

从1993年度诺贝尔物理奖说起

陆 垓



新闻报道泰勒 (J. H. Taylor) 和赫尔斯 (R. A. Hulse) 荣获 1993 年度诺贝尔物理奖。他们获得此项殊荣是意料中的,因为他们于 1974 年发现了一颗十分重要的双星脉冲星,名叫 PSR 1913 + 16。事实上,另一个大奖,1991 年度日本国际奖金“京都赏”(Kyoto Prize, 金额与诺贝尔奖金相近,为四千五百万日元),我应邀作为提名人,就曾提名泰勒为获奖候选人。PSR 1913 + 16 的发现,不仅开辟了双星脉冲星、毫秒脉冲星研究的新纪元,而且这颗脉冲星本身为检验广义相对论和研究引力理论提供了独一无二的天然实验室。

获奖时(1993),泰勒 52 岁,赫尔斯 42 岁,完成获奖工作时(1974),泰勒仅 33 岁,赫尔斯作为泰勒的学生,那时只有 23 岁,尚是一位在读研究生。这说明,年轻人的创造能力是相当强的;同时也说明,年轻人切切不可浪费了自己的大好青春。事

实际上,脉冲星、中子星这个领域内,这已经是第二次颁发诺贝尔物理奖了。1974 年度的诺贝尔物理奖是颁发给赫维什 (A. Hewish) 和赖尔 (M. Ryle) 的,其中赫维什就是因为发现第一颗脉冲星而获此殊荣的。值得注意的是,对于这颗脉冲星的发现(1967),赫维什的学生 (S. Jocelyn Bell (女),当时也是在读研究生,结婚后名字为 S. Jocelyn Bell Burnell) 做出了十分重要的贡献,第一个脉冲信号实际上是她发现的。

在脉冲星、中子星这个具体领域内,颁发了两次诺贝尔物理奖,这在历史上是罕见的,也说明这个领域的极端重要性。

一、PSR 1913 + 16 是理想的引力实验室

PSR 1913 + 16 是一个双星系统中的一颗星,它是脉冲星,其伴星也是一颗中子星,只是观测不到。所以,这个双星系统是由两颗中子星组成(关于中子星,请参阅作者在本刊 1993 年第 2 期上另一文章)。这颗脉冲星的自转周期为 $P = 59.029997929613(7)$ 毫秒,周期变率为 $\dot{P} = 8.62713(8) \times 10^{-18}$ 秒/秒,括号内数值为末位误差。由于周期(甚至周期变率)在缓慢变

化,给出这么精确的值必须指明该值对应的时刻。天文学上常用约化儒略日 (MJD) 来标定时刻。所谓儒略日 (JD) 为以公元前 4713 年 1 月 1 日格林尼治平午为起算日期的日数,如 1979 年 10 月 1 日零时的儒略日数为 2,444,147.5。所谓约化儒略日为儒略日减去 2,400,000.5。上面给出的值就是归算到 $MJD = 45,888.2455$ 时刻的值。

脉冲星自转周期的缓慢变化,理论上有个非常简洁的解释。因为脉冲星有很强的磁场,星体本身为一磁矩,磁矩旋转会辐射电磁波,从而丢失能量而致自转减慢,即周期增长,使 $\dot{P} > 0$ 。因此,根据 P 和 \dot{P} 的数值,可以估算出该脉冲星表面处的磁场约为 2.3×10^6 特斯拉 (2.3×10^{10} 高斯)。这个磁场比起实验室里所能得到的磁场来已相当强,但比起一般脉冲星的磁场 ($10^8 - 10^9$ 特斯拉) 来却是相当弱的。

作为双星,这颗脉冲星还参与了轨道运动。轨道周期 $P_b = 0.322997462736(7)$ 天 (~ 7.75 小时),轨道周期变率 $\dot{P}_b = -2.427 \times 10^{-12}$,半长轴投影 $a_1 \sin i / c = 2.3417592(19)$ 秒 (i 为脉冲星视向与轨道面法线方向的夹角),轨道偏心率 $e = 0.6171308(4)$,近星点经度 $\omega = 226.57528(6)$ 度,近星点进动 $\dot{\omega} = 4.226621(11)$ 度/年。这个双星的两个成员中子星(脉冲星及其伴星)的质量均可以精确定出,一为 $1.444 M_\odot$,一为 $1.386 M_\odot$ 。

