

荣获诺贝尔物理学奖的天文项目回顾

吴鑫基

(北京大学天文系 100871)

温学诗

(北京天文馆 100044)

闻名于世的“诺贝尔奖”，每年一次授予在物理学、化学、生物学、医学等自然科学领域作出卓越贡献的科学家，至今已整整 100 年了。以天文学研究成果为主的诺贝尔物理学奖可以说是从 1970 年为起点。在 5 个年度中，有 9 位天文学家荣获了 7 项物理学奖。事实上，还有不少天文学家的成就也可以与获得诺贝尔奖的项目相媲美，如发现赫罗图的赫茨普龙(Hertzsprung)和罗素(Russell)，发现哈勃定律的哈勃(Hubble)。可惜，由于当时的历史条件，他们无缘得此殊荣。

20 世纪下半叶以来，天文观测和物理实验、天体物理学与物理学各个分支之间的渗透逐步加强。天文观测现象为物理学的基本理论提供了地球上实验室无法得到的物理现象和物理过程，宇宙及其中的各种天体已成为物理学的巨大实验室。天文学观测的新发现给物理学以巨大的刺激和挑战，天体物理学的一些突出成果大大推进了物理学的发展，获得杰出成就的天文学家获“诺贝尔物理学奖”也就顺理成章了。同时，这一事实也表明当代天体物理学在整个物理学中已具有举足轻重的地位，而且物理学家对天体物理学的重要性之认识也已大为深化。

一、天文学与物理学相互渗透的前奏

19 世纪中叶物理学的发展促进了以揭示天体物理本质为目的的天体物理学新学科的产生。天体物理学就是用物理学的基本原理来解释天体的形态、物理状态、结构、化学组成，以及天体产生和演化的科学。最先发展起来的是以测量天体的光度和光谱为起点的光学天文学。到 19 世纪末 20 世纪初，物理学经历了从经典物理到现代物理过渡的发展阶段，天体物理学也受到巨大的刺激，几乎物理学的所有分支学科，如原子物理学、量子力学、原子核物理学、狭义相对论、广义相对论、等离子体物理学、固态物理学、致密态物理学、高能物理学等很快就成为天体物理学新的理论基础。并逐步形成相对论天体物理学、等离子体天体物理学、高能天体物理学、宇宙磁流体力学、核天体物理学等分支学科。天体物理

学也成为物理学的一个重要分支。1984 年，国际纯粹及应用物理联盟设立天体物理学委员会。

随着物理学的发展，物理学家必然要把宇宙及各种天体作为物理学的实验室。在宇宙中所发生的种种物理过程比地球上所能发生的多得多。在地球上做不到的物理实验，在宇宙中可以做到。物理学家涉足天文学领域的研究成为必然。

1911—1912 年，奥地利物理学家黑斯(Hess)用气球把“电离室”送到离地面 5 千多米的高空，进行大气导电和电离的实验，发现了来自地球之外的宇宙线。这是物理学实验，也是天文学观测。在这里，物理学和天体物理学已融于一体了。黑斯因为在这项实验中发现了宇宙线而于 1936 年荣获诺贝尔物理学奖。

1938 年，美国物理学家贝特(Bethe)提出太阳和一般恒星的能量来源理论，认为太阳中心温度极高，太阳核心的氢核聚变生成氦核，释放出大量的能量，成为太阳光和热的源泉。他的这一理论对天文学的贡献也是巨大的。1967 年贝特因核反应理论的研究而获诺贝尔物理学奖。

1957 年美国物理学家汤斯(Townes)预言星际分子的存在，列出 17 种可能存在的星际分子，1963 年他又在实验室里测出羟基(OH)的两条射电频段的谱线。这些分子谱线处在厘米波和毫米波段，促进了毫米波天文学的诞生和发展。目前毫米波天文学的进展方兴未艾，并正随着仪器设备的创新，向亚毫米波段发展。1964 年汤斯因研制微波激射器而获诺贝尔奖。

二、射电天文学——天文诺贝尔奖的摇篮

观测是天文学研究的主要实验方法。人类基本上只能被动地接收来自宇宙空间天体发来的电磁波、高能粒子和引力波。不仅被动，而且由于绝大多数天体离我们特别遥远，到达地球的能量非常微弱，因而对它们的观测特别困难。来自宇宙的信息永远是人类取之不尽的知识源泉。观测手段越多、越好，所能得到的信息就越丰富。正因为如此，天文

观测方法和技术的发展一浪超过一浪,不断进步。

按观测手段可把天文学分为光学天文学、射电天文学、X射线和 γ 射线天文学。还有一些小的分支,如红外天文学、紫外天文学、中微子天文学、引力波天文学等。光学天文学具有悠久的历史,其成熟程度和所取得的成就以致在很长一段时间里成为天文学的同义词。

