

(一) 恒星生命史

我们生活的宇宙，不仅延伸的空间极为广大，而且持续的时间十分久长。在这无所不包的“大千世界”里，一切事物皆有其诞生、发展乃至衰亡的历史。无论是一个粒子、一个人、还是一个星球，可谓莫不如此。“寿终正寝的星球”，说的是各种恒星终其一生的最后归宿。所以，也可以说那是一些“走向坟墓的恒星”。人们最熟悉的恒星乃是我们的太阳，兼之它又是一颗相当典型的恒星，所以我们的故事也就从太阳讲起。

(一) 太阳的燃料和年龄

1847年，德国学者亥姆霍兹率先提出了“能量守恒定律”：能量既不能无中生有，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式。那么，太阳的能量来自何方呢？

假定太阳完全由碳和氧组成，那么为了维持其目前的发光速率，这堆巨大的混合物只消几千年就会焚烧殆尽。

假如是陨星撞击太阳的动能转化成光和热，那么由于陨星的积累，30万年后太阳的质量就会增加百分之一。这样它的引力就会与日俱增，地球的公转就会因此而变快。然而实际上并没有发生这样的情况。

1853年，亥姆霍兹又设想太阳自身在不断收缩，太阳物质的引力势能转化为向中心沉落的动能、继而又转化为热和光。他算出，倘若开始时太阳的物质布满了今日地球轨道以内的整个空间，那么经过18,000,000年它就会缩成目前的大小。但是，天文学和地质学中有大量证据表明，太阳和地球的年龄都远大于这区区的18,000,000年。显然，这种引力收缩的图景解释不了太阳的能量来源，它的产能效率太低了。

1896年，法国物理学家贝克勒尔发现了放射性。人们从此得知，一种元素的原子核可以转变为另一种元素的原子核。在各种原子核转化过程中释放出来的能量就是“核能”。假如太阳的能量源来自某种核反应过程产生的核能，那么根据爱因斯坦狭义相对论的一项

重要结论——质量乃是极端集中的能量形式，在适当的条件下，很小的质量就可以转化为巨额的能量——便可以算出：为了确保太阳象现在这样发光，就必须在每一秒钟内将4,600,000吨物质转化为能量。这个数字听来似乎很大，但是与太阳本身的巨大质量相比却微不足道。太阳纵然以这样的速率丧失其百分之一的质量，历时亦需十万亿年以上。事实上，太阳有生以来就差不多一直象今天一般大。

问题是：核能是否能在这么长的时间内始终维持太阳的光和热？倘若能够的话，它的核燃料又是什么？更具体些说，是放射性衰变吗？

这涉及到太阳的化学组成。人们当然不能到太阳上去实地考察它的化学成分，可是它的光谱却向我们泄漏了天机：太阳上大约有百分之七十一是氢，百分之二十七是氦，所有其它元素的含量皆微乎其微。太阳的能量来源必定涉及氢和氦的变化，其它元素的含量太少，不足以满足这方面的要求。

氢原子核就是一个质子。氦原子核则由两个质子和两个中子组成。四个氢原子核可以“聚变”而成为一个氦核——当然，这时就会有两个质子转化为中子。这种聚变过程乃是氢弹的能源所在。今天我们知道，它确实也是太阳的能量来源。太阳就像一个硕大无朋、永远在爆炸着的氢弹。不过，它自身的巨大质量产生的强大引力又使它不致被炸得粉身碎骨。

如果太阳起初是纯氢的，那么它大约要花200亿年的时间才能形成目前这么多的氦。但是人们业已证明，太阳一开始就有相当数量的氦，由此可以推算出太阳的年龄大约是50亿岁。

