

# 如何“炸掉”一颗星星

## 超新星模拟尝试破解恒星死亡之谜

在用了3个月的时间试图“炸毁”一颗恒星后,Hans-Thomas Janka及其团队成员终于看到了他们一直在等待的东西。和全世界大多数耐心的放火狂一样,他们观察着模拟的巨大恒星——以细致入微的方式得以呈现——慢慢趋向爆发。每天,他们的超级计算机仅能记录该恒星生命5毫秒的时间。

不过,坚持自有回报。在该团队此前进行实际模拟的尝试中,这颗恒星的“烟火秀”总是逐渐消失。这一次,Janka观察到驱动爆发所需的冲击波持续增长,同时模拟的恒星变成了超新星。“就在那一刻,我们意识到,20年来梦寐以求的时刻终于到了。”德国马普学会天体物理学研究所理论天体物理学家Janka说,“我们正在走向阐明这些巨大恒星爆发机制的道路。”

半个多世纪以来,物理学家一直怀疑,由在恒星核心处形成的难以捉摸的粒子——中微子产生的热量能生成爆炸。而爆炸在1秒内辐射的能量比太阳整个生命周期产生的都要多。但他们在证明该假设时遇到了麻烦。爆炸过程是如此复杂——包含广义相对论、流体力学、核和其他物理学,以至于计算机无法模拟该机制。这带来了问题。“如果你无法重现它,就意味着你无法理解它。”Janka表示。

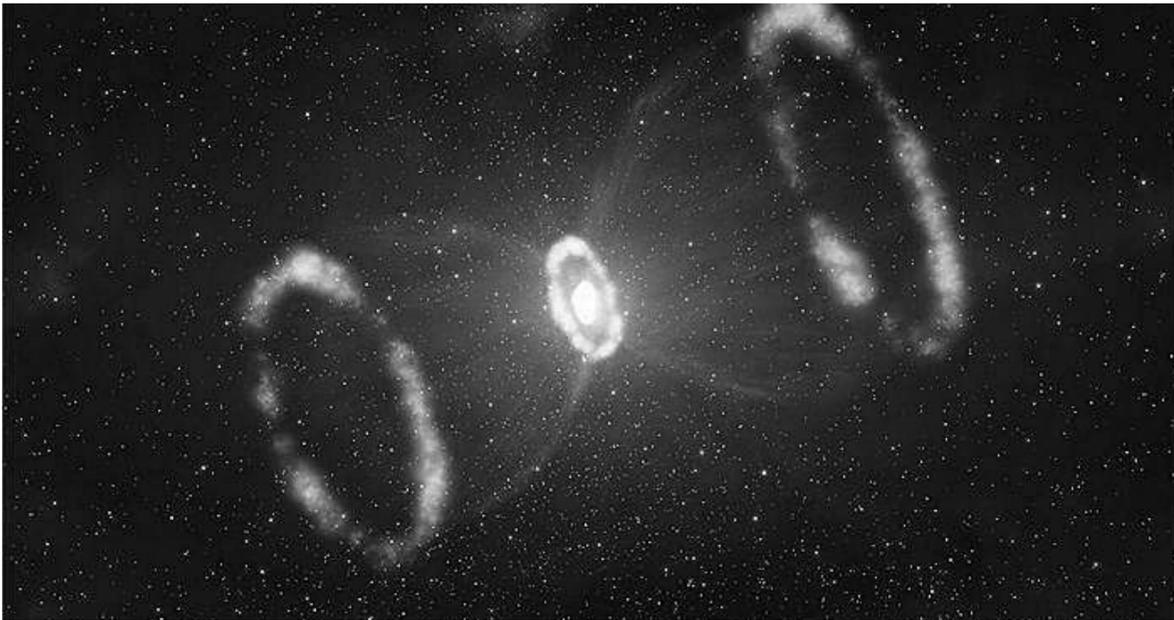
如今,得益于原始计算能力的提升以及在更深入了解恒星物理学机制方面所作的努力,该领域取得了巨大进展。Janka进行的模拟标志着物理学家首次获得最常见超新星类型爆发的真实3D模型。几个月后,一个位于美国橡树岭国家实验室的竞争团队利用更重且更加复杂的恒星重复了这一壮举。目前,该领域发展得风生水起。很多研究人员相信,他们正接近于阐明对产生此类爆发至关重要的因素。