射电天文学是20世纪40年代第二次世界大战后迅速发展起来的天文学中的一个新的分支,其特点是利用射电天文望远镜观测天体的无线电波段的辐射。和光学望远镜近400年的历史相比,它仅有几十年,但是射电天文很快就步入了鼎盛时期。20世纪60年代射电天文学的“四大发现”,即脉冲星、星际分子、微波背景辐射和类星体的发现成为20世纪中最为耀眼的天文学成就。射电天文已成为重大天文发现的发祥地和天文诺贝尔奖的摇篮。下面是几个光辉的具体事例。

1. 英国天文学家赖尔(Ryle)因发明综合孔径射电望远镜及射电天文观测方面的贡献荣获1974年诺贝尔物理学奖。第二次世界大战期间,赖尔应征入伍。他的无线电专长曾帮助他立下了战功,二战结束后,赖尔回到剑桥大学卡文迪什实验室。那时,刚刚发展起来的射电天文显得十分幼稚,他面临巨大的困难,但也获得了绝好的机遇,开始了一项开创性研究工作。

早期射电望远镜最大的缺憾是分辨率很低且不能给出射电源的图像。由两面或多面天线组成的射电干涉仪和甚长基线干涉仪的分辨角可以很小,但只有一维的分辨率。1952年赖尔提出综合孔径望远镜的理论,并给出形状为英文字母T的“综合孔径”方案。综合孔径望远镜是一种化整为零的射电望远镜,用两面或多面小天线进行多次观测达到大天线所具有的分辨率和灵敏度。而且,还能得到所观测的天区的射电图像。1971年剑桥大学建成的等效直径为5千米的综合孔径望远镜,是这一技术成熟的标志。望远镜的灵敏度大大的提高,观测范围几乎到达宇宙的边界。分辨率已和大型光学望远镜相当,获得了一大批射电源的图像资料。

2. 英国天文学家休伊什(Hewish)教授和他的研究生乔丝琳·贝尔(Bell)女士一起发现了脉冲星,也就是30多年前物理学家预言的中子星。休伊什因此在1974年获得诺贝尔物理学奖。

中子星具有和太阳相当的质量,但半径只有10

千米。因此具有非常高的密度,成为一种典型的致密星。中子星还具有超高压、超高温、超强磁场和超强辐射的物理特性,成为地球上不可能有的极端物理条件下的空间实验室。不仅为天文学开辟了一个新的领域,而且对现代物理学的发展也产生了重大影响。它导致了致密物质物理学的诞生。

休伊什之所以能和诺贝尔物理学奖结缘得利于他从事的行星际闪烁研究。行星际介质对射电波所产生的闪烁现象是快速的,在秒的数量级。恰好多数脉冲星的周期也在秒的数量级。1965年,剑桥大学射电天文台由休伊什领导研制专门用于行星际闪烁的大型射电望远镜,也为发现脉冲星创造了条件。休伊什荣获诺贝尔奖是当之无愧的,但贝尔博士未能和休伊什一起获奖却是一件憾事,天文学家公认她是脉冲星发现的第一人。

3. 继1974年休伊什因发现脉冲星而获得诺贝尔物理学奖之后,赫尔斯(Hulse)和泰勒(Taylor)两位教授又因发现射电脉冲双星共同获得1993年诺贝尔物理学奖。

按照广义相对论理论的预言,宇宙空间中可能存在引力场及引力波,人们在地球上的实验室中建造了许多探测宇宙引力波的仪器装置,可均未捕捉到过有关引力波的可靠信号。引力波的探测成为一项为物理学家们牵肠挂肚的重大课题。辐射引力波的源都是天体系统,因此探测引力波也是天体物理学研究的重大课题。任何一种新的理论都需要时间来验证它的正确性。然而,有关引力波理论的验证让人们等得太久了!整整等了半个多世纪。

赫尔斯和泰勒在一次高灵敏度的巡天观测中发现的射电脉冲双星系统之所以重要,并不是因为是第一个射电脉冲双星,主要是因为它是轨道偏心率很大、轨道周期很短的双中子星系统,可以成为验证引力辐射存在的空间实验室。根据广义相对论理论推算,这个双星系统的引力辐射很强,将导致它的轨道周期发生变化,其变化率为 2.6×10^{-12} 秒/秒。只要在观测上能测出这个双星轨道周期的变化,就可以对理论作出判断。

