

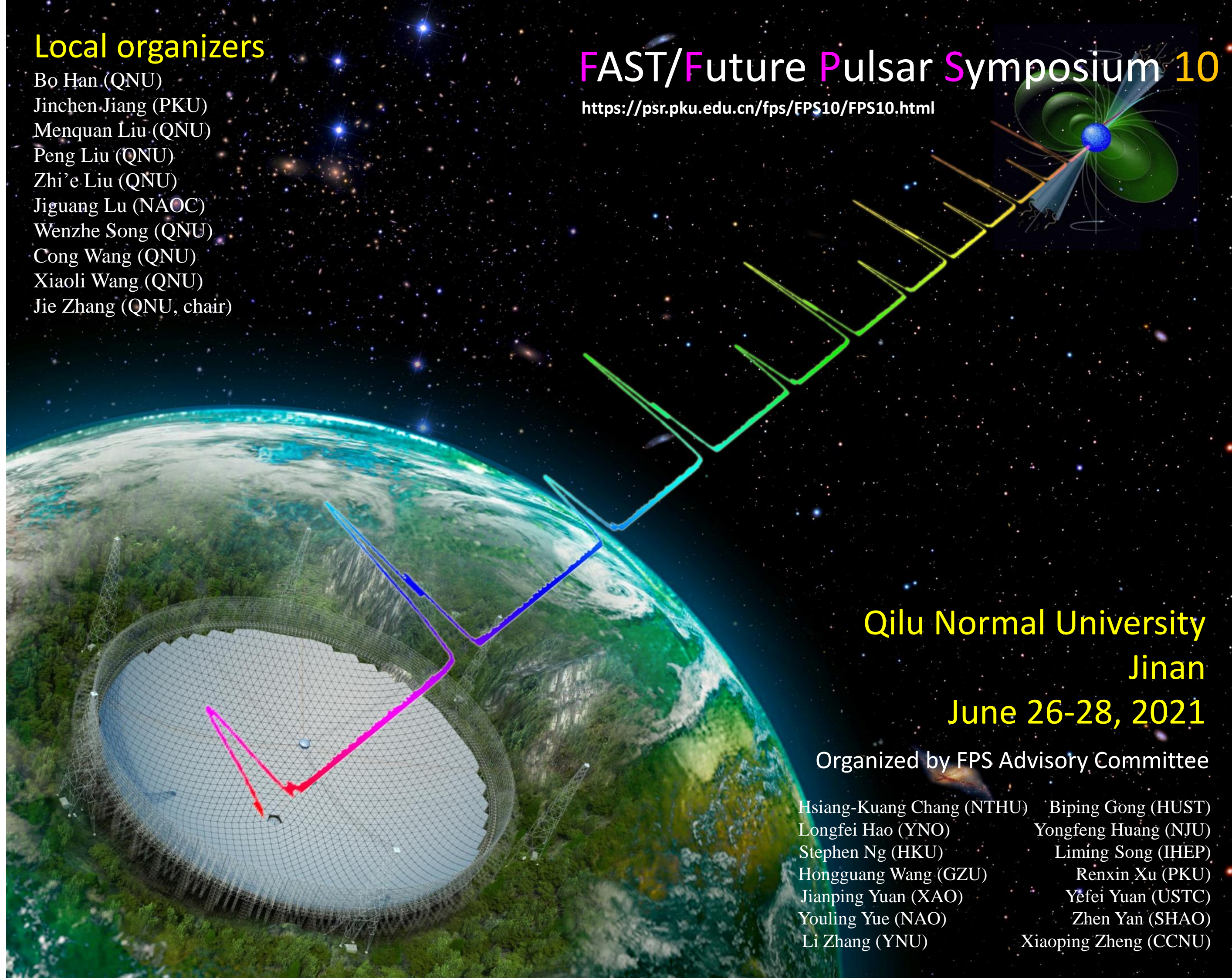
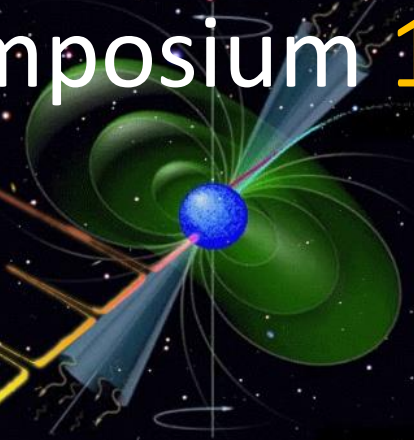
五百米口径球面射电望远镜脉冲星研讨会
(10)

Local organizers

- Bo Han (QNU)
- Jinchen Jiang (PKU)
- Menquan Liu (QNU)
- Peng Liu (QNU)
- Zhi'e Liu (QNU)
- Jiguang Lu (NAOC)
- Wenzhe Song (QNU)
- Cong Wang (QNU)
- Xiaoli Wang (QNU)
- Jie Zhang (QNU, chair)

FAST/Future Pulsar Symposium 10

<https://psr.pku.edu.cn/fps/FPS10/FPS10.html>



Qilu Normal University
Jinan
June 26-28, 2021

Organized by FPS Advisory Committee

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| Hsiang-Kuang Chang (NTHU) | Biping Gong (HUST) |
| Longfei Hao (YNO) | Yongfeng Huang (NJU) |
| Stephen Ng (HKU) | Liming Song (IHEP) |
| Hongguang Wang (GZU) | Renxin Xu (PKU) |
| Jianping Yuan (XAO) | Yefei Yuan (USTC) |
| Youling Yue (NAO) | Zhen Yan (SHAO) |
| Li Zhang (YNU) | Xiaoping Zheng (CCNU) |

第十届全国脉冲星研讨会 (FPS10) 2021.7.13



500 米口径球面射电望远镜/未来脉冲星专题研讨会

第十次会议

受“973 计划”项目资助而发起、后续一直延续的 FPS 年会承载着“脉冲星人才培养”之重任，FPS10 于 2021 年 7 月 13 日至 15 日在济南召开。FPS10 评奖委员会（董建敏、高志福、龚碧平、黄永锋、来小禹、李葑、李柯伽、李兆升、柳若愚、吕国梁、彭秋和、邵立晶、仝号、王发印、徐仁新、闫振、袁业飞、岳友岭、张洁、张力、郑小平、周霞等 22 人构成）最终遴选出 Crab 奖一名（牛晨辉）、Vela 奖两名（冯毅、胥恒），如下图合影。

转眼间，“FPS 之旅”已时至第十个年头。治学大师王国维曾告诫后生成就事业必历经“三阶段”，咱“FPS”的过去、今天和未来似有同感。FPS1 在新疆昌吉举办时算作“昨夜西风凋碧树，独上高楼，望尽天涯路”；如今到了“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴”之境；期待“FPS 学人”摘取桂冠之时达“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在，灯火阑珊处”。



FPS10 获奖者

牛晨辉（中） 冯毅（左） 胥恒（右）

作为 FPS 人共同的“历史记忆”，您手中的第十本会议文集将在会场外绽放 FPS 的更多精神魅力。所有 FPS 文集电子版网址如下：

[https://psr.pku.edu.cn/fps/Proceedings/FPS \$\alpha\$.pdf](https://psr.pku.edu.cn/fps/Proceedings/FPSα.pdf)

这里 $\alpha = 1, 2, 3, \dots, 10$ ，代表获取第一到十次的 FPS 文集。两千五百余年前的孙武仅码了约六千字的中华文化璀璨瑰宝——《孙子兵法》，至今仍指导着人们面临困惑时谋略方向。在此，我们相信所有 FPS 人会继续以精辟的语言在文集中留下过去一年关于脉冲星的真知灼见！