随着转动能的减小,与自转情形相反,由于轨道的缩小,轨道周期是越来越短的。 $\dot{P}_b < 0$ 正表明了轨道运动的动能正在减小。但是,两颗中子星的体系,其间并无物质交流,轨道运动能量损耗只可能是由于引力波的辐射。根据广义相对论所作的精确计算,与近二十年来累计的精确测量,两者符合得相当好。这是首次对爱因斯坦所预言的广义相对论引力波理论的观测检验,虽然是间接的,但却是定量的,而且是精确的。事实上,仍然是迄今对引力波理论唯一的观测检验。

近星点进动 $\dot{\omega} = 4.226621(11)$ 度/年也是一个极为重要的检验广义相对论的物理量。历史上,太阳系的水星近日点进动 ($= 43.03$ 秒/世纪),曾经是检验广义相对论的三大经典效应之一。因此,PSR 1913 + 16 近星点进动要比水星近日点进动大数万倍(秒变成了度,世纪变成了年),检验广义相对论要强有力得多。

显然,PSR 1913 + 16 提供了检验广义相对论和研究引力理论的理想天然物理实验室。

二、PSR 1913 + 16 开辟了脉冲星研究的新纪元

PSR 1913 + 16 实际上也是双星脉冲星、毫秒脉冲星和球状星团脉冲星这一大类新类型脉冲星中的第一个。它的发现开辟了脉冲星研究的一个新纪元。事实上,1974 年发现 PSR 1913 + 16 后,1982 年 Backer 等人又发现了第一颗毫秒脉冲星 PSR 1937 + 21,其周期 $P = 1.55780644887275(3)$ 毫秒,周期变率

$\dot{P} = 1.05105 \times 10^{-19}$ 秒/秒 (相应时刻为 MJD = 45302.7940), 其磁场仅为 4.1×10^4 特斯拉。其后又发现了许多双星脉冲星和毫秒脉冲星。值得注意的是, 双星脉冲星的周期往往比较短, 毫秒脉冲星为双星的比例又极高, 而且两者的磁场又均比通常脉冲星的典型磁场弱得多。这两类脉冲星看来是密切关联的。

通常的脉冲星都有两个比较明显的演化性质: 一为周期在缓慢变长, 二为磁场在缓慢衰减。就是说, 年轻脉冲星的周期短而磁场强, 年老脉冲星的周期长而磁场弱。然而, 毫秒脉冲星的周期短而磁场却弱, 它究竟年轻还是年老?

上面说到的周期缓慢变长是基于磁偶极辐射带来的自转减慢。如果脉冲星曾处于双星阶段, 特别是当伴星演化到红巨星阶段, 脉冲星将从红巨星吸积大量物质, 带进角动量, 使脉冲星自转加速到毫秒周期。所以, 脉冲星这一吸积阶段的演化是自转加速而不是自转减慢。这时, 由于脉冲星周围存在大量物质, 射电辐射被吸收, 实际观测不到射电脉冲。但当红巨星塌缩而成为致密星, 比如中子星或者白矮星, 这时吸积过程停止, 脉冲星自转也已加速到毫秒周期, 便以毫秒脉冲星的面貌呈现出来。因此, 毫秒脉冲星实际是年老脉冲星, 磁场自然应当是弱的。就是说, 毫秒脉冲星起源于双星, 在吸积阶段, 吸积物质落向脉冲星, 大量引力势能转化为动能, 并以 X 射线形式释放出来, 成为双星 X 射线源。近几年来, 又在球状星团内发现了为数众多的脉冲星, 基本上都是毫秒脉冲星和双星脉冲星。迄今为止, 人们已经发现了双星脉冲星、毫秒脉冲星和球状星团脉冲星共约 50 个。因此, 泰勒和赫尔斯的发现引出了整整一大类脉冲星。正是这些发现, 现在对毫秒脉冲星和双星脉冲星在脉冲星中的地位及其演化关系已经有了比较清晰的理解和认识。

可见, 泰勒和赫尔斯的发现, 无论在物理学上, 或者在天文学上, 都具有十分重要的意义, 均带来了丰硕的成果。他们获得诺贝尔物理学奖是当之无愧的。

三、诺贝尔物理学奖与天体物理

诺贝尔奖金中本没有天文学奖。但是, 自从 1967 年将诺贝尔物理学奖第一次授予一个天体物理项目“恒星能恒的发现”以来, 已有 10 位天体物理学家获得了诺贝尔物理学奖。他们是贝蒂 (H. A. Bethe)、阿尔芬 (H. O. G. Alfvén)、赖尔 (M. Ryle)、赫维什 (A. Hewish)、彭齐亚斯 (A. A. Penzias)、威尔逊 (R. W. Wilson)、强德拉塞卡 (S. Chandrasekhar)、福勒 (W. A. Fowler)、泰勒 (J. H. Taylor) 和赫尔斯 (R. A. Hulse)。天体物理已被公认为与实验室中其它物理学科同样精确的学科。我们将所有诺贝尔物理学奖分成六种学科, 即原子、量子、物态、技术、原子核、粒子和天文 (见表), 这里也包括一些物理学家获得的诺贝尔化学奖。表中用获奖者姓的第一个字母标出, 大