泰勒在发现这个双星以后,全力投入到引力波验证的研究中,20多年坚持不懈。他利用世界上最大的305米射电望远镜进行上千次的观测,最后得到的观测值和广义相对论理论预期值的误差仅为0.4%。终于以无可争辩的观测事实,证实了引力波的存在,诺贝尔物理学奖属于他们是众望所归,当之

无愧。

4. 彭齐亚斯(Penzias)和威尔逊(Wilson)因发现了宇宙背景的3.5K的辐射获得了1978年的诺贝尔物理学奖。这种辐射被确认是宇宙大爆炸时的辐射残余,成为宇宙大爆炸理论的重要观测证据。对现代宇宙学的贡献仅次于哈勃发现河外星系的红移,被公认为20世纪天文学的一项重大成就。

20世纪中期伽莫夫(G. Gamow)提出热大爆炸宇宙模型。这个模型认为大约200亿年以前,处于极高温度和极大密度下的“原始火球”发生了一次规模巨大的爆炸,此后,不断膨胀,温度不断下降,逐渐地形成宇宙间的万物。在大爆炸40万年以后宇宙的温度已降到4000K,宇宙进入复合时代并变得透明了。理论推算,宇宙复合时代发生温度为4000K的光学波段辐射,到今天已经成为3K的微波辐射。

1963年初,彭齐亚斯和威尔逊把一台卫星通讯接收设备改造为射电望远镜进行射电天文学研究。不断提高测量的精度和降低系统的噪声温度,使天线温度测量值的误差小到0.3K,他们发现一种不知来源的约3.5K的辐射。这多余的辐射不随观测方向改变,也不随季节变化。后来才知道这个多余的辐射就是天文学家盼望已久的宇宙大爆炸时期的背景辐射。

三、天文学与物理学结合的光辉典范

在20世纪初物理学家根据物理学规律提出了许多天文学预言,在证实这些预言的过程中曾走过艰难的历程甚至弯路,这些伟大的预言激励和推动着天文学家和物理学家为之奋斗,并且发展了一个新的分支学科。钱德拉塞卡、阿尔文和福勒的成就可以说是物理学和天文学最完美的结合。

1. 1983年钱德拉塞卡(Chandrasekhar)在他73岁的时候因“对恒星结构及其演化理论作出的重大贡献”而获得诺贝尔物理学奖。他在年轻时完成的白矮星理论是最精彩的篇章,他的理论经受了半个世纪物理学、天体物理学发展和天文观测的考验,成为20世纪天文学伟大成就之一。

1862年天文学家观测到天狼星暗弱的伴星,根据它的温度和质量推断出,天狼星伴星是一颗平均密度比1吨/厘米³还要高的白矮星。当时的物理学原理还不能解释白矮星的高密状态是怎样形成的。白矮星的观测发现走在了理论的前面,使得当时的物理学家无言以对。

钱德拉塞卡在大学学习的那个年代正值物理学

从经典到近代物理学转变的时期。新的理论,新的学说和新的概念接踵而至。他如饥似渴地自学这些近代物理学。在大学生和研究生阶段,完成了两篇白矮星的学术论文,得出白矮星质量存在一个上限的结论。这和当时流行的由经典物理理论出发导出的结论格格不入,由此导致一场与当时的著名天文学家爱丁顿的辩论,在天文学史上留下了一段初生牛犊战胜大权威的古话。

2. 瑞典天文学家阿尔文(Aifven)因为对宇宙磁流体动力学的建立和发展作出的卓越贡献而荣获1970年诺贝尔物理学奖,这是对他近40年科学生涯最公正的评价。

20世纪30年代末,为了解释太阳上多种多样的磁场变化过程出现了一批磁流体力学的探索者,阿尔文是其中之一。

他最先提出宇宙中普遍存在磁场和等离子体。天体物理学和空间物理学的研究对象中,都涉及到等离子体。恒星表面的温度在5000至10000K之间,在这个温度范围内物质只能部分电离。但是到了恒星的内部,越向里去,温度越高,电离程度也越来越高,在恒星核心区的物质则是100%地被电离。在恒星附近的星际介质中受到恒星的辐射或高速星风的作用而被电离。宇宙中绝大部分的物质均呈等离子体状态。实际上,在天文学的研究中,几乎完全依靠等离子体的辐射来获取知识。

阿尔文建立和发展起来的磁流体力学是和他从事太阳活动区物理的研究分不开的。到40年代中叶,磁流体力学的基本理论体系大致构成。其中,阿尔文提出的一种磁流体力学波成为磁流体力学成熟的标志性事件。这种波被人们称为阿尔文波。从那以后,磁流体力学的基本原理发挥了巨大理论威力,成功地解释了发生在太阳上的许多观测现象,成为探索太阳规律的支柱理论之一,形成新的“太阳磁流体力学”研究方向。磁流体力学在宇宙中其他天体中的应用,形成了宇宙磁流体力学,成为理论天体物理学的一个分支。阿尔文也成为宇宙磁流体力学这门新学科的奠基人。

