

钱德拉塞卡对二十世纪科学的贡献

两千多年来,天文学家一直认为宇宙是完美而宁静的,19岁的 Chandrasekha 在前往英格兰读研究生途中的一个计算结果敲响了完美宁静宇宙观终结的钟声。



图1 钱德拉塞卡

2010年12月出版的 *Physics Today* 杂志上,刊登了 Dyson 撰写的 Chandrasekha(钱德拉塞卡)对二十世纪科学的贡献一文.该文基于他在2010年10月16日芝加哥大学举行的 Chandrasekhar 百年诞辰庆典时的演讲稿,详细地介绍了 Chandrasekhar 的科学生涯以及对二十世纪科学的杰出贡献。

1 基本科学和派生科学

1946年,Chandra(其生前好友均如是称呼)在芝加哥大学做了一个题为《科学家》的报告.时年35岁的他,生命历程还未过半,作为科学家的职业生涯也还未过三分之一,但是已经能够向公众深刻地描述其工作的意义和目的. Chandra 的演讲首先描述了两种科学研究,他说:“我希望把大家的注意力集中到物理学的广义分类上,即基本科学(basic science)和派生科学(derived science).基本科学致力于分析物质的基本构成和时空的基本概念,而派生科学则是基于这些基本概念解决各种各样自然现象的规律”。

Chandra 特别提到了对其科学生涯具有决定意义的基本科学和派生科学的例子.1926年,Fermi 和 Dirac 各自独立地发现了 Fermi-Dirac 统计的基本概念,如果电子分布在一些量子态上,那么每一个量子态最多只能被一个电子占据,这个量子态被占据的概率是一个温度的简单函数.电子的这些基本特征是量子力学这门新兴科学的基石,它们为解决凝聚态物理中一个著名的难题铺平了道路,即解释了为什么固体材料的比热随温度的降低而降低,并且当温度变为零的时候迅速变为零.当时15岁的 Chandra 是印度清奈院长学院物理系的学生.两年后,德国著名教授 Sommerfeld(量子力学的奠基人之一)访问了院长学院. Sommerfeld 给了年轻的 Chandra 一篇他有关金属电子理论的论文校样,该论文证实了 Fermi-Dirac 统计,是派生科学的杰作,展示了如何用 Fermi-Dirac 统计的基本概念详细解释金属的存在和属性.这个印度大学生是世界上最先读到这篇论文的几个人之一。

1930年,年满19岁的 Chandra 乘船去剑桥大学读研究

生,他的导师 R. H. Fowler 教授曾用 Fermi-Dirac 统计解释了白矮星(恒星在耗尽它所有核燃料之后形成的一种天体)的性质.白矮星由于引力塌缩,密度可以达到正常物质的几千倍,然后通过辐射剩余热量而冷却. Fowler 在派生科学上是非常成功的,他给出了白矮星密度和质量之间的关系,并且这个关系与当时天文上有限的观测符合得很好.受 Sommerfeld 和 Fowler 榜样的感召, Chandra 决定前往英格兰,为派生科学做出自己的贡献。

2 航海巨变

在航海旅程上, Chandra 迅速找到了前进的道路.在 Sommerfeld 和 Fowler 的计算中,电子是非相对论性粒子,遵循牛顿力学.这个假设在 Sommerfeld 的工作中是没有问题的,因为金属中的电子运动速度在正常密度下比光速要小得多.但是对 Fowler 的工作,牛顿力学假设并不一定正确.白矮星中心的电子可能运动得非常快,从而使相对论效应变得非常重要.于是, Chandra 利用旅途中闲暇时间对白矮星的性质进行了重新计算,但他假设电子遵循的是爱因斯坦狭义相对论而非牛顿力学。

令 Chandra 感到震惊的是,他发现从牛顿力学到爱因斯坦狭义相对论的改变极大地改变了白矮星的性质. Fowler 的计算结果显示,给定白矮星的化学元素丰度,其密度与质量的平方成正比.从直觉上讲,这个结果是有道理的:白矮星质量越大,则引力越大,恒星物质将更加紧密地冻结在一起.因此,质量大的白矮星半径和光度反而越小.这就解释了为什么没有比太阳大得多的白矮星被观测到.如果电子是遵循爱因斯坦狭义相对论的,恒星中的物质就会变得更容易压缩.因此,对一定质量的白矮星,密度随质量的增加将升高得更快.不仅如此, Chandra 在计算中还发现,当白矮星质量增加到一个有限值(即 Chandrasekhar 极限)的时候,密度会趋向无穷大.也就是说,不存在质量大于 Chandrasekhar 质量极限的白矮星模型.这个极限质量的具体值依赖于白矮星的化学元素丰度,对于氢耗尽的恒星,这个值大约是太阳质量的1.5倍。

