

2012年,参宿四会爆炸吗?*

孟祥存^{1,†} 韩占文²

(1 河南理工大学物理化学学院 焦作 454000)

(2 中国科学院云南天文台 昆明 650011)

摘要 恒星是宇宙的基本组成单元,中小质量的恒星(如太阳)占绝大部分.中小质量的恒星演化到最后,外壳被损失掉,成为漂亮的行星状星云,而恒星的核则成为白矮星.大质量恒星演化到最后会发生超新星爆炸,产生巨大的能量,留下一个中子星或黑洞.参宿四是一颗大质量恒星,种种迹象表明,它将发生超新星爆炸,但在2012年爆炸的可能性微乎其微,天上不会出现两个“太阳”,也不会对地球上人们的生活产生实质性的影响.

关键词 恒星演化,超新星,参宿四

Will Betelgeuse explode in 2012 ?

MENG Xiang-Cun^{1,†} HAN Zhan-Wen²

(1 School of Physics and Chemistry, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

(2 National Astronomical Observatories/Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China)

Abstract There are billions of stars in the universe and most of them are low- or intermediate-mass ones like our Sun. Such a star lose its envelope in its last stages of evolution, which becomes a beautiful planetary nebula, while the core evolves to a white dwarf. A massive star, on the other hand, may die by explosion, producing a vast amount of energy and leaving a neutron star or a black hole. Betelgeuse is a massive star and recent observations indicate that it may explode in the near future. However, the chances for it to explode in 2012 are negligible, so there will not be "two suns" and we will not be in any danger.

Keywords stellar evolution, supernova, Betelgeuse

近日,网上流言,有天文专家称,2012年地球上的人们可能看到一颗最明亮的恒星爆炸成超新星,它将产生有史以来最明亮的光影展示,将使黑夜变得犹如白昼,如同天空中出现了两颗太阳.更有甚者,有人将其与玛雅文明预言的2012年世界末日联系起来,以配合传言.这颗备受关注的恒星叫做参宿四(shēn xiù sì),西名 Betelgeuse,又名猎户座 α (α Orionis),是一颗处于猎户座的红超巨星,是夜空中最亮的几颗恒星之一^[1].那么这颗恒星真的会在2012年爆炸吗?如果爆炸的话,天空真的会有两个太阳出现吗?这颗超新星爆炸,又会对地球造成什么影响呢?为了回答这些问题,我们还是从什么是超新星,什么样的恒星会发生超新星爆炸说起吧.

恒星是宇宙中最普通的天体,其数量甚至比地

球上沙子的粒数还要多.这些宇宙中的“沙子”,绝大多数(97%)都和我们的太阳类似,最终会演化成白矮星(一类质量和太阳差不多但体积却和地球相仿的高温高密的天体)^[2,3].类似太阳的恒星在其中青年时期,内部都进行着稳定的核反应,将4个氢原子核聚变成一个氦原子核,同时释放出大量的核能,用以支持它每天辐射出的巨大能量.与此同时,从恒星内部还会发射出一种几乎没有质量而又不带电的粒子——中微子.这种神秘粒子几乎不与任何物质发生相互作用,比如从太阳辐射出的中微子甚至可以无阻挡地穿过地球.天文学家将处于这一阶段的恒

* 国家自然科学基金(批准号:11003003,11033008)资助项目
2011-03-18 收到

† 通讯联系人. Email: xiangcunmeng@hotmail.com

星叫做主序星. 我们的太阳就正处于这样阶段. 因为太阳已经存在了 46 亿年, 而它的主序阶段的寿命大概有 100 亿年, 所以天文学家经常说我们的太阳处于稳定的中年期. 在这一时期, 所有的恒星都显得默默无闻, 而且这种状态占去了它们一生寿命 90% 的时间. 不过, 并非所有恒星的寿命都相同, 而是和我们人类一样, 生命有长有短. 恒星寿命的长短和它的质量有关, 质量越大, 它的寿命反而越短, 比如我们的太阳, 它的主序阶段的寿命大概是 100 亿年, 而一个两倍太阳质量的恒星, 寿命却不足 20 亿年.