### 困扰了50年的能量“亏空”问题

当一颗质量是太阳8~40倍的恒星走到生命尽头时,它往往会爆发——释放的能量比1万亿兆个核弹头还多。这些“核塌缩”爆发占到所有超新星的2/3左右。对核塌缩超新星的兴趣始于上世纪50年代末。当时,科学家首次推断出很多化学元素——包括对生命至关重要的大多数元素——在恒星中形成。他们认为,一些最重的元素将在高能且快速进化的超新星“熔炉”中出现。随后,爆发将它们喷出,从而在太空播撒构成恒星和行星系的“原料”。

天体物理学家认为,这些恒星在爆发前会耗尽气体,也就是氢气。由于发生聚变的东西变少,老的恒星不再产生如此多的辐射,其核心也在重力作用下收缩。较轻的元素逐渐融合到较重的元素中,但遇到铁时会“突然刹车”。最终,由于无法抗拒引力,铁核心的中央在不到1秒的时间里崩塌并形成已知密度最大的物质——中子星。

通常认为,落入的物质随后撞击新形成的中子星并被反弹回来,从而创建了从中心处向外荡漾的冲击波。不过,仅反弹本身太过微弱,以至于无法同时逆转物质的崩塌和使恒星外层飞出去。没有一些额外的能量来源,这个过程会



艺术家构建的超新星1987A概念图

图片来源:ESO

半路“熄火”。Janka介绍说,这一“亏空”“困扰了我们50多年”。

### 恒星爆发背后推手

关于什么可能提供了推动力的首个线索出现于1987年。当时,天文学家在附近星系——大麦哲伦星云中观测到一颗超新星。当时,一维模型肯定地推断恒星是完美的球体;由相互融合的元素形成的同心层构成,并且包含仅用一个坐标——到中心点的距离——便可解释的流体力学机制。不过,超新星1987A喷射元素的复杂方式表明,各元素层一定是混合的。这是一个无法在一维下描述的动力学过程。

随着上世纪90年代更加强大的计算机的出现,建模专家通过将一维模型发展到二维,捕获了这一运动。在二维空间中,加热的中微子表现得像一锅水下面的炉灶火焰。这产生了将新鲜物质搅拌在一起供中微子加热热对流和湍流,并且增加了冲击波背后的压力。2003年,来自上述橡树岭团队的Antony Mezzacappa发现,冲击波中的扰动能迅速增长为大规模的晃动和激烈的旋转。这被称为静止吸积激波不稳定性(SASI)。这些运动为冲击波“充电”并且帮助恒星爆发。

不过,物理学家仍担心,他们在二维空间呈现恒星时所作的妥协可能人为增加了爆发几率。的确,澳大利亚莫纳什大学计算天体物理学家Bernhard Müller(2014年之前,是Janka团队

成员)介绍说,当计算能力在本世纪初强大到足以产生简单的三维模型时,这些模型再一次“不愿爆炸了”。直到2012年更快超级计算机的出现,才使研究人员开始将广义相对论更详细的核和粒子物理学“编织”在一起,从而使三维恒星在从头制作的模型中爆发。

Janka介绍说,到达这一里程碑增加了人们对中微子加热、对流和SASI振荡是恒星爆发背后推手这一假设的信心。自2015年起,全球多个团队,包括加州理工学院、普林斯顿大学、密歇根州立大学和日本福冈大学的团队,开始利用三维模型开展研究。其中,很大一部分模拟以恒星爆发收尾。虽然这一趋势需要在拥有不同质量和原始结构的恒星中得以证实,但Müller对此表示乐观。“我们似乎正在接近这个问题的答案。”

### 寻找其他因素

其他人则持怀疑态度。冲击波在相对较小的恒星中更容易出现。2015年,当Janka团队试图引爆一颗较大的三维恒星(质量是太阳的20倍)时,他们仅在将中微子的一个反应速率调到粒子物理学允许的误差线最低值时才取得了成功。如今,利用更加真实的初始条件开展的模拟仍然只是接近爆发和“熄火”之间的临界点,并且没有人确切知道原因何在。“在现实中,这些事物总是能稳定地爆发。”密歇根州立大学计算

天体物理学家Sean Couch说。之所以模型“不愿意”这么做,“可能是告诉我们,要么没有准确地模拟出所囊括的物理学性质,要么我们错过了一些物理学机制”。

一个解决办法是不停地建造更丰富的模型。不过,即便在今天的超级计算机上,这一过程仍需要耗费数月。未来几年,美国、欧洲、日本等国家和地区的超级计算机升级,或能将针对三维爆发模拟的运行时间减少到几周。不过,Mezzacappa表示,即便在这之后,要实现将完整的物理学机制包括进来的三维模拟,仍需要强大100倍的计算机。而建造出这种计算机,可能是几十年后的事情了。