会议组织者：“FPS”咨询委员会成员，以及

LOC 成员：齐鲁师范学院 韩波、刘门全、刘鹏、刘志娥、宋文哲、
王聪、王晓丽、张洁（主席），
国家天文台 卢吉光，北京大学 姜金辰

公元贰零贰壹年拾贰月

目 录

| | |
|--|----|
| 1. “Frequency Dependent Polarization as a Probe of Magneto-ionic Environments of FRBs” 冯毅 (Vela 奖获得者) | 1 |
| 2. A Possible Test of Modulation of Quantum Entanglement by Gravitational Wave 龚碧平 | 4 |
| 3. 对新发现的磁星 Swift J1818.0-1607 的 2.25/8.60 GHz 双频同时观测研究 黄志鹏, 闫振, 沈志强, 仝号, 林琳, 袁建平, 刘杰, 赵汝双, 葛明玉, 王睿..... | 5 |
| 4. What will we learn from superburst? 李兆升..... | 8 |
| 5. 利用单脉冲信息提高脉冲星测时精度 卢吉光..... | 9 |
| 6. “The new FRBs discovered in CRAFTS” 牛晨辉 (Crab 奖获得者) | 10 |
| 7. 在球状星团 NGC6517 中的一些暗弱的新脉冲星和一些由此而来的想法 潘之辰..... | 12 |
| 8. 用中子星测量强引力场中的偶极辐射 邵立晶..... | 15 |
| 9. The central engine of FRBs: clues from local environment 王发印, 赵臻胤..... | 16 |
| 10. Magnetospheric Origin of Repeating Fast Radio Bursts 王维扬..... | 18 |
| 11. Radio signal of the PSR B0950+08 is detected over the whole phase 王正理, 卢吉光 | 21 |
| 12. 夸克物质及其表面对夸克星结构的影响 夏铖君..... | 23 |
| 13. Progresses of Chinese Pulsar Timing Array 胥恒 (Vela 奖获得者) | 25 |
| 14. “How to rule out strangeon star model?” 徐仁新..... | 27 |
| 15. “The possible constraints of astronomical observations on the internal structure of neutron stars” 许妍..... | 28 |
| 16. 球状星团 NGC 6712 首颗脉冲星的发现 闫振, 潘之辰, 钱磊, 王培, 沈志强, 李葑, 姜鹏, 罗近涛, 刘杰, 黄志鹏..... | 29 |
| 17. Interstellar scintillation and polarization of PSR B0656+14 in the Monogem Ring 姚菊枚 | 32 |
| 18. “Pulsar timing of a millisecond pulsar around a binary black hole” 袁业飞.... | 34 |

| | | |
|----------------------|----------|----|
| 19. 新生中子星（夸克星）的早期演化 | 俞云伟..... | 36 |
| 20. 脉冲星磁层中粒子加速地点在何处? | 张力..... | 38 |
| 21. 中子星的 r 模式不稳定性 | 周霞..... | 40 |
| 22. 银河系有多少个脉冲星-黑洞系统? | 朱兴江..... | 42 |
| 23. 会议日程 | | 43 |

“Frequency Dependent Polarization as a Probe of Magneto-ionic Environments of FRBs”

Yi Feng (冯毅)
国家天文台 北京 100101
Email: yifeng@nao.cas.cn

To account for the apparent trend of decreasing degree of linear polarization from high to low frequencies for each repeating fast radio burst (FRB), we consider three effects, namely, intrinsic frequency evolution of the linear polarization, intra-channel depolarization, and rotation measure (RM) scatter.

Intrinsic frequency evolution of linear polarization has been seen toward many pulsars. The degree of polarization tends to decrease from lower to higher frequencies, which can be attributed to different heights in pulsar magnetospheres. Since this is the opposite trend as seen in our repeating FRBs, a direct analogy to the pulsar-magnetosphere origin of repeating FRBs is not supported. Given the wide-open nature of the current understanding of FRB origin(s), our results cannot rule out other scenarios involving pulsar-magnetosphere-like environments. Intra-channel depolarization f_{depol} , which is the fractional reduction in the linear polarization amplitude, can be calculated as

$$\begin{aligned} f_{\text{depol}} &= 1 - \frac{\sin(\Delta\theta)}{\Delta\theta}, \\ \Delta\theta &= \frac{2\text{RM}_{\text{obs}}c^2\Delta\nu}{\nu_c^3}, \end{aligned} \tag{1}$$

where $\Delta\theta$ is the intra-channel polarization position angle rotation, c is the speed of light, $\Delta\nu$ is the channel width, and ν_c is the central channel observing frequency. For repeating FRBs, the measured RMs are not sufficient for explaining the depolarization through Eq. 1. It seems that intra-channel depolarization is unlikely a major cause of depolarization for the general population.

We now focus on RM scattering, which denotes the dispersion about the apparent mean RM of a certain source ¹. RM scattering can be caused by multi-path transmission of signals. In an inhomogeneous magneto-ionic environment, such RM scattering becomes substantial enough to depolarize the pulses, in analogy to pulsars' pulses passing through a stellar wind ². The depolarization due to RM scattering can be characterized as Eq. 2 ¹

$$f_{\text{RM scattering}} = \exp(-2\lambda^4\sigma_{\text{RM}}^2), \tag{2}$$

where $f_{\text{RM scattering}}$ is the remaining fractional linear polarization amplitude, σ_{RM} is the standard deviation of the RM and λ is the wavelength.

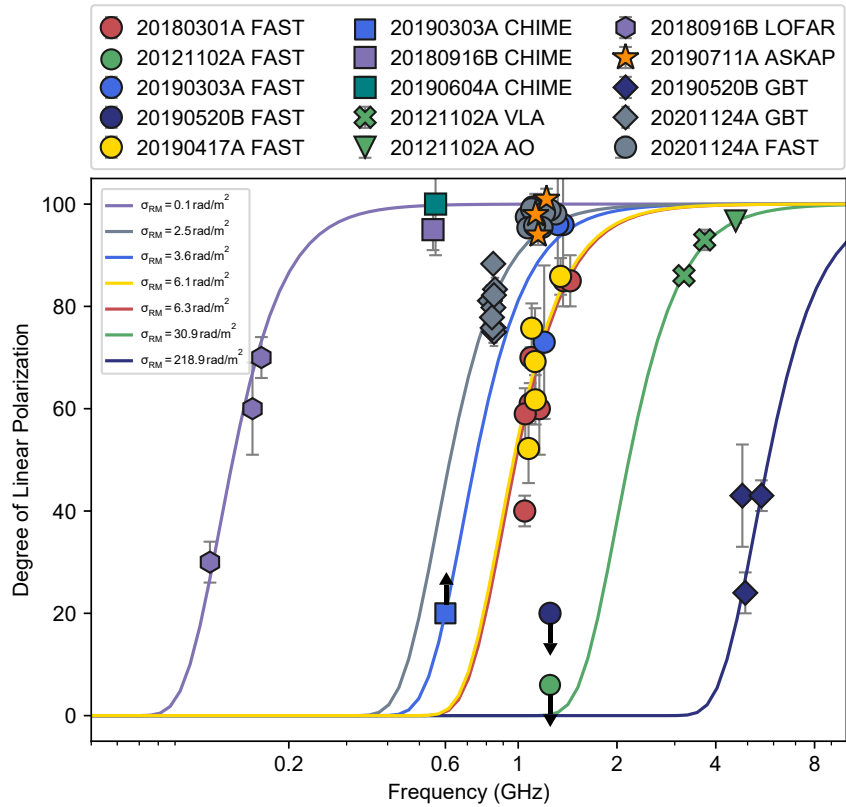


Figure 1: **Degree of linear polarization consistent with RM scattering.** Different points with error bars represent the degree of linear polarization versus frequency for each FR-B. Different lines represent the predicted degree of linear polarization for emission that is intrinsically 100% linearly polarized that has been depolarized by various σ_{RM} levels. FRB 20121102A FAST and FRB 190520B FAST are upper limits (down arrow symbols). FRB 20190303A CHIME is a lower limit (up arrow symbol). All the bursts in the sample are consistent with such an RM scattering interpretation.

Depolarization at lower frequencies that are consistent with irregular RM variations have been seen in a few pulsars with scatter broadening. For example, the variable degree of linear polarization observed in PSR J0742–2822 between 200 MHz and 1 GHz can be well described by Eq. 2 with $\sigma_{\text{RM}} = 0.13 \text{ rad/m}^2$ ³.

In Figure 1, we show degree of linear polarization versus frequency for each repeating FRB. Clear frequency evolution can be seen for all sources, with depolarization happening at different bands. Observations so far are consistent with repeating bursts being intrinsically nearly 100% linearly polarized, then get depolarized through transmission processes, which can be characterized by the RM scatter parameter σ_{RM} .

References

- [1] 1. S. P. O’Sullivan, S. Brown, T. Robishaw, et al. 2012, MNRAS, 421, 3300.
- [2] 2. X. P. You, R. N. Manchester, W. A. Coles, et al. 2018, ApJ, 867, 22.
- [3] 3. M. Xue, S. M. Ord, S. E. Tremblay et al. 2019, PASA, 36, e025.

A Possible Test of Modulation of Quantum Entanglement by Gravitational Wave

Biping Gong
Huazhong University of Science and Technology
Wuhan 430074
Email: bpgong@hust.edu.cn

Einstein, Podolsky, and Rosen (EPR) investigated general entangled states in the two photon experiment and pointed out the contradiction between local realism and the completeness of quantum mechanism in 1935. Most of the EPR experiments in recent years are based on the detection of polarization correlations of optical photons between spatially separated photon channels, some of which are split and directed to two spatially separated Michelson interferometers, which are strikingly similar to that of LIGO.

I hereby proposes a combined experiment of EPR and Gravitational Wave (GW), exhibiting whether the coincident rate of EPR is modulated by GW induced change of arm length of the interferometer or not. Such an experiment could test the coupling of quantum mechanics and general relativity.