Chandra 在到达英格兰之前完成了他的计算,并坚信自己的结论是正确的.到剑桥之后, Chandra 把他的计算结果拿给了 Fowler. Fowler 表现得非常友好,但他不相信 Chandra 的结果,也不愿意资助这篇论文在英国皇家学会发表. Chandra 没有一直等待下去,而是把这篇论文的简本投到了美国的《天体物理杂志》.该杂志把他的论文送给了当时著名的地球物理学家 Eckart 审稿. Eckart 对天文知之甚少,他从物理

学角度建议接受这篇论文,使其得以在一年后公开发表。在此之后,Chandra 与 Fowler 和英国学术界继续友好相处,并不断地从派生科学中寻找新的问题,通过其掌握的数学和物理知识去解决这些问题。

3 亚里士多德的衰亡

在 20 世纪 30 年代,人们完全有理由对 Chandra 的结果持怀疑态度,因为他发现的白矮星存在质量上限令人困惑。在天空中,非常多的恒星其质量都大于这个上限。Chandra 的计算结果表明,这些恒星在耗尽它们的核燃料以后无法冷却到一个平衡态。那么,它们的归宿是什么?这个问题在当时还没有人(包括 Chandra)能给出答案。直到 1939 年,Oppenheimer 和他的学生 Snyder 在《物理评论》上一篇题为《持续引力塌缩》的论文问世,这个问题才有了答案。这是 Oppenheimer 对科学最重要的贡献。Oppenheimer 和 Snyder 的这篇论文同样是派生科学的杰作:通过爱因斯坦基本方程,给出了天文学这个真实世界里令人吃惊的、意想不到的结果。Chandra 和 Oppenheimer 的不同之处在于,Chandra 计算用的是爱因斯坦 1905 年的狭义相对论,而 Oppenheimer 用的则是爱因斯坦 1915 年的广义相对论。

Oppenheimer 和 Snyder 接受了 Chandra 的结果,并认为,一颗大质量恒星生命终结时的状态应该是动力学的。他们给出了大质量星在自身引力塌缩下的广义相对论解,并发现这样的恒星处于一个永久的自由落体状态,即永远落向它的中心。按照我们现在的理解,这种永久的自由落体状态是一颗大质量星在核燃料耗尽之后的一种实际状态,它们在宇宙中广泛存在,即今天人们熟知的黑洞。

几十年后回头看时,我们发现,Chandra 和 Oppenheimer 的发现实际上是科学史上一个主要的转折点,它们宣布了统治天文学界两千年之久的亚里士多德宇宙观的终结。亚里士多德认为宇宙是宁静而完美的,Chandra 和 Oppenheimer 的发现证明亚里士多德错了。在引力主导的宇宙中,不可能有宁静的平衡态。上个世纪 30 年代,在 Chandra 和 Oppenheimer 两项工作之间,Zwicky 对超新星爆炸的系统观测证实了我们生活在一个剧烈变化的宇宙中。同时,Zwicky 还发现了暗物质,其引力在大尺度结构的动力学上占主导地位。1939 年之后,由于积累了越来越多的剧变事件的证据,天文学家逐渐放弃了亚里士多德的宇宙观。现在我们知道,宇宙实际上充满了激波和高温等离子体,以及相当多的与黑洞相关的极端剧烈爆发现象。在过去的 100 年里,天文学家彻底改变了人们对整个宇宙的认识;100 年之前,天文学家的主要任务是构建一个宁静的不变化的宇宙框架;而 100 年之后,天文学家则致力于观测和解释天体的剧变现象。我们对宇宙图像的这种彻底变革始于一段美好的旅程:在前往英格兰的船上,19 岁的 Chandra 发现了大质量恒星在生命结束时没有平衡态。

4 新观念对旧秩序的挑战

令人奇怪的是,剧变宇宙的三个主要创始人的工作在当

时都没有得到承认。部分原因是他们三人均来自天文界以外。在 20 世纪 30 年代,专业天文学家在宇宙观和学术组织上是非常保守的,他们知道如何用所学的标准工具去解释宁静宇宙,他们不愿意认真对待具有新观念、新方法的外来者的研究成果。对天文学家来说,忽视外来者是非常容易的事,因为这些新发现不符合天文界所认可的思想方式,不被天文团体所接受。