(二) 恒星的光谱和赫罗图

只有在好几百万度的高温下，才能发生氢原子核转化为氦原子核的聚变。那么，太阳上有那么热吗？

太阳光谱告诉我们：太阳表面的温度接近6000K，这当然不足以使氢发生聚变。然而，太阳表面不断地向太空中散发着热量，却并未因此而冷下来。由此可见必定有能量从太阳的深处涌向表层。况且，太阳巨大的重力也未能压垮其自身的结构，这显然是它内部的巨热造就了某种膨胀趋势，足以与重力造成压力抗衡。1926年，英国天文学家爱丁顿由此推断：太阳中心的温度高达15,000,000K。所以，在太阳中心完全可以发生氢核的聚变。1938年，旅美德国物理学家贝特终于描绘出一幅在这样的温度下可能发生、而且恰能产生适当能量的各种核反应的合理图景。这项贡献使他在三十年后获得了1967年度的诺贝尔物理学奖金。

除了太阳以外，其它恒星的情况又如何呢？泄漏天机的依然是光谱。不同恒星的光谱互有差异，这反映出它们的温度、化学组成和运动状况各不相同。

1867 年,意大利天文学家赛奇首先将各种恒星的光谱分为四类。如今则普遍地划分为十一个光谱型,各型之间的差别主要由恒星表面温度不同造成。其中七个最主要的光谱型,按温度由高而低递降的次序排列,是 O、B、A、F、G、K 和 M 型。每个光谱型又分为十个次型,且以数字 0 到 9 标记,例如 A0、A1、A2 直至 A9,再接下去便是 F0、F1 等等。相继两个次型的差异甚小,这表明相邻次型的恒星表面温度差得不多。太阳的表面温度是 6000K,属 G2 型。天空的头等明星“天狼星”的表面温度是 11,000K,属 A1 型。在天穹上移动得最快的恒星“巴纳德星”则很“冷”,其表面温度尚不足 3000K,属 M5 型。

1905 年,丹麦天文学家赫兹普隆发现有些 M 型星的发光能力很强,即“光度”很大;有些 M 型星的发光能力则很弱,即光度很小;似乎并不存在介乎两者之间的 M 型星。

所有的 M 型星有一点是共同的:它们都很冷,颜色发红,而不象灼热的恒星那样呈蓝白色。赫兹普隆据此推测,有些 M 型星之所以很亮(光度很大),必定是由于它们的体积特别大,因而发光的表面积也特别大。它们称为“红巨星”。那些幽暗的(光度很小的)M 型星则应该很小,它们称为“红矮星”。后来的事实证明,赫兹普隆当年的推理完全正确。

美国天文学家罗素也做了类似的研究工作。他作了一个图:恒星的光谱型沿水平方向排列,光度则沿垂直方向排列。于是,非常亮的 O 型星和 B 型星便位于图的左上方;暗淡的 K 型和 M 型星则在右下方。人们将这种图称作“赫兹普隆-罗素图”,简称“赫罗图”。

大约有百分之九十九的恒星都集中在赫罗图的一条对角线上:从左上角到右下方。它称为“主星序”,位于主星序上的恒星称为“主序星”。在图的右上方也有一些恒星,它们的温度很低光度却很大,因此正是红巨星。

罗素曾经认为,恒星由一团团稀薄的冷物质收缩而成。收缩时粒子下落的动能转化为热能。当它变得红热时便成为红巨星。继续收缩又使它变得更小更热,直至成为最热的 O 型星。随后,恒星因得不到热量补充而冷却,也就是顺着主星序往下滑,直至变成橙色和红色,成为红矮星;最后,它完全熄灭了,终于变成一颗“黑矮星”——事实上,这已经不能算作一颗真正的恒星了。

这种理论流行了十来年。但是,当爱丁顿于二十年代推论出恒星内部性质的时候,罗素的见解便落伍了。

(三) 恒星的身世和寿命

1924 年,爱丁顿指出,质量越大的恒星引力就越强,与这种引力抗衡的内部热量必然也越大。所以恒

星越重就越热,从而也越亮,这叫做“质光关系”。

一、团质量很大的尘埃-气体物质凝缩成一颗恒星时,其内部必须变得极其灼热方能与强大的引力抗衡,于是就形成一颗 O 型星。一团质量稍小些的物质引力也稍小,较小的内热便能顶住它,这样的星只能热到成为一颗 B 型星。质量更小的物质团将会形成 A 型或 F 型星等等。太阳的质量不可能使它比今天更热,它从一开始就成了一颗 G 型星。