3. 美国核物理学家福勒(Fowler)从事与元素合成有关的核反应实验和理论研究,被誉为这一领域的先驱者。宇宙中存在的各种各样的物质都是由各种元素组成。地球、行星、太阳、恒星、星云以及星际介质中具有各种各样但不尽相同的元素及同位素。这些元素是在宇宙演化的不同阶段和不同的恒星演

化过程中产生的。弄清楚宇宙中各种元素的生成机制及形成目前观测到的丰度一直是科学家探求的一个热点课题。福勒把原子核物理理论应用于天体物理学的研究开创了核天体物理学这门新学科,自然也成为著名的天体物理学家。他因为对宇宙化学元素形成机制的研究作出了贡献而荣获 1983 年的诺贝尔物理学奖。

福勒和他的合作者完成的元素形成理论被视为科学经典论文。这一理论提出了恒星不同演化阶段相应的 8 种核反应合成过程,可以形成所有的元素及其同位素。这些元素合成后,可能由恒星抛射到宇宙空间,形成了我们所观测到的元素的丰度分布。可以说,这篇论文解决了在恒星中产生各种天然元素的难题。

四、诺贝尔奖给我们的启示

获得诺贝尔奖的天文成果既有深度又有广度,开辟了一个个崭新的研究领域(天文学科获诺贝尔奖的情况参见本刊 2000 年第 5、6 期)。可以看出,大多数获奖者都是在比较年轻的时候取得获奖成果。9 人中,33 岁以前取得获奖成果的有 6 人。这一点对年轻学生更有教育意义。他们的获奖并不仅仅是年轻气盛,敢于冲破传统观念,还在于他们从事的研究工作都是当时最前沿的原始性、创新性的课题,或研究条件最好,或观念最新。他们都具有自强不息、拼搏奋进,不达目的誓不罢休的精神。赫尔斯取得获奖成果时是 23 岁,还是一位在读的博士生。他的导师泰勒那时也只有 33 岁。赫尔斯要完成的博士论文是当时灵敏度最高的脉冲星巡天。钱德拉塞卡成果中最闪光的“白矮星质量上限”是他在 20 岁开始的大学生和研究生期间完成的,他当时生活在物理学发生重大变革时期,用近代物理学的概念和理论来研究天文学问题取得成功。脉冲星的发现者贝尔女士当时是 24 岁的在读博士生。她是在进行行星际闪烁观测时,抓住极易与“干扰”混淆的短促脉冲信号不放,“打破沙锅问到底”最终发现了脉冲星,导致她的老师荣获诺贝尔奖。如果没有她的“细心”和“坚韧”,中子星的发现不知又要推迟多少年!极端负责的工作态度和不受前人经验的束缚以及对科学发现的孜孜追求也是他们成功的重要原因。

从取得获奖成果到获奖时间间隔最短的是休伊什,花了 7 年,福勒则是在 26 年以后。钱德拉塞卡虽然在 20 岁时就取得突出成果,但只是在他进行 50

年研究取得系统性的研究成果以后才获此殊荣。坚持长期、艰苦的努力,决不急功近利,这不仅要求科学家具有坚韧不拔的精神,还要求有良好的科研环境、充足的经费等等社会条件。

近 20 年是我国天文学发展最快的时期,在不少学科领域上逐步接近国际先进水平。但是,从总体上来说并没有彻底改变落后的局面。在天文观测设备方面,虽有较大的改善,但和国际相比依然落后。北京天文台的口径 2.16 米的光学望远镜是国内最大的,但是比国际上 50 年代大望远镜口径还要小很多,美国威尔逊山天文台在 1917 年就建成了口径 2.54 米的反射望远镜。就是这台望远镜帮助哈勃确认仙女座大星云是河外星系,进而发现哈勃定律。上海天文台和乌鲁木齐天文台的 25 米口径射电望远镜也是国内最大的。可是国际上在 60 年代就有口径 64 米、76 米甚至 305 米口径的射电望远镜了。属于发展中国家的印度新近研制完成了由 30 面口径为 45 米抛物面天线组成的巨型米波射电望远镜阵,成为世界上数得着的大设备,也比我们强得多。空间天文观测我们就更落后了,至今还没有一个天文卫星上天。在目前条件下,我国的天文学家无缘诺贝尔奖是很自然的。