除了这个共同原因之外,个人环境也导致了他们的工作在当时被忽视。对于 Chandra,主要是因为 Eddington 和 Milne 的性格。Eddington 和 Milne 是 Chandra 在英格朗时英国天文学界的领军人物,他们坚信自己的恒星结构理论,而这些理论和 Chandra 的结果不相符。他们马上认为 Chandra 的结果是错的,而且从来没有接受过这个结果所基于的物理事实。

在加州理工学院,Zwicky 面对的情形则更糟。当时的天文系由 Hubble 和 Baade 领导,但 Zwicky 属于物理系,没有天文学家的资格。Hubble 和 Baade 认为 Zwicky 疯了,而 Zwicky 则认为他们两人是愚蠢的。Zwicky 利用一架比当时望远镜巡天速度快 100 倍的宽视场望远镜观测天空,用天文学家的方法击败了天文学家。Zwicky 指责 Baade 是纳粹而与之交恶,加上一些其他因素,Zwicky 的发现在长达 20 年的时间里被完全忽略了。

Oppenheimer 的巨大贡献没有受到重视的主要原因是一个历史事件。他和 Snyder 的论文发表在 1939 年 9 月 1 日的《物理评论》上。而就在同一天,希特勒把他的炮火指向了波兰,第二次世界大战全面爆发。此外,在同一期《物理评论》上,还刊登了一篇同样具有里程碑意义的文章,即 Bohr 和 Wheeler 的有关核裂变理论的论文。这篇论文清楚地阐明了核能与核武器的可能性。因此,黑洞让道于更紧急的战争需要和核能开发就不足为奇了。

三位开创者都在他们革命性的发现和一篇简短的论文之后,失去了对这场变革的兴趣。在移居美国之前,Chandra 在欧洲过了 7 年平静的生活,大多数工作集中在正常恒星的理论研究上。Zwicky 通过巡天观测发现暗物质和几类超新星以后,卷入了军事项目,最终成为一名火箭专家。Oppenheimer 之后的兴趣则转向了世俗的核爆炸,最终成为 Los Alamos 实验室主任。

几年以后,当我试图同 Oppenheimer 交流有关黑洞在宇宙演化中的重要性的时候,他不愿意再提及这项工作。Oppenheimer 的态度源于当时流行在理论物理学家中间的一种极端偏见,即高估纯科学(即基本科学)而低估派生科学。在 Oppenheimer 看来,唯一值得一流科学家去做的事情是寻找自然的新规律,对旧规律的应用和拓展是研究生或三流科学家的事情。他最终也没有愿望重回这个他曾做出重要贡献的领域继续工作。Oppenheimer 和 Zwicky 在他们的有生之年没有像 Chandra 一样看到其革命性思想被新一代天文学家接受并进入主流天文学(译者注:因其对恒星结构和演化理论的贡献,Chandra 在 1983 年与另一位研究元素核合成的天体

物理学家 W·A·Fowler 共同获诺贝尔物理学奖.)

5 从恒星结构到莎士比亚



图2 Chandra 卫星发射前的照片。Chandra X 射线天文台于 1999 年 7 月 23 日发射升空,是观测剧变宇宙的几台望远镜之一。图片显示的是发射前几天望远镜装载于哥伦比亚航天飞机内的情况

在每一个他想深入研究的领域里,Chandra 都会花上 5 到 10 年的时间;大约一年的时间熟悉该领域;随后几年发表一系列期刊论文阐明他在该领域里解决的一些问题;最后花上几年时间写一本覆盖该领域的权威书籍作为他在该领域取得成功的见证。一旦书出版,他就会离开这个领域,寻找新的领域进行研究。

这种模式在 Chandra 的一生中重复了 8 次,并通过他的著作记录在案。《恒星结构研究导论》一书(芝加哥大学出版社,1939 年)总结了他对白矮星和其他天体内部结构的研究工作;《恒星动力学原

