

189 白矮星系列文章 2：解释的惯例

主题

当教科书简单涉及“白矮星”这一主题时，通常是这样表述这一内容的：

“如果恒星的质量比两个太阳质量小时，就会形成半径大约为 10^7m 的白矮星。泡利原理禁止质子、电子和中子在同一位置和同一时刻具有相同的量子态。由于这一事实，引力所导致的密度增加过程会中止。粒子（在这一情况中主要是电子）在力的作用下会被提升到较高的能级。这一情况阻止其进一步收缩。我们把它叫做退化物质。”

有些教科书说得更详细一些，内容有大约半页，并至少运用下面一些术语：

- 势阱
- 能量量子化
- 波耳兹曼分布
- 退化电子气
- 费米子
- 泡利原理
- 自旋取向

缺点

1. 不管怎样，其目的似乎要解释为什么白矮星不会塌缩。然而，这个原因并不与地球不会塌缩的原因不同，也与固体或液体是坚实的原因不同。通常，我们不会去解释为什么在地球上很难压缩凝聚态物质。这就给我们这样的印象：白矮星是一种不同寻常的物质，是难解释的，如果没有量子力学是无法理解的；在白矮星上能有效运用的物理理论，在地球上并不也能有效运用。

2. 白矮星具有明显不同于地球上的物质所具有的性质。但是，这似乎并不值得我们去作任何讨论和解释：当我们在白矮星上添加物质时，它不会变大，反而会变小。对于这一现象，更多的涉及经典引力理论，而不是量子物理学。

历史

上面的描述引自专业文献或大学物理教材。这种努力是需要的，因为我们有计算钱德拉塞卡尔极限（Chandrasekar limit）的目标。为此，我们需要知道两个方程：状态方程和引力定律。将这两个方程联立起来可得出一个微分方程，即埃姆登方程（Lane-Emden equation）。这是一个不容易解出的方程。对于状态方程，

因为没有包含温度，它其实很简单。也之因为这个方程没有包含温度，它只描述压强和密度之间的关系。它也不能直接测量，因为这个测量需要知道压强，而这压强不能在任何实验室中产生。这样，我们不得不通过计算来知道它们，这就需要上面的引文中所说的努力。

然而，在中学物理课堂中已经比较全面地向学生介绍了量子力学的内容，尽管没有提到状况方程。

这个例子说明，中学物理课程在引入专业化的物理知识时是如何失去学习目标的。对于普通教育来说，我们想从专业人员所提供的哪些物理主题中来确定学习目标？如果不明确这一问题的答案，就会出现学习惯例（learning ritual）所描述的那种情况。

建议

首先要解释一个不足为奇的事实：只要压强足够大，我们可以随意地将固体或液体压缩。如果一个致密的天体的质量变得越来越大，它的压强会非常大。有些白矮星就会发生这种情况：它们从伴星中不断地吸取物质，形成为一个双星系统。

通常，我们的经验是：如果给一个沙堆不断地添加沙子，这堆沙会变得越来越高。对白矮星来说情况不是这样。当有物质添加在白矮星上时，其物质会收缩，趋向于中心。这样，其引力场强度不断增大，引力也不断增大。引力的增大导致整个星球的收缩。对于沙堆就不会发生这种情况。这是因为，地球是这引力的唯一来源。沙堆和它的大小对它们来说并不重要，因为它与地球整体相比显得很小。

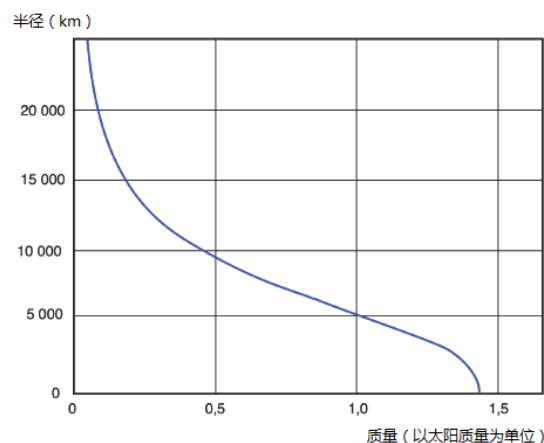


图 1. 白矮星的收缩过程

图 1 是白矮星的半径随其质量的增加而减小的函数图线。这条图线告诉我们

它最终是怎样塌缩的。当原子核相互接触时，它就塌缩了。

我们也可以这样说，当类日星变成白矮星时，原子凝结了。当白矮星变成中子星时，原子核凝结了。原子核要比白矮星（和地球）更坚实。

我们也可以这样说，上面这些细节是由状态方程 $\rho(p)$ （即胡克定律的拓展）决定的。然而，对于所有这些内容，请不要与泡利原理、费米子等联系起来。

Friedrich Herrmann

（陈敏华，2020年4月15日译于浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学）