对新发现的磁星Swift J1818.0–1607的2.25/8.60 GHz双频同时观测研究

黄志鹏^[1], 闫振^[1*], 沈志强^[1], 仝号^[2], 林琳^[3], 袁建平^[4], 刘杰^[1], 赵汝双^[5], 葛明玉^[6], 王睿^[1]

[1]中国科学院上海天文台, 中国 上海 200030

[2]广州大学, 中国 广州 510006

[3]北京师范大学, 中国 北京 100875

[4]中国科学院新疆天文台, 中国 乌鲁木齐 830011

[5]贵州师范大学, 中国 贵州 550001

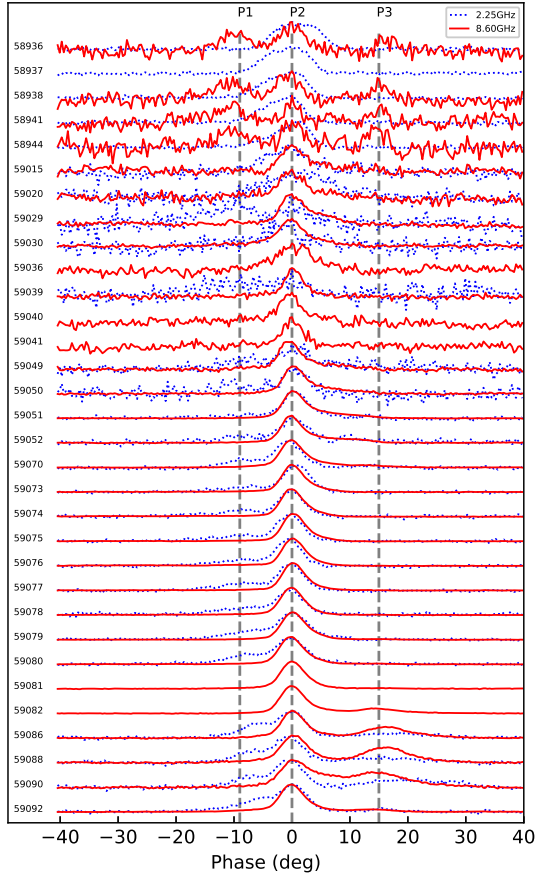
[6]中国科学院高能物理研究所, 中国 北京 100049

*Email: yanzhen@shao.ac.cn

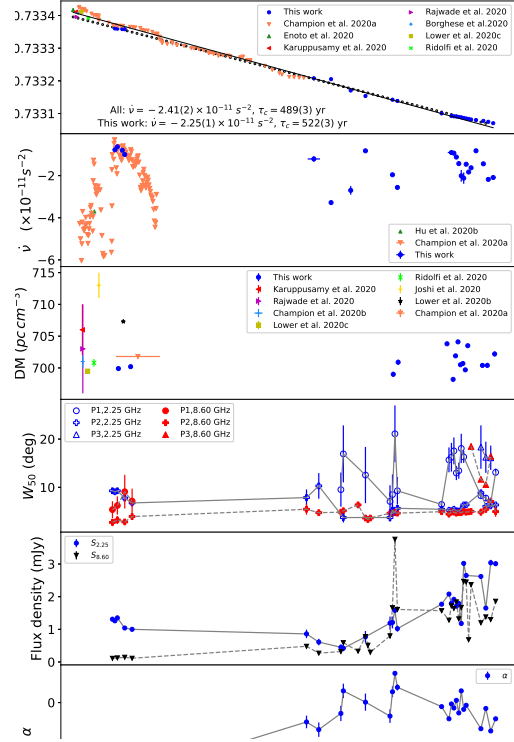
磁星是宇宙中一类具有超强磁场的特殊天体, 其磁场强度可达 $10^{14} - 10^{15}$ 高斯。目前仅发现32颗磁星及其候选体, 它们通常表现为软 γ 射线重复暴和反常X射线脉冲星(Duncan & Thompson, 1992)。其中仅6颗磁星探测到射电波段辐射¹。和常规脉冲星相比, 磁星具有剧烈的高能现象、多样的辐射轮廓、频繁的自转变化等显著特点。无论是磁星的辐射还是结构、演化等基本问题一直是天文学研究的前沿热点。磁星Swift J1818.0–1607于2020年3月12日(MJD 58920)因X射线爆发被首次发现, 随后观测证实它具有持续的射电辐射(Enoto et al. , 2020; Karuppusamy et al. , 2020)。我们利用上海天马射电望远镜(TMRT)对该磁星进行双频率(2.25 GHz和8.60 GHz)同时监测研究, 经历了从MJD 58936至59092共计32次观测之后取得如下阶段性成果。

【1】由于磁星辐射随时间多变且不可预测, 不同时获得的多频资料无法准确揭示它的辐射随频率变化规律。不同频率辐射来自不同高度的辐射区域, 因而多频平均轮廓能以“立体”视角反映磁星辐射的宏观信息。天马望远镜除了探测到这颗磁星较常见的单峰和双峰平均轮廓外, 还多次观测到鲜有报道的“三峰”平均轮廓(Lower et al. , 2020)。研究发现其2.25 GHz和8.60 GHz的平均轮廓变化在绝大多数情况下并不同步, 表明辐射随时间和频率变化的复杂性(见子图(a))。

¹<http://www.physics.mcgill.ca/~pulsar/magnetar/main.html>



(a)



(b)

Figure 1: (a) Swift J1818.0–1607平均脉冲轮廓随时间和频率（2.25 GHz蓝色、8.60 GHz红色）的变化情况。(b) Swift J1818.0–1607自转频率及一阶导数、色散量、半高全宽、平均流量、谱指数随时间变化情况。

【2】用跨度156天的观测资料证实该磁星自转频率随时间减慢趋势和自转频率导数准周期震荡现象，成功拟合了自转频率长期变化的一阶导数 ($\dot{\nu} \sim -2.25 \times 10^{-11} s^{-2}$)，从而推导出更精确的特征年龄——约522年（见图（b）上两幅子图）；支持了此前Champion et al. (2020)提出的该星特征年龄约为500年的观点。

【3】通过精确监测发现该磁星2.25 GHz和8.60 GHz流量随时间逐渐增大同时能谱逐渐变平（见图（b）底部两幅子图），解释了X射线爆发后的27天内未能探测到其8.0 GHz以上积分轮廓的原因(Gajjar et al. , 2020; Majid et al. , 2020; Lower & Shannon, 2020)。

【4】发现了该磁星有别于其它望远镜临近时段的模式变换现象。所谓模式变换是少数脉冲星类天体在两个（及以上）亚稳态辐射之间快速“变脸”现象。天马望远镜2020年7月21号（MJD 59050）探测到的模式变换现象伴有剧烈的流量变化；而仅仅3天前（MJD 59047），Parkes观测到的模式变换却呈现出明显的相位变化(Lower et al. , 2020)。

更多细节请见我们的论文(Huang et al., 2021)。有关磁星的后续监测还在天马望远镜进行，将进一步揭示这类天体奥秘。

References

- Champion D. et al., 2020a, MNRAS, 498, 6044
Duncan R. C., Thompson C., 1992, ApJ, 392, L9
Enoto T. et al., 2020, Astron. Telegram, 13551, 1
Gajjar V., Perez K., Siemion A., MacMahon D., Lebofsky M., Croft S., Price D., 2020, Astron. Telegram, 13575, 1
Huang Z.-P. et al., 2021, MNRAS, 505, 1311
Karuppusamy R. et al., 2020, Astron. Telegram, 13553, 1
Majid W. A., Pearlman A. B., Prince T. A., Naudet C. J., Kocz J., Horiuchi S., Enoto T., Younes G., 2020, Astron. Telegram, 13649, 1
Lower M. E., Johnston S., Shannon R. M., Bailes M., Camilo F., 2020, MNRAS, 502, 127
Lower M. E., Shannon R. M., 2020, Astron. Telegram, 13587, 1

What will we learn from superburst?

