

脉冲星和星系磁场

韩 金 林

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

(中国科学院 - 北京大学联合北京天体物理中心 北京 100871)

摘 要

脉冲星的偏振信息是理解脉冲星辐射区的重要手段。利用澳大利亚的 64m 射电望远镜进行大量的脉冲星观测,得到了一批脉冲星的偏振轮廓和偏振参数;编辑了几乎所有发表的脉冲星轮廓资料,系统总结了脉冲星圆偏振辐射的规律,为理论上解释脉冲星辐射这一重要难题提供观测依据和物理限制。利用脉冲星作为探针,研究了银河系磁场结构和模型,确定了银河系 BSS 磁场模型。发现了银河系上下反对称的环向磁场,并首次对星系尺度的发电机类型进行判别;证认出 A0 型发电机运行于银河系;发现了银晕中的垂直磁场和 M31 及银盘中的非常延展的磁场。探测到 NGC 2997 星系中由内到外的旋涡磁场,并提出可能有两种发电机在这个星系的区域运行。

关键词 脉冲星 — 星系 — 磁场 — 偏振

分类号 P145.6, P157

1 引 言

近几年中我主要在脉冲星和星系磁场两个领域做了些探索。脉冲星领域的工作主要有三个方面: (1) 偏振观测^[1]; (2) 脉冲星辐射规律的总结^[2]; (3) 参加了北京大学乔国俊教授的脉冲星辐射理论模型的研究^[3]。星系磁场方面主要有: (1) 银河系磁场比较系统的研究^[4~7]; (2) 邻近旋涡星系 M31 的磁场探测^[8]; (3) NGC 2997 的磁场探测和理论解释^[9]。很显然,我的工作是以观测为主,因此,争取国际大望远镜观测时间是我大多数工作所必需的。

2 脉冲星

脉冲星发现三十多年来,包括最近的 Parkes 巡天结果在内,已经发现了 1300 多颗脉冲星,其中有 80 多颗毫秒脉冲星。最短周期的毫秒脉冲星仍然是当时所发现的第一颗毫秒脉冲星 PSR1937+21, 周期为 1.557ms。短周期毫秒脉冲星为中子星内部物态方程提供了很强的限制。脉冲双星的发现和轨道演化的监测为检验引力理论,特别是间接探测引

力辐射, 提供了实验结果。另外, 脉冲星作为星际介质的探针, 其脉冲色散量 DM 已经用于求解星际空间电子密度分布, 脉冲偏振辐射的法拉第旋率 RM 和色散量 DM 已经用于银河系磁场分布的模型计算。

脉冲星研究的观测现状是, 几个主要的射电望远镜都有非常多的观测时间用于脉冲星搜寻工作。人们期望发现更多新的脉冲星, 特别是希望找到中子星-黑洞组成的双星系统。脉冲星守时观测积累了大量脉冲星的辐射轮廓资料。脉冲星辐射具有特别强的线偏振和圆偏振。在高时间分辨率测量时, 线偏振度经常达到 100%。作为理解脉冲星辐射区物理特征的重要的观测手段, 目前已经积累了一定的偏振观测数据。脉冲星的理论研究进展不大, 至今人们并不理解脉冲星的脉冲是如何辐射出来的, 也不能完全确定脉冲星的内部结构和物态。目前的困难是观测和理论之间缺乏应有的连接, 急需由观测资料总结规律, 为理论提供依据和观测限制。我们在脉冲星领域主要做了两方面工作。

(1) 大量偏振观测。我们 (PI) 与澳大利亚 Manchester 院士合作, 用南半球最大的 Parkes-64 m 射电望远镜, 已经对 150 多颗脉冲星进行了偏振观测。其中, 1997 年观测了 5d, 得到了 66 颗脉冲星的偏振轮廓, 结果已经分析发表^[1]。1999 年 12 月又观测了 5d, 得到了 80 颗脉冲星的偏振轮廓, 目前正在分析待发表。最近我们又申请到了 2000 年 12 月的 5 天时间。观测的主要目的是测量脉冲星的法拉第旋率, 为银河系磁场结构的最后确定收集数据, 同时客观地测量大量脉冲星的偏振轮廓特征。在第二次观测中就得到了一些毫秒脉冲星非常特别的偏振轮廓特征。