当恒星中心的氢全部聚合成氦以后, 这种核反应只在围绕核心之外的一个壳层中进行, 从而为其表面提供向外辐射的能量. 这时, 恒星的外包层会变成完全对流的状态, 并不停地向外膨胀, 甚至达到其原来半径的上百倍. 比如我们的太阳, 它再过大约 50 亿年, 中心的氢将会耗尽, 其外包层会一直膨胀到地球轨道以外. 届时, 金星、水星、地球和月亮都将被太阳所吞没, 所以人类是早晚都得从地球移民到其他星球的, 假如到那个时候人类还存在的话. 不过读者不要担心, 时间还早得很. 在恒星外包层膨胀的同时, 其中心的氦核会因为氢壳层的燃耗而增加质量, 进而体积不断收缩, 温度会变得越来越高, 一直高到氦原子核也可以发生聚变反应(生成元素碳和氧, 也有可能生成氦和镁, 这取决于恒星的初始质量和化学元素组成).

当恒星中心的氦点燃以后, 恒星体积收缩, 进入一种叫做水平分支星的状态, 这时恒星的能源来自中心的氦燃烧和氦核外面的氢壳层燃烧. 在这个阶段, 恒星度过了其生命不到 10% 的时间, 安静地享受着一生中最后的宁静时光. 当中心的氦也燃烧完以后, 生成的碳和氧所组成的核心部分处于一种高温高密的状态, 那时这个碳氧核的质量和太阳的质量差不多, 但体积却只有地球那么大. 恒星这时又来到了它似曾相识的过程: 外包层膨胀. 此后恒星的宁静生活被打破, 它开始活跃起来, 并最终走向死亡. 所以外包层的膨胀可以看作是恒星走向死亡的前奏. 这时恒星的结构如图 1 所示, 中心是质量不断增加而体积却不断减小的碳氧核, 核外是氦燃烧壳层, 再往外是氢燃烧壳层, 这两个燃烧壳层为恒星表面提供能量辐射, 再往外是不断膨胀的高度对流的外包层. 随着双壳层燃烧的进行, 包层不断地膨胀, 恒星进入一种叫做热脉动变星的阶段. 在这个阶段, 恒星会周期性地膨胀和收缩, 外包层中的物质开始大量地从恒星逃逸, 恒星开始经历剧烈的物质损失, 甚

至每秒钟的损失可以达到 1 亿亿吨, 直到将恒星的整个外包层抛掉, 裸露出内部的碳氧核. 也许是恒星自己觉得它这一生太过平凡, 想在临死之前给人们留下一点值得回忆的美好印象, 它通过一种叫做行星状星云的形式来结束自己的生命(见图 2)^[4,5]. 行星状星云可能是宇宙中最美丽的图景.

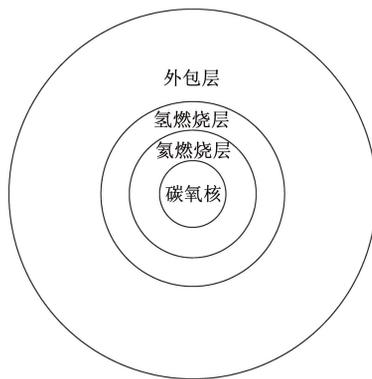


图 1 中心氢燃烧完之后的恒星结构示意图

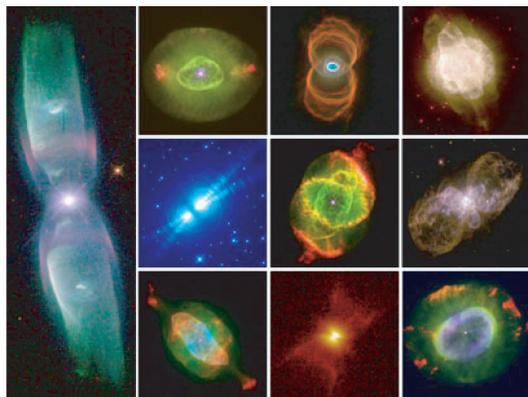


图 2 哈勃空间望远镜拍摄的绚丽多彩的行星状星云(来自美国国家航空和航天管理局(NASA))

在行星状星云之后, 恒星在某种程度上说已经是一颗死星了(白矮星), 在其内部没有任何的核反应, 恒星只能靠损失储存在自身内部的热能来维持它表面的辐射. 随着内部能量的逐渐损失, 白矮星的温度逐渐变低, 亮度也越来越暗, 直到成为一颗死寂的黑矮星, 从人们的视野中彻底消失. 至于黑矮星之后是什么样子, 我们现在还不清楚.