李兆升 (Zhaosheng Li)
湘潭大学 物理与光电工程学院
湘潭 411105
Email: lizhaosheng@xtu.edu.cn

超暴是发生在中子星表面的不稳定碳燃烧，与普通I型X射线暴相比，超暴持续时间 $\sim 10^3$ 倍、释放的总能量高 $\sim 10^3$ 倍、发生率低 $\sim 10^3$ 倍。理论模拟发现，超暴发生后，中子星的表面温度高，此时中子星吸积的物质发生稳定的核燃烧，温度降低后，进入亚稳态核燃烧，观测上表现为 mHz 准周期震荡，温度继续降低，吸积物质会发生不稳定的He或者混合的H/He燃烧，观测上表现为I型X射线暴。Aql X-1在2020年发生了一次超暴，我们分析了在此期间NICER、MAXI、HXMT、Swift的观测数据，发现了超暴后，吸积物质经历了亚稳态核燃烧和不稳定核燃烧过程，与理论模拟基本一致(Li et al. 2021, ApJ, 920:35)。我们首次发现了超暴结束后中子星表面吸积物质燃烧行为的变化。

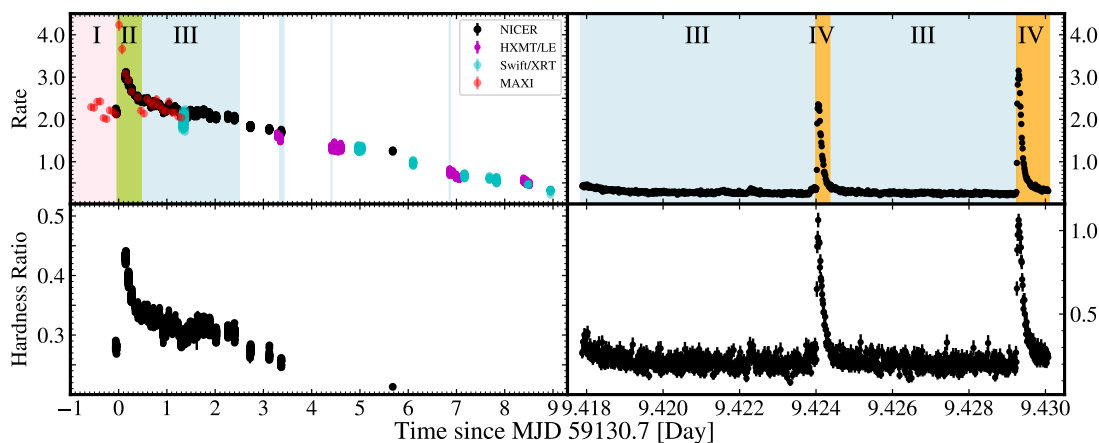


Figure 1: Aql X-1在2020年发生超暴的光变曲线和硬度演化。时间段I、II、III、IV分别表示超暴爆发前、超暴爆发期间、出现mHz 准周期震荡和I型X射线暴。图片来自Li et al. 2021, ApJ, 920:35。

超暴的观测，可用来研究中子星的内部结构，对长时标暴的高精度能谱观测，可能首次测量到中子星表面超暴核合成重元素的原子谱线。未来，借助EP望远镜，将捕捉到更多的超暴，通过HUBS高精度的软X射线能谱观测，可能测量到中子星的表面引力红移，测量中子星的质量和半径，限制致密物质状态方程。

利用单脉冲信息提高脉冲星测时精度

卢吉光 (*Jiguang Lu*)
中国科学院国家天文台
北京 100101
Email: lujig@nao.cas.cn

脉冲星测时在脉冲星物理研究工作中非常重要，也可用于探测引力波、脉冲星钟、脉冲星导航等工作。目前，限制脉冲星测时工作的主要因素是测时精度，而提高测时精度的主要方案是增加望远镜有效口径。然而，受限于材料学和算力，大型望远镜或阵列的修建使用困难重重，很难通过增大望远镜有效口径来提高脉冲星测时精度。因此，通过其它方案提高脉冲星测时精度非常必要。

目前的脉冲星测时方案是采用脉冲星观测轮廓与标准轮廓进行比对，获取两组数据的相对相位偏差。这一方案利用了积分脉冲轮廓的长期相位稳定性。但具有这一特性的参数并不只有积分脉冲轮廓，单脉冲的某些参数特征也具有该特性。如相邻脉冲的乘积、不同相位流量的标准差等特征。这些单脉冲特性能够提供独立于脉冲轮廓的相位稳定信息。因此，如结合使用该类信息与脉冲轮廓，可以提高脉冲星测时精度。

“The new FRBs discovered in CRAFTS”

Chen-Hui Niu (牛晨辉)
 国家天文台
 北京 100864
 Email: peterniu@nao.cas.cn

在FAST多科学目标同时扫描巡天(The Commensal Radio Astronomy FAST Survey, CRAFTS)项目中, 我们目前已经发现了5例快速射电暴(Fast Radio Burst, FRB), 其中一例为活跃的重复快速射电暴. 根据FAST巡天视场和时间, 我们得到在CRAFTS阈值($> 14.6 \text{ mJy ms}$)上, FRB的全天事件率为 $12.4_{-9.0}^{+19.4} \times 10^4 \text{ sky}^{-1} \text{ day}^{-1}$. FAST探测到的这几例快速射电暴具有低流量通量(Fluence $< 0.2 \text{ Jy ms}$), 高色散($\text{DM} > 1000 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$)的特征, 拓展了DM-Fluence图中右下角区域, 如图??所示.

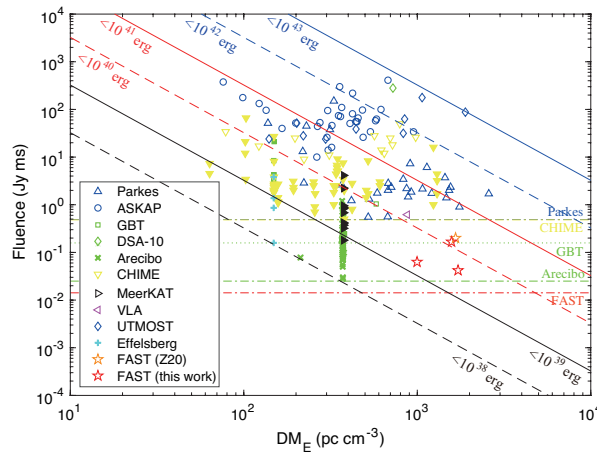


Figure 1: 流量通量与系外贡献色散的关系, FAST探测到的这几例非重复快速射电暴位于图中右下方位置, 根据 DM_E 估算红移, 可以发现FAST探测到的这几例FRB与已探测到的FRB的能量区间保持一致。¹

FRB 190520B 是CRAFTS探测到的新的重复FRB, 也是FAST探测到的第一例重复快速射电暴. FRB 190520B非常活跃, 在FAST巡天扫描首次发现时就探测到了4次爆发并将其定位在了5角分范围内. 不同于以往的重复暴, FRB 190520B在每次的探测窗口都能探测到脉冲, 但目前尚未发现其周期现象. 依据FAST提供的位置信息, 我们申请了甚长干涉阵列(Very Large Array, VLA)的跟踪观测, 成功将FRB 190520B定位在了亚角秒范围内, 并结合光学观测发现了其宿主星系位于红移0.241的矮星系中. FRB 190520B观测得到的色散值为 $1205 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$, 扣除星系际介质对色散的贡献, 我们得到其宿主星系对色散贡献达到 $903 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$, 是目前已定位FRB样本中宿主星

系贡献色散最大的快速射电暴, 远远偏离了之前的样本集, 如图??所示. 在VLA的观测中还发现了该源与一个致密射电持续源成协, 这也是第二颗发现伴随射电持续源的快速射电暴.

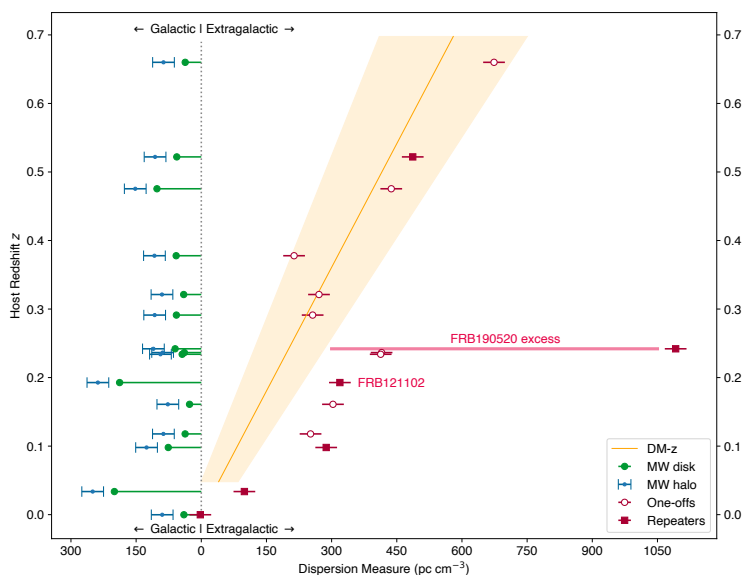


Figure 2: 已定位FRB中系外贡献色散与红移关系, 我们可以发现FRB 190520B远远偏离了之前的样本集, 今后利用快速射电暴色散与红移关系时需要更加谨慎考量其宿主星系贡献.²

References

- [1] Niu, C.-H., Li, D., Luo, R., et al. 2021, ApJL, 909, L8.
- [2] Niu, C.-H., Aggarwal, K., Li, D., et al. 2021, arXiv:2110.07418