理》一书(芝加哥大学出版社,1942 年)描述了他对星团和星系中恒星运动统计理论的原创新性工作;《辐射转移》一书(克拉里登出版社,1950 年)给出了恒星大气第一个精确的辐射转移理论;《流体动力学和磁流体动力学稳定性》一书(克拉里登出版社,1961 年)为所有的天体(包括恒星、吸积盘和星系)由于较差转动都会变得不稳定这一理论提供了基础;《转动流体的平衡态》一书(耶鲁大学出版社,1969 年)发现了一个不可压缩流体在自身引力场中转动时的所有可能的平衡态,从而解决了一个古老的数学问题。这个数学问题曾被 19 世纪最伟大的数学家们研究过,如 Jacobi, Dedekind, Dirichlet 和 Riemann 等。但这些数学家们都没

有办法确定哪一个态是稳定的。在这本书之后,Chandra 出现了 15 年的间歇,直到 1984 年,他的《黑洞的数学理论》一书(克拉里登出版社,1983 年)问世。在这 15 年里,Chandra 非常努力地工作,并将其最大精力投入到最感兴趣的研究领域,即黑洞的精确数学描述以及它同周围场和粒子的相互作用。这部著作是 Chandra 同科学研究的道别。此后,Chandra 还写了一些非科学类的书,涉及到莎士比亚、贝多芬和雪莱的工作,以及艺术和科学的关系等等。他公众演讲讲稿集出版于 1987 年,书名是《真实与美丽》。

Chandra 退休以后,花费了相当多的时间和精力在牛顿著的《自然哲学的数学原理》一书上。他对牛顿的每一个见解和实例都进行了重构,将其几何证明翻译成现代科学家所熟悉的代数语言。Chandra 这一历史性研究的结果写在了他的最后一本书《普通读者的牛顿原理》里面。

Chandra 认为,派生科学可以作为领悟自然现象的工具。他对黑洞的研究结果是这一观点一个最好的例子。我们对时空基本性质的了解基于两点,即爱因斯坦广义相对论方程和 Schwarzschild 与 Kerr 发现的这些广义相对论方程的黑洞解。这些黑洞解被 Chandra 进行了极大的拓展。写出基本方程是我们迈向理解自然现象的一大步,但还远远不够。要想真正了解时空,我们必须给出方程的解并研究它们所给出的意想不到的结果。Chandra 从未说过他对时空的了解更甚于爱因斯坦,但他确实比爱因斯坦更了解时空。只要爱因斯坦不接受黑洞的存在,爱因斯坦对时空的认识就很不完善。

我在剑桥做学生的时候,师从 Chandra 的朋友、数学家 Hardy。当时 Hardy 已经是一个老人,他的绝大部分时间都在写书。当我凭借年轻人的勇气问 Hardy 为什么浪费时间写书而不做研究的时候,Hardy 回答说:“发展理论是年轻人的事,老年人应该写书”。Chandra 的一生正是按照这种方式走的,不知道这是否源于 Hardy 的建议。

(中国科学院云南天文台陈雪飞、韩占文 编译自 Physics Today, 2010, (12):44)

· 物理新闻和动态 ·

超新星非对称地发射物质

欧洲的一批天文学家获得超新星发射出的最内部物质的三维图,这是以前从未见过的。研究人员发现了一个扰动的环境,那里恒星物质以高度不对称的方式发射出来。

所研究的对象是大麦哲伦云附近的超新星 SN1987A。由于这颗超新星接近银河系,它从 1987 年被发现以来,就引起了人们巨大的天文学上的兴趣。对 SN1987A 的研究是几项引人注目的“首次”观测的基础,包括对它的核心崩塌时释放出来的中微子的探测和在爆炸时出现的放射性元素的直接探索。此外,对 SN1987A 的研究还揭示了超新星爆炸中灰尘是如何形成的。

在最近的研究中,Queen's 大学的 Karina Kjaer 所领导的研究组观测到超新星爆炸时的影像。他们使用欧洲南部天

文台(European Southern Observatory)的非常大望远镜(VLT)和整体场近红外谱仪(SINFONI)对 SN 1987A 进行了详细的分析。

研究人员使用 SINFONI 同时考察了 SN1987A 发射的气体环的几个不同部分,得到所发射的物质内部区域的三维图像。新的三维图显示出爆炸在某确定方向发生得更快、更强烈,形成一种不规则的形状,而不是所预期的对称分布。最内部的物质不是呈球状向外发射,而是向两个或更多的方向发射。这种物质发射的显著非对称性是超新星内部环境扰动的明显迹象。有关论文发表在 2010 年第 5 期 517 卷第 A57 页的 Astronomy & Astrophysics 上。

(树华 编译自 Physic World News, 11 August 2010)