事实上, 恒星的一生就是和引力抗争的一生, 在恒星处于中心氢燃烧和中心氦燃烧的时候, 抵抗引力的是理想气体压强, 温度越高, 压强越大, 而维持高温的能源就是不断进行的热核反应; 中心氦耗尽之后, 碳氧核当中以及白矮星当中抵抗引力的是电子简并压强, 这种压强只有电子密度非常高的时候才会起作用, 而且和电子气体的温度没有关系, 只和电子的数密度有关. 上面描述的恒星演化过程, 宇宙中超过 97% 的恒星都会经历, 这些恒星的质量通常

都不会超过 8 倍的太阳质量(确切的质量界限依赖于恒星的化学组成成分)^[2,3]. 如果恒星的质量超过了这个界限,那么恒星的结局将是宇宙中最壮观的图景——超新星.

先简单介绍一下超新星是如何定义的^[1,6]. 宇宙中有很多天体,它们的亮度会在短时间内发生剧烈变化(变星),根据变化幅度的不同,可以将这些变星分为矮新星(dwarf nova)、新星(nova)、超新星(supernova)和超强新星(hypernova). 如果某一天晚上,当我们仰望夜空的时候,发现某颗恒星的亮度增加了 10—20 倍,我们把这样的变星叫做矮新星;如果这颗恒星的亮度增加了 1000—2000 倍,这样的变星叫做新星;如果恒星的亮度增加了 1000—2000 亿倍,甚至比整个星系的亮度还要亮,这样的变星就叫做超新星了;如果一颗变星最终的亮度比超新星还要亮 10 倍,那么,这样的变星就叫做超强新星.

超新星在中国古代被称为客星,比如中国宋代 1054 年记载的客星爆发,就被认证为是现在天空中著名的蟹状星云的前身(见本期封面图)^[7],这种客星就是那些质量超过 8 倍太阳质量的恒星在死亡时的回光返照.

这些大质量的恒星在其生命的大部分时间里(一般而言它们的寿命都不到 1 亿年),也会经历那些较小质量恒星所经历的过程:中心氢燃烧阶段—氢壳层燃烧阶段—中心氦燃烧阶段—双壳层燃烧阶段. 不过这些大质量的恒星在双壳层燃烧阶段以后,尽管外包层也会膨胀并快速地损失物质,但是却不会马上将外包层丢光变成一颗白矮星,而是因为质量太大的缘故,中心的温度太高,以致于内部的碳和氧也开始发生核反应,生成更重的元素(硅、镁等). 这些更重的元素不断地在中心聚集,并且温度不断升高. 当中心的温度达到一定程度以后,这些元素也会发生聚变反应,生成比它们更重的元素. 不过需要说明的是,这些核反应所经历的时间比恒星早期的氢燃烧和氦燃烧要短得多,所有这些反应所经历的总时间也不会超过恒星总寿命的 1%. 核反应链的尽头是铁族元素,因为铁族元素的原子核的平均结合能最高,对于它们而言,无论是裂变还是聚变都要吸收能量,所以在恒星中心的元素变成铁族元素之后,中心的核反应就停止了. 这时恒星内部看起来就像是一个洋葱,是分层的(如图 3),最外层是氢、氦,往里是碳、氧,再往里是硅、镁,最核心是铁族元素. 尽管中心的核反应已经停止了,但中心铁核外面的核反应并未停止. 铁核的质量还在继续增加,温度也

在继续升高. 温度越高,意味着内部辐射场中光子的能量越大. 这些高能光子会和恒星中的铁族元素的原子核不停地发生碰撞,当光子能量高到一定程度的时候,甚至可以将原子核打碎. 上面说过,铁族元素的原子核的结合能最高,在被打碎以后会吸收大量的能量,于是恒星内核的温度骤降,压力骤减,此时恒星中心没有什么力量可以抵抗引力,所以内核以几乎是自由落体的方式塌缩,释放出巨大的引力能. 塌缩到中心的物质受到引力的挤压,电子被压到原子核里边,以致于将原子核压碎,几乎所有的物质全都变成了中子. 一旦恒星中心的中子核形成,其中就会出现类似电子简并压的中子简并压. 中子简并压比电子简并压更强,可以抵抗引力,使中子核不会继续塌缩. 然而从上面落下的物质会撞到中子核表面,然后被反弹回去,形成巨大的冲击波,将整个恒星炸碎,同时释放出不计其数的中微子,也有可能伴随着瞬间的伽马射线爆发,这就是超新星爆炸了. 爆炸发生时,恒星外包层所有的物质全部被抛射到宇宙空间当中,同时在遗迹里留下了一颗中子星. 中子星是比白矮星更致密的天体,一般来说它的质量介于 1.4 倍和 3 倍太阳质量之间,而直径却仅有大概 10km,中子星上 1cm^3 的物质在地球上要 10 万艘万吨级的轮船才能承载. 超新星爆炸是恒星一生的结束,但同时也是其最辉煌的时刻,可能是恒星厌倦了自己平凡的一生,才采取这样的方式来结束自己的生命吧.