在球状星团NGC6517中的一些暗弱的新脉冲星和一些由此而来的想法

潘之辰 (Zhichen Pan)
中国科学院国家天文台
FAST运行和发展中心
北京 100101
Email: panzc@bao.ac.cn

起因:大约在2021年12月10日, 我找出了已经被用各种方法处理了无数次的球状星团NGC6517在2020年1月23日的将近9000秒长的FAST观测数据; 把搜索得到的信号都重新检查一遍, 试图从中找出任何可能的、哪怕只有1%可能的新信号, 然后尝试判断一下。对于此行为的结果, 并没有报任何希望, 因为之前的工作已经在NGC6517的半小时观测数据中找出了3颗脉冲星NGC6517E, F和G(Pan et al. 2021a), 在同一个观测数据中又找出了NGC6517H和I(Pan et al. 2021b)。

经过:除了已知的脉冲星, 将信将疑, 找出了3个信号, 其中任何一个都让我自己都觉得在直觉方面的可信度在30%以下。

结果:最终证实这三个信号都是真实的脉冲星信号, 两个是孤立脉冲星, 一个是双星。按照直觉可信度的估计, 这三个信号都是脉冲星的概率为2.7%。参考其它例证, 并不能说明如此强度的信号也肯定是脉冲星信号。

因此, 借FPS10文集的机会, 略加记录, 奇图共赏, 和大家交流在脉冲星信号识别上的经验和教训。

1 关于球状星团NGC6517及在FAST之前的脉冲星发现

球状星团NGC6517, 在FAST开展观测前共在其中发现了四个脉冲星(Lyne et al. 2011)。它距地球10.6 kpc, 在确定有脉冲星发现的球状星团中是少数几个距离在10 kpc以外的; 不过, 经验显然表明, 在大约10 kpc以内并不能简单通过距离来判断其中脉冲星的数目。它是一个中心密度高, 具有核心塌缩(?)的球状星团, 总质量是太阳的20万倍, 在球状星团中属于大质量的。其中NGC6517A, C和D是孤立毫秒脉冲星, 自转周期都短于10毫秒。NGC6517B是个轨道周期约60天的双星, 伴星质量为0.38倍太阳质量¹。

¹www.naic.edu/~pfreire/GCpsr.html

2 从NGC6517E, F和G, 和FPS8到更多的发现

在西安临潼国家授时中心开的FPS8会议期间, 和闫振老师合作, 在仅半小时的FAST(Nan et al. 2011; Jiang et al. 2019; Jiang et al. 2020)观测数据中就一次找到了3个脉冲星(Pan et al. 2021)。时至今日, 想起来觉得在当时非常有限的条件下, 能实现脉冲星发现并不容易。当年闫老师的观测课题获批时间有限, 对于每个球状星团只能开展最多半小时的观测; 我们当年对于球状星团的理解远比现在来得疏浅, 在选择目标上存在相当的盲目性; 当年的计算资源也非常有限, 远不能像现在这样使用FAST数据中心在观测后几天内即实现数据处理。最早是在仅5分钟的观测数据中看到非常可疑的NGC6517E的信号(见图1), 随后才开始处理完整的半小时观测数据并发现了一共三个脉冲星。2020年底, 琢磨着没有搜索过NGC6517超过半小时的跟踪数据, 于是找了2020年1月23日的观测数据, 并在其中意外地找到了两个新脉冲星, 都是孤立脉冲星, 都很暗弱。2021年底, 百无聊赖中又翻找了同一个数据处理借故偶, 信手挑选了3个信号, 结果不但发现而且认证了这三个新脉冲星, 包含1个双星和2个孤立脉冲星。这二次经历, 使得不得不相信, 即使是处理过多次的数据, 依然可能存在遗漏的信号。

3 奇图共赏

图2中的四张图, 让人匪夷所思。除了右下角, 其它都是脉冲星的信号。看到这些, 不禁会问: 我们是在弱信号中, 丢失了很大一部分新脉冲星吗? 限于篇幅, 不多作描述; 将图成列于此, 希望对于今后的脉冲星疑似信号筛选有所帮助。

4 讨论

在识别脉冲星疑似信号的路程上, 对于弱信号的理解上, 新的望远镜新的数据, 可能需要有新的理解。一方面, 在弱信号识别上, 在之前的脉冲星搜索中, 我们遗漏了多少? 另一方面, 在用新的、更大口径的望远镜观测时, 我们面临的挑战是否会更大? 如Qian & Pan (2021)这样人为加入识别特征, 会是一个新的思路。对于弱信号的识别过程, 在数学模型描述和识别经验量化的路上还有很长的路要走。

5 参考文献

- Jiang P., Tang N.-Y., Hou L.-G., et al., 2020, RAA, 20, 64
Jiang P., Yue Y., Gan H., et al., 2019, SCPMA, 6259502J
Lyne A. G., Ransom S. M., Freire P. C. C., et al., 2011, ApJ, 734, 89
Nan R., Li D., Jin C., et al., 2011, IJMPD, 20, 989
Pan Z., Ma X., Qian L., et al., 2021, RAA, 21, 143
Qian L. & Pan Z., 2021, RAA, 21, 185

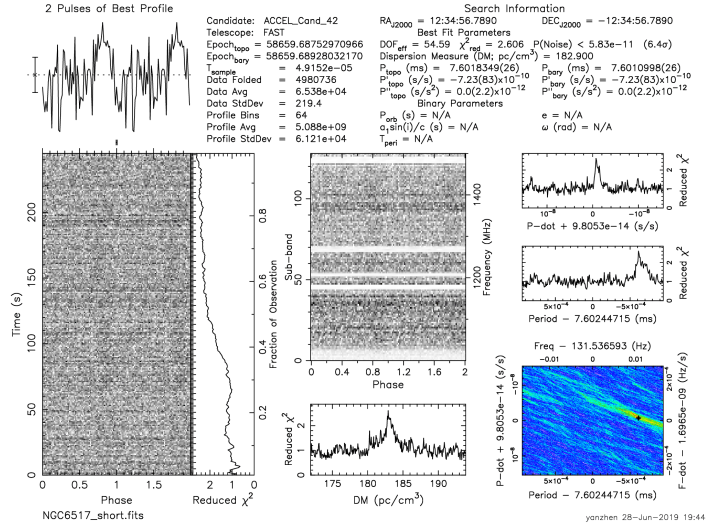


Figure 1: NGC6517E发现时的图片，异常暗弱。

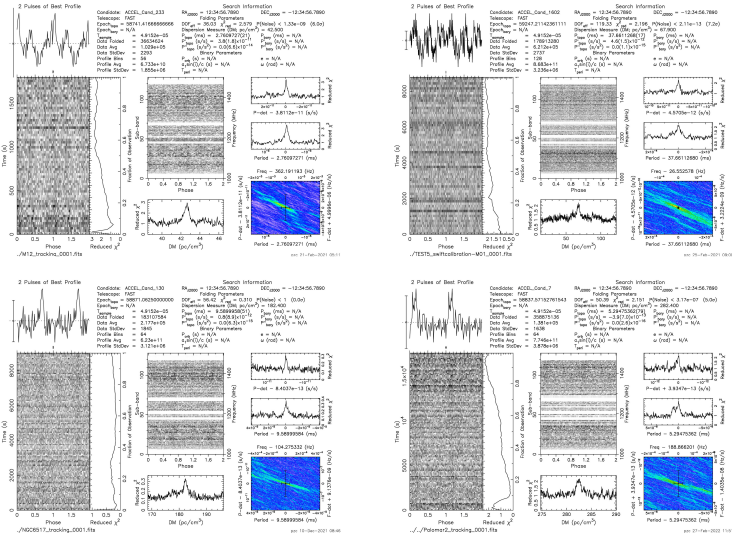


Figure 2: 从上到下从左到右：脉冲星M12B发现时的图像；脉冲星M15G被FAST再次观测到时的图像；NGC6517J发现时的图像；在Palomar2中看到一个疑似信号，却再未得到认证。

用中子星测量强引力场中的偶极辐射

邵立晶 (*Lijing Shao*)
北京大学科维理天文与天体物理研究所
北京 100871
Email: lshao@pku.edu.cn

脉冲星是弯曲时空中精准的“钟表”。脉冲星计时 (Pulsar Timing) 通过用简单的、相对论性的理论模型—即，脉冲星计时模型 (Pulsar Timing Model)—联结脉冲星与地球上的原子钟的固有时，通过对脉冲星计时数据的拟合，可以测量诸多有趣的物理内容，其中包括与强等效原理密切相关的**偶极辐射**。

