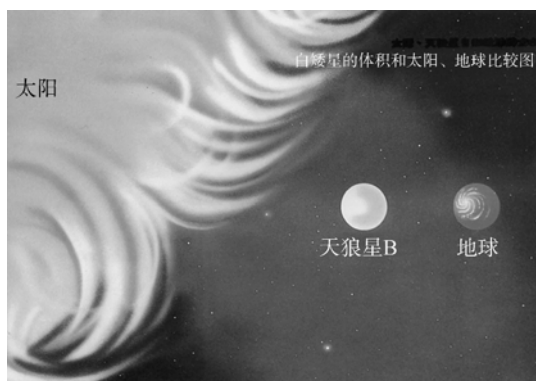


图1 白矮星体积和太阳、地球比较

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）