一颗大质量恒星所含的氢当然比一颗小质量恒星多。但是,大质量恒星消耗氢的速率也快得多,因为它必须具有很高的温度才能维持自身不被极其强大的重力压垮。如果一颗恒星的质量翻一番,它的氢储备就增加了一倍,但是它挥霍氢燃料的速率却要加快 16 倍!所以一颗恒星越大它的寿命反而越短。太阳所拥有的氢燃料可供它象今天这样持续发光 100 亿年,换句话说,也就是可使它在主星序上逗留 100 亿年。目前的太阳可谓是正当盛年。

比太阳更亮更热的 F 型星在主星序上逗留的时间为五、六十亿年,A 型星则为三十亿年。大麦哲伦星云中的剑鱼座 S 星是已知光度最大的恒星之一,它挥霍氢的速率快得只能在主星序上逗留二、三百万年。

总之,恒星依靠氢聚变为氦而发光(也就是它逗留在主星序上)的时间是很长的,这便是我们在主星序上可以见到全部恒星中的百分之九十九的原因。

然而,恒星的氢一旦消耗到不再能产生足够的热与其引力抗衡、也就是它不能再停留在主星序上时,又将发生什么情况呢?

天空中有许多“星团”,每个星团都由许多恒星组成。同一个星团中的恒星是同时由一大团古老的气体物质形成的。倘若这些恒星的质量都相同,它们就会以同样的速率衰老,现在的亮度也应该全都相同。

然而,这些恒星一开始就有大有小。又亮又大的恒星已经消耗掉的氢比又暗又小的恒星多得多。因此,我们在星团中看到了处于生命史中不同阶段(也就是不同年龄)的恒星。通过对不同年龄恒星的大量研究,天文学家们终于对它们的生命史有了比较清晰而完整的认识。它可以简单地归纳为以下几个阶段:

1. 一团气体和尘埃收缩变热,直至进入主星序。这是恒星的孕育、诞生和童年阶段,太阳经历这一阶段需历时数百万年。

2. 恒星逗留在主星序上,依靠氢聚变为氦而发光,直到其氢储量降低到不能再产生足够的热量为止。这是恒星的青壮年时期,如前所述,太阳可在此阶段逗留一百亿年。

3. 这时,由于恒星内部的热量开始匮乏,乃至不能抵住其自身的巨大重力,从而导致其内核突然坍缩。坍缩时释放的引力能中,一部分使恒星核心的温

度进一步升高，另一部分能量则涌向外层，驱使外壳急剧膨胀。膨胀时，恒星体积增大，表面温度下降，从而颜色变红成为一颗红巨星。至此，恒星便进入了它的老年。从现在起再过五十亿年，太阳将开始膨胀而向红巨星转化。

4. 在红巨星获得充分发展时，恒星内部的温度越来越高，从而促使氦原子核也发生聚变，依次形成更复杂的碳原子核，氧原子核……。最后至多变到铁核为止。每一阶段的聚变都会产生一定的能量，但是它们维持的时间都远不如氢聚变为氦那么长。从铁核不可能取得能量，无论使它们进一步聚合(聚变)还是使它们分裂(裂变)都无济于事。至此，恒星便走向了它生命的尽头。

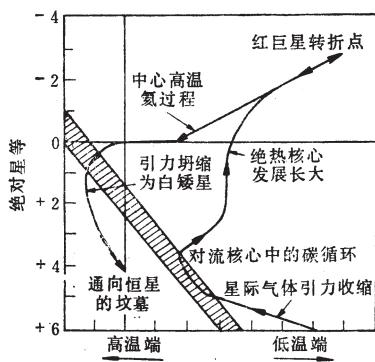


图1 恒星演化在赫罗图上的反映——恒星的“演化程”

不过，并非所有的恒星都有着相同的最后归宿。按照质量的差异，不同的恒星步入坟墓时分别以三种不同的面目出现。它们乃是性质各异、然而都十分奇特的超高密度天体，在天文学中，它们分别称为“白矮星”、“中子星”和“黑洞”。
（彭秋和、卞毓麟）

（待续）