此外，引力波观测中，由质量差异较大的两个中子星组成的双星系统的并合过程中，也可能有偶极辐射的迹象。

在本次会议上，我简单介绍了我们组用脉冲星计时检验引力波的偶极辐射的内容，包括

1. 在强引力场下，用**朗道相变**的观点，来理解“自发标量化”行为 (Sennett, Shao, Steinhoff 2017)；
2. “自发标量化”行为在**有质量的标量-张量引力理论**中的表现 (Xu, Gao, Shao 2020; Hu, Gao, Xu, Shao 2021)；
3. 通过结合多个中子星-白矮星系统的脉冲星测时观测，给出**与物态方程基本无关**的强场引力限制 (Shao, Sennett, Buonanno, Kramer, Wex 2017)；
4. 使用**降阶替代模型**，来加速标量-张量引力中的“自发标量化”计算，以适应高计算量的蒙特·卡洛参数估计的需求 (Zhao, Shao, Cao, Ma 2019; Guo, Zhao, Shao 2021)；
5. 通过结合地面**激光干涉仪**和地面**原子干涉仪**的测量，预估未来对偶极辐射限制的**提升能力** (Zhao, Shao, Gao, Liu, Cao, Ma 2021)；
6. 用**分赫兹 (DeciHertz)** 空间引力波激光干涉仪，预估未来恒星级质量双黑洞并合对偶极辐射的限制能力 (Liu, Shao, Zhao, Gao 2020)。

欢迎有兴趣的同仁阅读、指正我们的工作。

The central engine of FRBs: clues from local environment

王发印 (Wang Fayin), 赵臻胤 (Zhao Zhenyin)
南京大学天文与空间科学学院
南京 210046
Email: fayinwang@nju.edu.cn

快速射电暴 (FRB) 是来自宇宙学距离的毫秒级瞬变射电信号。尽管早在十多年前就被首次报道, 但FRB的物理起源仍然未知。2020年4月28日, 人们首次探测到来自银河系磁星SGR 1935+2154的FRB 200428, 这使得磁星相关的模型大受欢迎。但是其它快速射电暴的中心引擎是不是磁星, 目前还没有定论。一般认为, 磁星可能诞生于超新星爆发或致密星并合。不同形成通道的抛射物的性质以及年轻磁星的能量注入会对磁星周围环境产生巨大的影响。所以, 可以通过快速射电暴的周围环境限制中心能源的性质。

FRB 121102是第一个重复快速射电暴, 位于一个红移 $z = 0.193$ 的矮星系。不同的望远镜对FRB 121102进行了长时间的监测, 发现它的色散量 (DM) 在过去的几年里有明显的增长。此外, FRB 121102极高的法拉第旋量($RM \sim 1 \times 10^5 \text{ rad m}^{-2}$)表明其处在一个极端的磁化等离子体环境。观测还发现FRB 121102还是第一个发现与一个明亮的($\nu L_\nu \sim 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$)持续射电源 (PRS) 成协的快速射电暴。190520B是FAST最近发现的重复爆, 其超出银河系贡献的色散量几乎是其他快速射电暴的十倍。并且, 在几十天内观察到DM快速下降, 其RM非常大 $> 1.8 \times 10^5 \text{ rad m}^{-2}$ 。同时, FRB 190520B也被发现与一个致密的PRS成协。

FRB的DM和RM的演化以及明亮的PRS, 都被认为是起源于近源环境。无论是核塌缩型超新星还是致密星并合, 前身星的抛射物会在和周围介质相互作用的过程中形成分段幂律的轮廓。外层抛射物会和星周介质相互作用形成正反激波。内层抛射物会和磁星驱动的相对论性星风混合, 形成明亮的星风星云(PWN)。特别地, 当中心引擎为新生的毫秒磁星时, 其注入的能量将通过磁化星风显著加速前身星的抛射物, 此时星PWN和抛射物的半径将一起演化。如图 ?? 所示, PWN、反向激波、接触不连续面和正向激波将磁星周围划分成了四个区域。其中激波区域不仅温度高、密度大, 而且是放大磁场的理想场所, 因此会贡献可观的DM和RM。通过周围介质的分布和激波动力学, 我们可以得到磁星周围环境贡献的DM和RM如何随时间演化。如果周围是星风环境 (对应核塌缩情形), 源附近贡献的DM会很大且随时间下降 (如FRB 190520B); 而周围是均匀介质 (对应并合情形), 源附近贡献的DM很小且会随时间上升 (如FRB 121102)。极端且快速衰减的RM被认为是起源于PWN的演化。对于快速旋转的脉冲星来说, 旋转能量是为风星云能量的主要来源, 这已经在银河PWNe中得到了充分的研究。然而, 对于一颗年龄为几十年的磁星来说, 旋转能量不如内部磁能重要。磁能量注入的情形可以成功地解释了PRS的能谱和极端的RM。

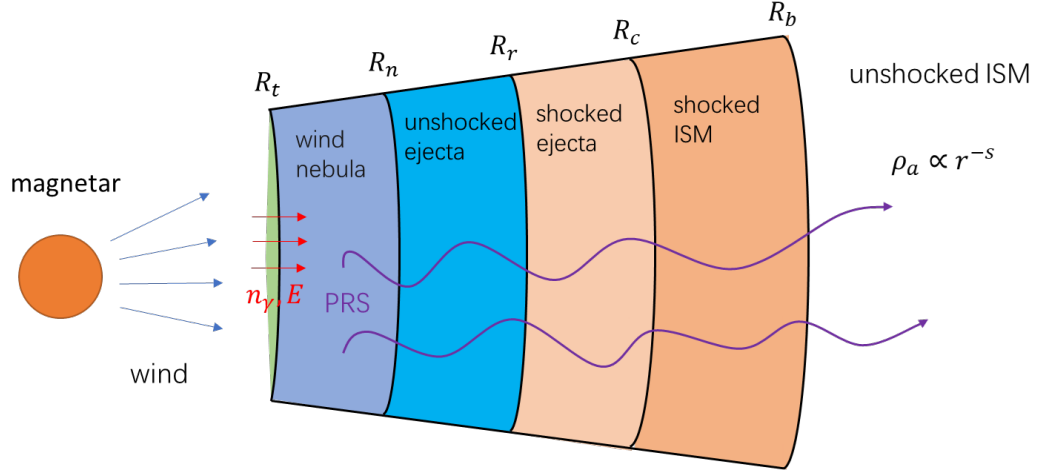


Figure 1: 磁星周围环境示意图。

通过对FRB 121102和FRB 190520B的DM、RM、PRS能谱的同时拟合，我们发现：FRB 121102更可能起源于双中子星并合产生的磁星，其年龄约为10年；而FRB 190520B更可能起源于核塌缩产生的磁星，其年龄约为16-22年。期待未来，通过对重复射电暴的长期监测，研究其DM和RM的演化，揭示中心能源的性质。

参考文献

1. Zhao Z. Y., Zhang G. Q., Wang Y. Y., Tu Z.-L., Wang F. Y., Dispersion and Rotation Measures from the Ejecta of Compact Binary Mergers: Clue to the Progenitors of Fast Radio Bursts, 2021, ApJ, 907, 111.
2. Zhao Z. Y., Wang F. Y., FRB 190520B embedded in a magnetar wind nebula and supernova remnant: luminous persistent radio source, decreasing dispersion measure and large rotation measure, 2021, ApJL, 923, L17.

Magnetospheric Origin of Repeating Fast Radio Bursts

Weiyang Wang
Peking University
Beijing 100871
Email: wawang_astroph@pku.edu.cn

Coherent curvature radiation as the radiation mechanism for fast radio bursts (FRBs) has been discussed since FRBs were discovered. We study the spectral and polarization properties of repeating FRBs within the framework of coherent curvature radiation by charged bunches in the magnetosphere of a highly magnetized neutron star. The spectra can be generally characterized by multisegment broken power laws, and evolve as bunches move and the line of sight sweeps.

For uniformly distributed particle in bunches, the emission is 100% linearly polarized when the LOS is parallel to the central axis. The sign of circular polarization will change when the LOS is parallel to the symmetric axis of the bulk. If the opening angle of the bulk is smaller than $1/\gamma$ ($\omega_c < \omega_t$), that is, on-beam case, the emission keeps being highly linearly polarized as the LOS sweeps across the emitting bunches, with a flat PA across the burst envelope, shown as Figure 1. High circular polarization events as rarely observed suggest that most bunches have small open angles in those cases. PA across the burst envelope is more dramatic than that for the on-beam case (Figure 2). A luminous and highly circular polarized pulse may be generated when $\varphi_t \sim 1/\gamma$ or when particles are extremely non-uniformly distributed in bunches.

The spectro-temporal pulse-to-pulse properties can be a natural consequence due to the magnetospheric geometry. We investigate the relationship between drift rate, central frequency and their temporal duration. The radius-to-frequency mapping (Figure 4) is derived and simulated within the assumptions of both dipolar and quadrupolar magnetic configurations. The geometric results show that FRBs are emitted in field lines more curved than open field lines for a dipolar geometry. This suggests that there are most likely existing multipolar magnetic configurations in the emission region.