我国是一个大国,大学教育水平是很高的。头脑聪明、刻苦好学、理论基础好、实验能力强的学生不乏其人。但是,我们的博士研究生、硕士研究生和他们的指导老师所处的科研环境和条件尚不能让他们去从事处于世界最前沿的课题研究。可以设想,如果我们的优秀学生能像赫尔斯那样跟着导师泰勒去完成一项当时世界上灵敏度最高的巡天,或像贝尔女士那样跟着导师休伊什进行当时灵敏度最高、时间分辨率最好的行星际闪烁的研究,他们也会有发现射电脉冲双星和脉冲星的机会和能力的。

目前的形势很好,天文学科受到国家重视,陆续有大型天文观测设备研制计划出台。我国的大天区多目标光纤光谱天文望远镜(LAMOST)已作为国家支持的重大项目正在研制中。这台光学望远镜的口径为 4 米,其特点是大口径和大视场兼而有之,有可能在光谱巡天方面在国际上起主导作用。正在进行预研究的贵州 500 米口径射电望远镜如果能实现,将成为国际上最大的单天线射电望远镜。空间太阳望远镜和空间 X 射线望远镜也在筹划之中。未来的 10 年中,我国天文学科的观测能力将有重大的提

她用物理的情趣,引我们科苑揽胜; 她用知识的力量;助我们奋起攀登!

欢迎投稿, 欢迎订阅

又是一年春草绿。《现代物理知识》在广大读者的关心和爱护下,迎来了 21 世纪的第二个明媚的春天。在新的一年里,她像大家一样,会有更新的创意、更高的追求!

新年里的《现代物理知识》,继续设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯共 8 个栏目。欢迎大家向这些栏目踊跃投稿。恳请大家注意如下几点:稿件请用方格稿纸誊写,用微机打印的则请单面打印并留 1.5 倍的行距;外国人名地名,请译成中文,有必要保留外文名称时则在文中首次出现时将外文用括号括在中译名后面,图表中的外文也尽可能地译成中文;文稿中的插图最好单独成页,并在文稿中的相应位置标上插图的编号;文稿无需附“摘要”和“关键词”等,一般也无需附“参考文献”,只需附上英文题目和作者的英文姓名;请注意语言规范,例如,“其它”一律改为“其他”,“公里”改为“千米”,“公斤”改为“千克”,数字和百分数尽量采用阿拉伯数字,除了书刊名称用书名号外,一般文章的题目则用引号。

《现代物理知识》的读者对象颇为广泛,有科学工作者、教育工作者、科学管理干部、大学生、中学生和其他物理学爱好者。欢迎各界人士继续订阅!

在邮局漏订或需要过去杂志的读者,请按下列价格汇款到《现代物理知识》编辑部(100039,北京 918 信箱现编部)补订。1992 年合订本,18 元;1993 年合订本,18 元;1995 年合订本,22 元;1996 年合订本,26 元;1993 年增刊,8 元;1994 年增刊,8 元;1994 年附加增刊合订本,36 元;1996 年增刊,15 元;1997 年合订本,30 元;1998 年合订本,32 元;1999 年合订本已售完,尚有 1、4、5、6 期单行本,每本 3 元;2000 年附加增刊合订本,38 元;2000 年增刊,10 元;2001 年合订本,48 元;2002 年每期 7 元,全年 42 元;《微观绝唱》(《诺贝尔奖百年鉴》丛书之一,江向东、黄艳华著,卞毓麟、匡志强责任编辑,上海科技教育出版社 2001 年 6 月出版),10 元。以上所列,均含邮资或免邮资。

高。年轻一代天文学家将会有比现在好得多的科研条件。如果这个发展趋势一直保持下去,那么中国天文学必将有一个大发展,中国天文学家获得诺贝尔物理学奖的梦想也必将实现。

作者简介



吴鑫基,男,北京大学天文系教授,博士生导师,中科院乌鲁木齐天文站客座研究员,中科院射电天文联合实验室学术委员会委员。从事天体物理学研究,发表论文百余篇。曾获国家教委科技进步二等奖两次、

北京大学科研成果一、三等奖各一次和国际引力研究基金会优秀论文荣誉奖两次。研究成果入选“国家自然科学基金资助项目优秀成果选编(二)”。发表科普文章 20 余篇。



温学诗,女,毕业于北京大学地球物理系天文专业。现任北京天文馆编辑室主任,中国天文学会组织委员会副主任,北京博物馆学会学术委员会副主任。长期从事天文科普工作,已出版的科普图书有《太阳系的奥秘》、《宇宙星空探秘》、《飞向太空》等 10 余册,在各类报刊上发表科普文章 100 余篇。