与此同时,物理学家正把精力放在调整模型上,以便确定他们能否阐明3个主要因素——中微子加热、对流和SASI振荡如何相互作用以及是否有其他因素被错过。一些人正在探索旋转和磁场是否可能助推了爆发。其他人则将模型基于更加真实的恒星——从一开始便将扰动加入进来。但对模拟结果进行比较非常困难。每个团队的模型不仅包括的物理学机制不同,简化方法、分辨率和像素排列也都不同——所有这些都会影响到模拟结果。同时,各个团队都在坚决捍卫他们的选择。“我参加会议时看到,来自不同团队的人几乎打了起来。每个人都在说,‘我的代码更好。’”Modjaz表示,但这无从得知,因为他们不会公开代码,也不会以一种常规的方式比较各种模拟结果。(宗华编译)

# 寻找中量级“怪物”

## 为解释特大黑洞起源提供线索



在一个星系中央,一个巨大的黑洞驱动了一股电离气体。

图片来源:Lynette Cook/SOFIA/NASA

因此,Chilingarian的团队在斯隆数字天空调查(SDSS)中收集的93万个星系光谱中寻找一种替代性的可见光信号。星系核球中氢气AGN电离云产生的X射线会在星系周围膨胀,使它们在特定的频率下发光,在星系光谱中产生不同的峰值。距离黑洞最近的电离云高速环绕黑洞旋转,它通过多普勒效应改变频率并抹去每个光谱峰值。更远的气体云则移动得更慢,因此峰值仍然尖锐。为了识别拥有小AGN的星系,该研究团队寻找了特殊的光谱峰,这些光谱峰在顶部很尖锐,但底部被抹掉了。

科学家搜索SDSS目录得到了305个候选者。由于其他短暂的现象也可能模仿关键信号,该团队还核对了在不同时间收集的其他观测结

果,以确保候选星系显示出相同的模糊峰值。他们还用智利的巨型麦哲伦望远镜观测了一些星系。但AGN的关键之处是“泄密”的X射线信号,为此该团队搜索了NASA的钱德拉和斯威夫特卫星以及欧洲的X射线多镜任务的存档观测资料,从而了解自己是否碰巧观测到了其中的一些候选者。该团队在近日发表于预印本服务器arXiv并提交给《天体物理学杂志》的一篇文章中报告说,最终的结果是包括10个中等质量黑洞的简短名单。

即使是这样小的数目也挑战了近来关于超大质量黑洞如何形成的思考。理论学家需要一种渐进增长的简单替代方案,这不仅因为此前中等质量黑洞“消失了”,还缘于天文学家已发

现巨大的类星体——非常明亮的AGN,它们在宇宙还不到10亿年时就在发光。哈佛大学理论学家Avi Loeb问道:“巨大的黑洞怎么会在那么早的时候长得如此大?”

Loeb等人提出,在早期宇宙中,巨大的气体云直接坍缩成巨大的黑洞,其质量相当于太阳的10万到100万倍,形成了早期类星体的种子。这种情况或可解释大黑洞形成速度和缺乏中等质量黑洞的原因。

然而,新的结果表明,至少有一些超大质量黑洞是由更小的种子产生的。这10个被确认的中等质量黑洞符合一种逐渐增长的模式:它们的质量与围绕其星系核球的大小相关,表明每个黑洞都在与宿主同步增长。Treister说,显而易见的结论是“并非只有一种情况,而是两种情况都会发生。现在的问题是哪种情况更常见”。

Bromm说,直接坍缩可能仅在非常早期的宇宙中才会发生,因为那时恒星和星系的构建材料不同。大爆炸产生的只有氢和少量氦。更重的元素在数百万年后加入该混合物,早期恒星形成这些元素并在其死后将其驱散。一旦较重的元素存在,它们帮助原始气体冷却,因为它们在高温下电离,导致气体发光并散发热量。更冷的气体云更有可能分裂成许多恒星,即小黑洞的种子。Bromm表示,与此形成对比的是,在暗物质的微弱引力作用下,热气体云可能会坍缩成一个巨大的天体。他承认,这种现象非常罕见,在某种程度上是“宇宙奇迹”。