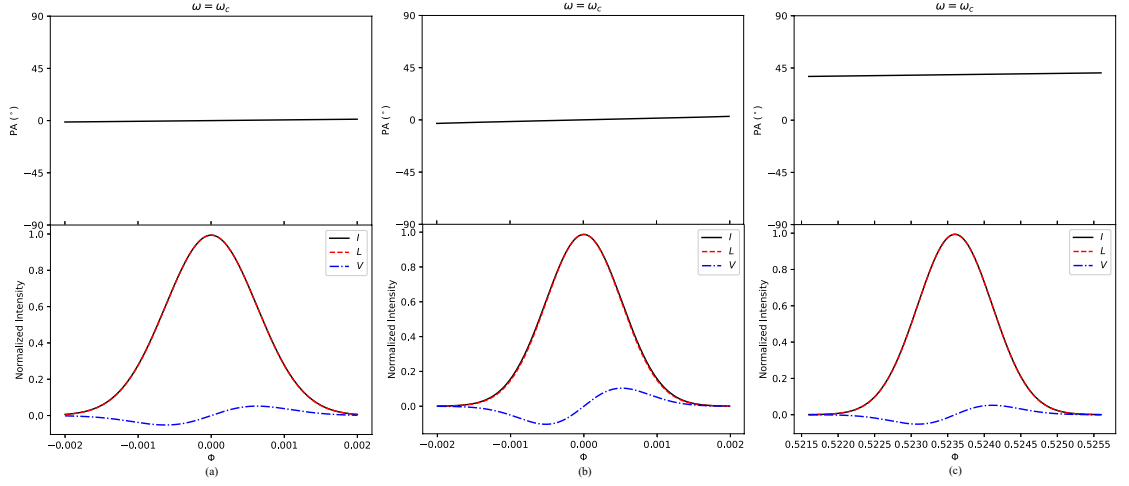


Figure 1: Parameters are adopted as $\gamma = 100$, $\Phi_p = 0$ and $\sigma_w = \varphi_t/2$. Different panels: (a) $\alpha = \pi/18$, $\zeta = \pi/3$, $\sigma_w = \varphi_t/2$, $\Phi_p = 0$; (b) $\alpha = \pi/6$, $\zeta = \pi/4$, $\sigma_w = \varphi_t$, $\Phi_p = 0$; (c) $\alpha = \pi/6$, $\zeta = \pi/4$, $\sigma_w = \varphi_t/2$, $\Phi_p = \pi/6$. Details can be seen in Wang et al. 2021(arXiv:2111.11841).

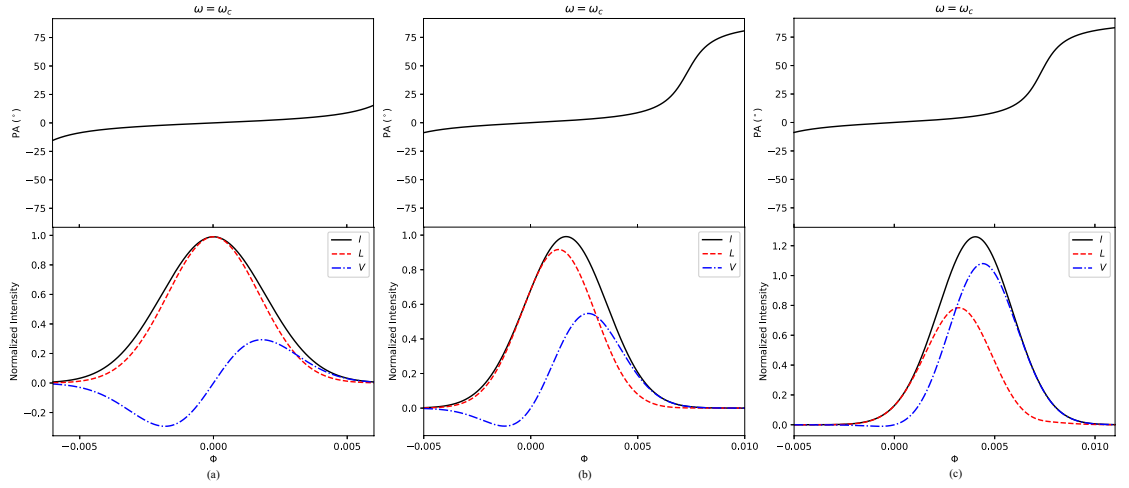


Figure 2: Same as Figure 1 but for $\varphi_t = 0.7\gamma^{-1}$ with different parameters: (a) $\Phi_p = 0$; (b) $\Phi_p = 0.002$; (c) $\Phi_p = 0.005$.

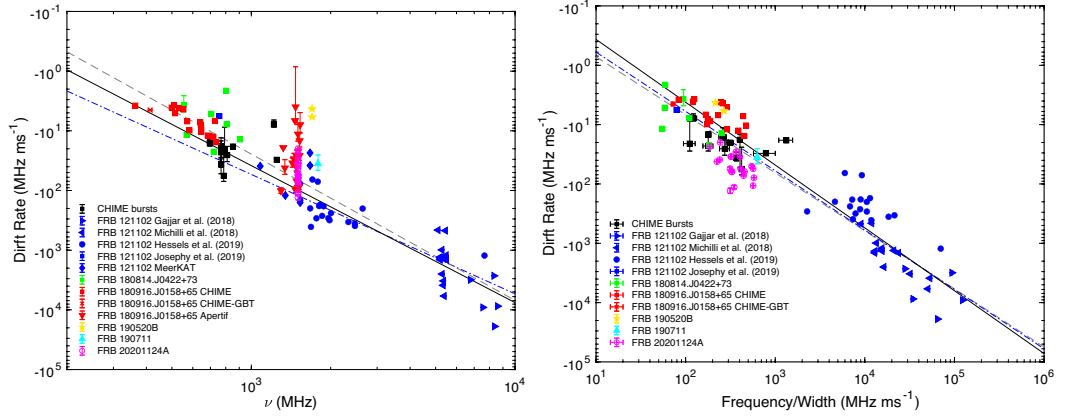


Figure 3: Left: Drift rates at different frequencies. Both drift rates and frequencies are transferred in the rest frame of the host galaxy. Different repeater are presented in different colors: FRB 121102 (blue), FRB 180814.J0422+73 (green), FRB180916.J0158+65 (red), FRB 190711 (cyan), FRB 20201124A (purple), FRB 190520 (yellow) and other CHIME bursts (black). The grey dashed line shows the best fit through the data for all FRBs. The black solid dashed line is the best fit for FRB 121102 with a power law index of 2.29 and the blue dashed-dotted line for that with a frozen index of 2.00. Right: Same as the left panel but for drift rates at different ratio of frequency to sub-pulse width.

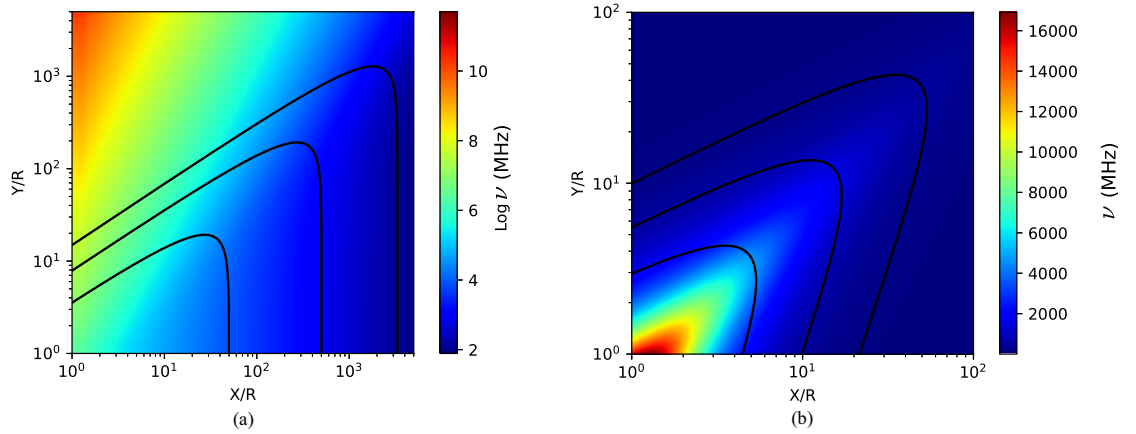


Figure 4: Radius-to-frequency mapping derived by the drifting pattern for two cases: (a) dipole; (b) quadrupole. Black solid lines denote magnetic field lines.