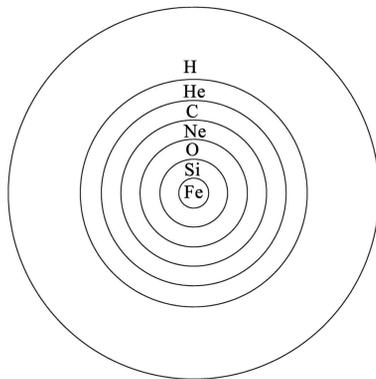


图 3 恒星晚期内部结构的示意图

如果在恒星中心的铁核塌缩时超过了 3 倍太阳质量,那么当它塌缩成中子核时,中子简并压仍然不足以抵抗引力,这时,我们已知的自然界中就没有任何一种力可以抵抗引力了,塌缩的物质就将跌入无情的万丈深渊——黑洞. 至于初始质量多大的恒星可以最终演化成中子星,多大的才能变成黑洞,目前科学上并没有一个特别明确的界限. 一般认为若恒

星的初始质量大于 20 倍太阳质量,都有可能最终演化成为一个黑洞。

上面描述的过程只是一个大概的图景^[8],我们目前还有太多的东西没有搞清楚,甚至还没有任何一个模型能够真正得到爆炸的结果。

下面我们来回答本文开头提出的问题.第一个问题是,参宿四真的会在 2012 年爆炸吗?的确,在不久的将来,参宿四将会爆炸,并形成一颗超新星.这其实并不是一个新闻了,天文学家早就注意到参宿四正处在爆炸之前最后的宁静状态.与具有相似质量的恒星一样,参宿四已然处在生命的暮年.最近几十年来,各种研究都发现参宿四在不停地向外抛射物质.而且在最近的十几年间,它的体积缩小了 15%^[9].欧洲南方天文台更是清晰地捕捉到了参宿四物质逃逸的图像^[10,11].但是必须明确说明的是,这个“不久的将来”是以恒星的寿命为计量单位的.现在,天文学家普遍认为,参宿四将在未来 100 万年内爆炸,其中一些人甚至乐观地认为它可能在未来几千年内爆炸.我们虽然不能排除它在未来一两年内爆炸的可能性,但是这种可能性实在是太小了。

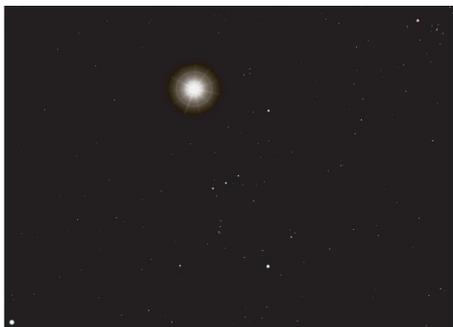


图 4 参宿四爆炸时的效果图(来自 Wikipedia)

第二个问题是,爆发后天上真的会出现两个太阳吗?我们可以非常肯定的说,完全不可能.为了描述天体看起来有多大,天文学家引入了角直径的概念来描述这种天体的“大小”,相同个头的天体,离我们越近,其角直径越大;处在相同距离处的天体,个头越大,其角直径越大.反过来,离我们遥远的或者个头小的天体角直径较小.从地球上,离我们约 8 光分的太阳角直径约 30'(角分),像一个耀眼的金盘,而距离 643 光年的参宿四,尽管直径比太阳大 1000 倍,角直径也只有 0.04"(角秒),即使超新星爆发时直径会增大为太阳系直径的 3 倍,其角直径最大也只能是 0.416',还不到太阳的 1/4500,太阳系行星中角直径最小的海王星,也是它的 5 倍以上.所以参宿四即便爆炸了,也还只是一个肉眼不能分辨的小点(如图 4).另外,尽管参宿四爆炸时很亮,但