(2) 圆偏振辐射系统研究^[2]。脉冲星圆偏振在以前只有 Radhakrishnan 和 Rankin(1990, 简称 RR90) 作过系统研究^[10]。他们总结出脉冲星圆偏振有两大类, 一类是脉冲中间圆偏振旋向变化, 另一类是整个轮廓圆偏振单一旋向。我们对几乎所有脉冲星的轮廓资料进行了系统的编辑, 得到了一个非常厚的“脉冲星字典”。利用这样全面的数据, 我们经分析发现, 脉冲星圆偏振除两种类型之外还有其他类型。RR90 得到的另一重要结果是, 脉冲中间圆偏振的旋向变化与脉冲星的线偏振位置角有密切关系, 而我们用更大的数据样本完全否定了这个结论。这样有关的理论解释也就不再成立了。我们还发现圆偏振辐射及其旋向变化根本不是原先认为的那样一定发生在脉冲中间区域。对于仅测到辐射束边沿的双峰脉冲星, 我们发现圆偏振旋向与线偏振角度变化有关联, 且无一例外。我们还发现了有些脉冲星圆偏振随频率变化。所有这些都说明, 脉冲星产生辐射时就有一定的圆偏振, 而辐射传播中圆偏振被进一步改变。目前我们正在总结脉冲星线偏振的规律。我们最近已经完成了利用脉冲星辐射轮廓和线偏振信息恢复脉冲星辐射束的平均亮度分布图。

除以上工作外, 我们还利用脉冲宽度探测辐射区大小^[11]; 利用脉冲周期和周期变率分布研究脉冲星磁场衰减^[12]; 利用偏振位置角测量和脉冲轮廓研究平均脉冲辐射束形状^[13]; 从事了脉冲星极冠区附近物理特征的研究^[14]。

3 星系磁场

星系的大尺度磁场会影响星系的气体动力学特征, 并可能在星系形成和演化中起重

要作用。星系磁场的起源和演化状况现今仍不清楚。目前在理论方面一直有几种理论不断发展。发电机理论主要在计算机模拟方面逐步实现类似星系内的气体和动力学条件, 进行 MHD 方程的计算, 并讨论发电机能否放大星系的大尺度磁场, 大尺度磁场是否对发电机有反作用而限制它放大磁场。原初磁场起源的理论已经逐步深入, 主要研究在星系形成时期磁场的产生和放大, 其中计算机模拟也发挥了重要作用。另外, 等离子体密度波也可能在确定目前的星系磁场位形时起重要作用。更好的观测事实描述可能有助于判别这几种互相匹敌的理论解释的优劣。

银河系磁场过去一直没有很好的定量描述。人们提出了三个模型: (1) 轴对称 ASS 模型, 认为磁场是旋涡形, 但在同一半径上磁场方向全是旋向星系中心的, 而在另一半径上可能磁场翻转而全部是旋出星系的; (2) 环形磁场模型, 认为银河系磁场是由围绕星系中心的同心环形, 磁场在一个环内方向是顺时针, 而另一个环可能方向翻转成反时针; (3) 双对称的旋涡 BSS 模型。

脉冲星线偏振信号穿过星际介质时, 偏振角度有法拉第旋转效应, 它带有星际磁场的信息。我们利用脉冲星作为星际磁场的探针, 用模型分析脉冲星偏振观测时获得的法拉第旋率的分布^[4]。我们确认了银河系磁场在旋臂之间的方向翻转, 发现了在大尺度 ($> 5\text{kpc}$) 上方向协调一致的磁场。我们的 BSS 磁场模型被国外同行证实和引用。我们不但求出了平行于银道面的规则磁场, 约 0.18nT , 还首次估计了太阳附近垂直于银道面的磁场分量, 约 $20\sim 30\text{pT}$ ^[4,6]。在高银纬区域, 我们独立发现了法拉第旋率分布的反对称性, 并进一步认定它起源于银道面上下旋向相反的大尺度磁场, 从而首次在星系尺度上证认出发电机模式^[5]: 即银河系与地球和太阳一样, 有一个 A0 型的发电机在银河系的晕中或厚盘中运行, 产生或维持磁场。

仙女星系 M31 原先只知道有一个明显的磁环, 理论上一直难以解释。我们测量了这个星系的背景射电源的法拉第旋率, 分析后发现磁场不只是局限于磁环, 而是在星系盘中非常延展^[8]。我们分析了磁环的法拉第旋率分布, 认为 M31 的磁场可能由 S0 型的发电机维持。