找出哪种情况占主导地位的唯一方法是找到更多的中等质量黑洞。Chilingarian说,当前的障碍是缺乏X光观测。德国制造的一架名为eROSITA的X射线望远镜预计将于今年年底或明年年初依托俄罗斯SpektR-RG天文台发射。“它将会产生非常好的数据集。”Chilingarian说。他打赌该望远镜将能确定另外数百个中等质量黑洞,从而为黑洞的起源提供更多线索。(晋楠编译)

## 科学线人

全球科技政策新闻与解析

## 美宇航局气候项目前景不明



Jim Bridenstine

图片来源:AUBREY GEMIGNANI/NASA

在过去两年里,美国宇航局(NASA)的气候科学研究一直处于紧张状态,因为一些正在进行中或者已经飞入太空的任务,被特朗普政府“盯上”并试图取消。但是,来自俄克拉何马州的前共和党众议员Jim Bridenstine说,明年可能会有变化。他在一场漫长的党派提名战中脱颖而出,在6个星期前赢得了NASA的最高职位。

特朗普政府曾向国会提交预算案,计划削减一系列NASA地球科学项目,包括碳排放监测系统(CMS)、深空气候观测站的两台面向地球的设备以及3项气候任务:轨道碳观测卫星-3(OCO-3)、气候绝对辐射和折射观测站(CLARREO)探路者以及浮游生物、气溶胶、云、海洋生态系统(PACE)卫星。

不过,到目前为止,该国国会并不支持这些提议。众议院的一个支出小组最近采取行动,恢复了CMS,在公众的强烈抗议下,议员们还否决了其他经费削减计划。近日,Bridenstine在NASA总部会见了数位记者,并再次强调了他对科学社区所谓的“10年调查”的承诺。该机构每10年准备一次报告,旨在指导其投资。

此外,最近的一次地球科学调查支持了NASA的现有项目,也包括濒危任务。而且,尽管Bridenstine不能对明年的预算提案发表评论,但他也知道外界的支持,并提到“在我看来,总统的预算要求需要考虑这些项目”。

但Bridenstine也补充说,到2019年初的下一个预算周期开始时,OCO-3理应被发射到太空中,以便安装到国际空间站。“这将是不可能的。”

Bridenstine也对深空气候观测站面向地球的仪器不太“感兴趣”。但他承认,该任务的运营预算很小,每年只有几百万美元。他表示,该机构可以通过其他方式弄来这些经费,但没有指出具体的计划。“我认为它们最终都能以良好的状态结束。”他说。

今年4月上任的Bridenstine与NASA众多前任局长不同,他没有科研工作背景,并曾否认气候变化是人类活动导致的。他是特朗普的坚定支持者。(唐一尘)

## 美教育界质疑中国留学生签证新政



美国将限制某些专业的中国留学生签证期限。

图片来源:《科学》

美国国务院近日开始对一些中国研究生的签证实施更严格的限制,这也是特朗普政府对上届政府政策的另一个逆转。

据悉,美国开始针对航空、机器人、高科技制造等“敏感”专业的部分中国学生实施新的严格限制政策,将签证有效期从5年缩短至1年。《科学》杂志称,该措施看起来“改善了国家安全”,但美国大学官员认为这是对研究生教育和科学知识自由流动的最新攻击。

美国高等教育官员表示,新规定将使受影响的中国学生更难参加国际会议以及与国外的科学家合作。它还可能减少学生回国的时间。在特朗普政府而非美国公民增加其他政策限制时,学术官员说,美国签证的改变让这些有才华的外国学生提供了去其他准入门槛较低的国家攻读高等学位的又一个理由。

伊利诺伊大学香槟分校研究生院院长Wojtek Chodzko-Zajko说:“几十年来,对中国最好的学生来说,到美国做研究生工作是显而易见的。但现在,他们必须决定自己是想真的想要来这里。”

2001年美国发生恐怖袭击后,该国开始对所有前来美国的外国人进行更多审查。2004年,美国的大学和科学组织开始向当时的乔治·布什政府表达了他们的担忧:新程序和政策“使得签证发放过程变得低效、冗长和不透明”。在前总统奥巴马上任后,美国国务院解决了这一担忧。领事官员被授权向中国学生发放5年期签证。

但自上任以来,特朗普已经转向了另一个极端,呼吁对移民、学生和签证申请人,甚至游客进行“严格审查”,并计划要求美国签证申请者提交社交媒体用户名等多项个人信息。高等教育机构对这一政策提出了质疑,称没有证据表明这种加强审查会让这个国家变得更安全。(唐一尘)