最亮的时候也只能达到满月的亮度,还不到太阳亮度的 50 万分之一。

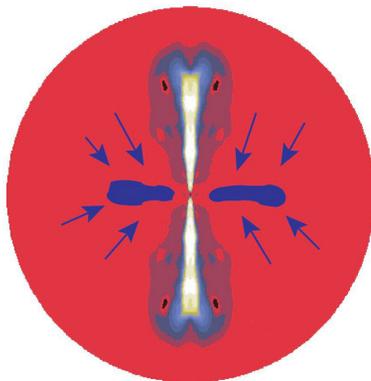


图 5 超新星爆炸时产生伽马射线的示意图(来自 M. Aloy 的数值模拟^[12])

第三个问题是,这个超新星爆炸的话,会对地球造成什么影响呢?我们说过,在发生超新星爆炸的时候,会同时释放出不计其数的中微子,并且有可能瞬间放出大量的伽马光子.超新星 1987A 爆炸的时候,在地球上人们就捕捉到了来自这颗超新星爆炸时释放出的中微子.因为中微子是几乎不和任何东西发生相互作用的,它不会对地球乃至我们的身体有任何影响.事实上,每时每刻都有不计其数的来自太阳的中微子从我们身体中穿过,我们还不是好好的?至于超新星爆炸时是否会产生大量的伽马射线爆发目前尚不很确定,不过人们一般认为,如果一个大质量的恒星在爆炸的时候有很快的自转,那么伽马光子就会沿着对称轴的方向喷射出来,而且喷出的伽马光子具有很好的指向性,只分布在一个张角只有 12 度的小的锥形内(如图 5 所示)^[12].如果我们地球刚好处于这个锥形内,并且这颗超新星又离地球很近的话,无疑是灾难性的,伽马射线会破坏地球的臭氧层,使地球直接暴露在太阳的紫外线照射之下,从而对地球的生态圈乃至人类自身造成难以估量的破坏.不过不用担心,参宿四爆发不会对我们有任何影响.首先,参宿四的自转轴与它和地球的连线之间有 20°的夹角,我们不在那个 12 度的锥体里面.其次,是否参宿四的自转速度足够快到会发出伽马射线也还不一定呢.而且,即使参宿四有很快的自转,爆发时产生了伽马射线爆发,并且我们又非常不幸地刚好处在这个小锥形内,这些伽马光子也不会对我们有丝毫影响,因为参宿四距离我们实在是太遥远了.除了上面提到的这两种能量之外,可见光与红外光对地球生态环境的影响甚微,而其他的宇宙射线在太阳磁场、地球磁场以及大气层的影响下

也难以发挥威力,所以天上多出一颗明亮的星星其实对我们的生活完全没有任何实质性的影响。

其实网络上的 2012 年传言最早出自澳大利亚南昆士兰大学物理系高级讲师 Brad Carter 博士之口。他说,一切迹象都暗示着参宿四的大爆炸即将发生,不过对爆炸发生的时间,Carter 博士说的却是:“或许就在明年,或许就在一百万年之后。”他说的完全没有错,但是某些人为了追求新闻效应而任意地将 Carter 博士的原话给篡改了。所以当我们从网络上或者某些以讹传讹的人口中听到某些骇人听闻的消息后,千万不能立刻相信,而是应该去看一看原文是如何说的,否则真相难明。

参考文献

- [1] Ridpath I. (Editor). A Dictionary of Astronomy. Oxford: Oxford University Press, 1997
- [2] Kippenhahn R, Weigert A. Stellar Structure and Evolution. Berlin: Springer-Verlag, 1990
- [3] Eggleton P. Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars. Cambridge: Cambridge University Press, 2006
- [4] Han Z, Eggleton P, Podsiadlowski P. Mon. Not. R. Astron. Soc., 1995, 272: 800
- [5] Balick B, Frank A. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 2002, 40: 439
- [6] Cox A N. Allen's Astrophysical Quantities. New York: Springer-Verlag, 2000
- [7] Hester J J. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 2008, 46: 127
- [8] 李宗伟, 肖兴华. 天体物理学. 北京: 高等教育出版社, 2000 [Li Z W, Xiao X H. Astrophysics. Beijing: Higher Education Press, 2000]
- [9] Townes C H, Wishnow E H, Hale D D S *et al.* Astrophys. J., 2009, 697: L127
- [10] Kervella P, Verhoelst T, Ridgway S T *et al.* Astron. Astrophys., 2009, 504: 115
- [11] Ohnaka K, Hofmann K-H, Benisty M *et al.* Astron. Astrophys., 2009, 503: 183
- [12] Aloy A, Muller E, Ibanez J M *et al.* Astrophys J., 2000, 531: L119