我们用前所未有的分辨率对旋涡星系 NGC2997 进行了偏振观测^[9], 首次测得星系中心的旋涡磁场, 由观测确定规则磁场在旋臂内侧, 发现了星系外围的“磁旋臂”。在理论上, 这些结果首次明确了密度波对磁场的作用。用于解释星系外围磁场的 $\alpha-\Omega$ 发电机理论无法解释中心旋涡磁场, 那里没有较差自转而没有 Ω , 说明一个星系中可能有两种发电机起作用! 我们还提出“磁旋臂”的一种解释——它们是密度波扰动引起的旋臂间物质和冻结磁场。

4 未来的工作方向

美国 VLA 的大规模偏振巡天记录了 180 万个射电源, 得到唯一有线偏振信息的射电源表。我们据此比较了各类已知天体的偏振特征。一般而言, 除脉冲星外, 没有其他天体具有 20% 以上的偏振。于是, 我们从中挑选了 500 多个偏振度大于 25% 的偏振射电源, 对此进行脉冲星搜寻。目前已经用英国 Jodrell Bank 的 76m 望远镜和澳大利亚的

Parkes-64m 望远镜完成观测, 数据正在分析中。

另一方面, 我们现在正在努力研究和证认某些高偏振射电源。根据已有的结果, 我们发现它们中有相当一部分不是脉冲星。这些非脉冲星的高偏振源可能是性质特别的活动星系核。光学证认和光谱观测目前看来是必需的。

致谢: 本文叙述的很多工作都是在与 R.N. Manchester 院士、R.Beck 博士、乔国俊教授和其他同事的合作下完成的, 并曾多次受中科院黄授书天体物理基金资助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 Manchester R N, Han J L, Qiao G J, M.N.R.A.S., 1998, 295: 280
- 2 Han J L, Manchester R N, Xu R X *et al.* M.N.R.A.S., 1998, 300: 373
- 3 Xu R X, Liu J F, Han J L *et al.* Ap. J., 2000, 535: 354
- 4 Han J L, Qiao G J. Astron. Astrophys., 1994, 288: 759
- 5 Han J L, Manchester R N, Berkhuijsen E M *et al.* Astron. Astrophys., 1997, 322: 98
- 6 Han J L, Manchester R N, Qiao G J. M.N.R.A.S., 1999, 306: 371
- 7 Han J L. Ap. Space Sci., 2000, in press (proceedings of IAU Colloquium 182)
- 8 Han J L, Beck R, Berkhuijsen E M. Astron. Astrophys., 1998, 335: 1117
- 9 Han J L, Beck R, Ehle M *et al.* Astron. Astrophys., 1999, 348: 405
- 10 Radhakrishnan V, Rankin J M. Ap. J., 1990, 352, 258
- 11 Gil J A, Han J L. Ap. J., 1996, 458: 265
- 12 Han J L. Astron. Astrophys., 1997, 318: 485
- 13 Han J L, Manchester R N. M.N.R.A.S., 2001, 320: L35
- 14 Zhang B, Qiao G J, Han J L. Ap. J., 1997, 491: 891

Pulsar Studies and Magnetic Fields in Galaxies

Han JinLin

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

(The Chinese Academy of Sciences-Peking University Joint Beijing Astrophysics Center, Beijing 100871)

Abstract

In recent years, I have mainly worked on the two research areas: pulsar polarization and magnetic fields in galaxies. Together with my cooperators, we have observed about 150 pulsars in total and will do another 100 in near future. We did systematical studies on circular polarization of pulsars and obtained several intriguing results. Using pulsars as probes, we detected the magnetic field reversals from spiral arm to arm in our Galaxy. We found that the B-field has a bi-symmetric structure in the disk. We also obtained the unique measurements of the vertical component of the B-field in the solar vicinity. From the anti-symmetric distribution of Galactic rotation measure sky, we identified the B-field structure produced by A0 dynamo in the Galactic halo or thick disk. The magnetic fields in the disk of our Galaxy and M31 were found to be very extended. The spiral B-field we detected from NGC2997 suggests that there may be two kinds of dynamos operating in one galaxy.

Key words pulsar—magnetic field—galaxy