写字母表物理奖, 小写字母表涉及物理的化学奖。

诺贝尔奖的项目分布有几个相对密集区。早年的原子、量子区主要围绕着量子论和量子力学的创建。早年的原子核区围绕着放射性和核反应的发现和研究, 大多获的是化学奖。较近的密集区有三个, 即凝聚态物理、粒子物理和天体物理。凝聚态物理由于高新技术的配合和物理现象的丰富, 目前处于兴旺时期, 还会有不少诺贝尔奖项目出现。也许准晶和 C_{60} 的发现会在此列。粒子物理涉及深刻的基本物理规律, 获奖的密集程度很高。但由于大型加速器已到经济实力的边缘, 数据的背景成分又越来越复杂, 寻找 Higgs 粒子和顶夸克之类可望再获诺贝尔奖的项目将是很艰难的。

天体物理由于众多天文卫星已经和还将继续发射升空, 躲过大气层的干扰, 大幅度改善了观测条件, 使全波段的观测研究成为现实, 为一大批新的发现敞开了大门 (参阅王仲博士和我组织直接参与的学者撰写的一批世界大型天文观测项目的系列评述文章, 从《科学》杂志的 1993 年第 4 期起连续刊载, 每期 1—2 篇, 将持续 3 年多)。天体物理现象极为丰富, 目前也处于兴旺时期, 预计还会出现不少诺贝尔奖项目。

60 年代的四大天文发现中, 脉冲星和微波背景辐射已获诺贝尔奖。类星体的发现, 特别是联系到爱因斯坦预言的引力透镜现象的发现, 估计也可能会获诺贝尔奖。脉冲星 (中子星) 领域已颁发两项诺贝尔奖, 会不会还有第三项? 非常可能, 目前颁发的两项诺贝尔奖都是属于中子星射电波段的发现。但是, 中子星是十分重要的高能天体, 在 X 和 γ 射线波段有极为丰富的表现, 已经而且还将继续有许多重要发现。事实上, 已经颁发的涉及天文的 10 位诺贝尔奖获得者还均没有涉及 X 和 γ 射线波段。随着高能天文卫星继续积累数据, 必会揭示更深刻的规律, 也必将会有新的诺贝尔奖项目出现。而且, 由于高能加速器的限制, 许多粒子物理上的基本问题转向天体物理寻找合适的研究环境。比如, 奇异夸克物质很可能在中子星内找到, 甚至可能找到几乎全由奇异夸克物质组成的奇异星。早期宇宙也是高能粒子物理的理想“实验”场所。

· 刊 林 ·

传播科学 提倡实业 ——评《科学》杂志

由中科院院长周光召任主编的《科学》杂志, 已有 80 年历史了。该杂志始终保持“传播科学、提倡实业”的办刊风格, 孜孜不倦地追求“外行能看懂、内行受启发”的奋斗目标, 成为国内独树一帜的好读物, 因而获得读者的普遍欢迎。

阅读《科学》的人, 已被《科学》深深地吸引; 尚未谋面的朋友, 也会设法去欣赏她。因为我们与《科学》之间并无天然鸿沟, 都要做跨世纪的现代人!

(秋梅)

现代物理知识

表 诺贝尔物理奖及物理学家获得的化学奖

	天文	粒子	原子粒	技术	物态	原子量子
1901			BCC		R	R LZ
			r	L		L T
				MB	W	M
1911			c	D	K BB	W
				G		B P
			s a			S E B
1921				W	P R	M S
						FH C
						B R
1931			u			H
		HA	Cjj		d	SD
			F	L		DT
1941		S R	h h		B	P
		B P		A		
		Y				
1951			CW _{ms} BP			
		B		Z		B
		LK			SBB	
		LY CFT				
		SC	l		G	
1961		H	M		L	
			GJW			TBP
		TSF				K
	B	A			o	
	A	G			N	
1971				G	BCS	h
	HR				JGE	
		TR	BMR			
	PW				MAV _p	K
		GWS CF				
1981					SSB	W
	CF					
		RM		RBR	K	
		LSS			BM	
		FKT				RDP
1991				C	G	
	HT					

大写为获物理奖者姓的第一个字母,小写为获化学奖者姓的第一个字母。