Radio signal of the PSR B0950+08 is detected over the whole phase

Zhengli Wang^[1] Jiguang Lu^[2]

¹ Guangxi Key Laboratory for Relativistic Astrophysics, School of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China

²National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

Email: zhlwang@nao.cas.cn, lujig@naoc.cas.cn

1 Introduction

The nearby bright pulsar, PSR B0950+08, is well known, with a spin period of 253 ms and dispersion-measure (DM) of 2.97 pc/cm³. Many of observational properties of this pulsar are presented in previous works. To understand more about radio emission as well as the radiative mechanism of this pulsar. PSR B0950+08 observed with China's Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST).

2 Result

The 160min-data of the nearby pulsar, PSR B0950+08, observed with the FAST is analyzed. To reveal the emission properties of the bridge regions of this pulsar, a mathematical method is proposed to analyze the emission properties of the entire pulse longitude. The function $\Theta(n)$ is defined as following,

$$\Theta(n) = \sum_{k=0}^{N_{\text{period}}} \left\{ 2(I_{k,n-1} - I_{k,n+1})^2 - [(I_{k,n} - I_{k,n-1})^2 + (I_{k,n+1} - I_{k,n})^2] \right\},$$

where $I_{k,n}$ is represented the signal intensity of the k -th pulse and the n -th pulse phase bin.

The properties of the function $\Theta(n)$ of the whole phase is analyzed, it is found that the emission signals is detected at the two bridge regions, also, the values of the function $\Theta(n)$ of the two bridge regions are mostly equivalent with each other. These results support that the radio emission signals of the this pulsar is detected over the whole pulse phase.

3 Discussion

The whole phase radiation phenomenon is detected from PSR B0980+50 for the first time, and the result is suggested that the weak emission (e.g. "bridge") from high magnetosphere far away the stellar surface. Moreover, both the separation of the main pulse and inter pulse is frequency-independent and narrow pulse width of the strong emission of this pulsar may support a double-pole model.

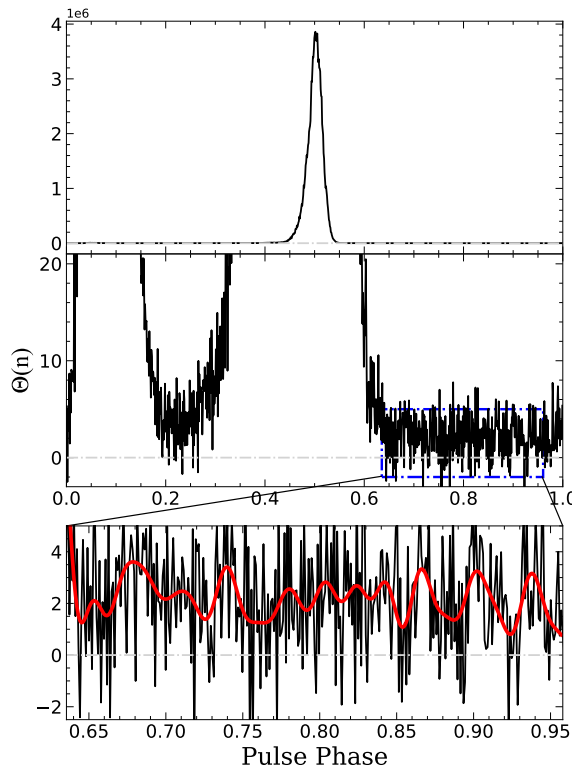


Figure 1: The properties of the function $\Theta(n)$ of the entire pulse longitude.

夸克物质及其表面对夸克星结构的影响

夏铖君 (Cheng-Jun Xia)
 扬州大学物理科学与技术学院
 扬州 225009
 Email: cjxia@yzu.edu.cn

在极端引力作用下，致密星内部密度极高，其中心能达到核物质饱和点密度数倍。由于当前无法通过直接求解QCD得到高密物质的性质，人们对致密星内部的物质构成及微观结构缺乏足够了解，难以取得共识。尽管如此，作为重子物质引力塌缩后的产物，归根结底致密星是由大量夸克($\sim 10^{57}$)组成的。至于这些夸克是像原子核那样3个一组构成色单态的核子，或是由更多数目的夸克构成奇子，还是整个星就由自由夸克构成，决定了致密星是传统意义的中子星、奇子星、还是夸克星。

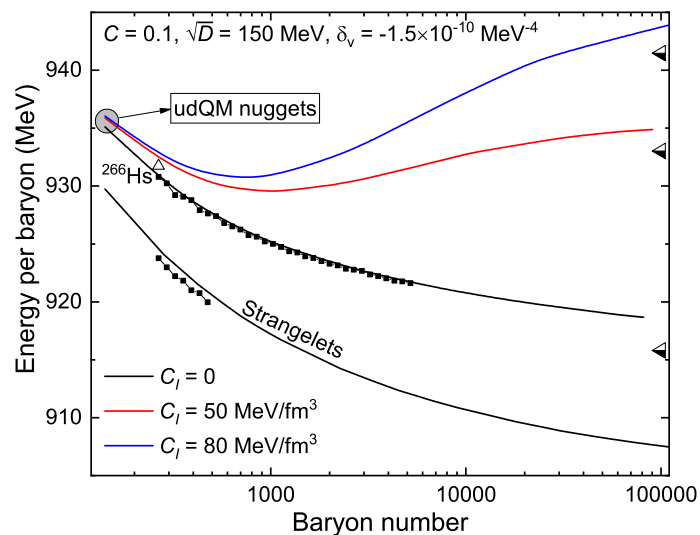


Figure 1: 取不同参数时奇异子及 ud 夸克物质团的每重子能量随重子数的变化关系。半实心的三角形代表相同参数下对应的无限大夸克物质的每重子能量。

若夸克物质比核物质更稳定，那么致密星很可能就是由夸克物质组成的夸克星。而其中夸克物质的表面对夸克物质团的性质至关重要，并将对夸克星的结构产生重要影响。如图 1 所示，当取参数 $C_I = 50$ 和 80 MeV/fm^3 时， ud 夸克物质团在重子数 $A \approx 1000$ 时最稳定，其对应的每重子能量甚至比无限大夸克物质还要小。在这种情况下，更大的 ud 夸克物质团会发生自发裂变，而夸克星表面将会碎

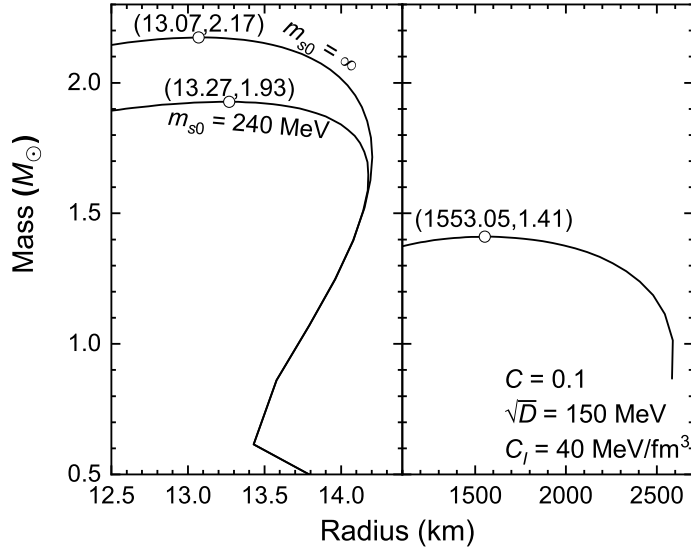


Figure 2: 取不同参数时夸克星(左)和 ud 夸克矮星(右)的质量-半径关系。

裂成为由 ud 夸克物质团和电子构成的外壳 [1], 此时夸克星表面就不再是裸的了。除此之外, 还有可能存在完全由这些壳层物质构成的白矮星。

图 2 给出了不同参数下夸克星和 ud 夸克矮星的质量-半径关系。由于存在比无限大夸克物质更稳定的 ud 夸克物质团, 夸克星表面将由夸克物质和电子的混合物组成, 相关的状态方程采用吉布斯(Gibbs)构造理论得到。对于存在壳层结构的夸克星, 可以看到其半径并不随质量减小而减小。当夸克星质量小于 $0.5 M_{\odot}$ 时, 进一步减小中心密度将增大半径, 并最终得到图 2 右完全由壳层物质构成的 ud 夸克矮星。除此之外, 我们发现 ud 夸克矮星的最大质量接近钱德拉塞卡极限。这主要是由于 ud 夸克团中不包含 s 夸克, 对应的比电荷接近传统原子核的数值, 从而得到更大的电子简并压以支撑大质量 ud 夸克矮星。

最后, 值得一提的是这里我们只考虑了夸克物质团之间的库伦相互作用, 有必要进一步考虑强相互作用的贡献 [2]。除此之外, 未来还需要考虑夸克星壳层物质的微观结构, 得到更符合实际的壳层物质状态方程和夸克星结构。

References

- [1] Lang Wang, Jian Hu, Cheng-Jun Xia, Jian-Feng Xu, Guang-Xiong Peng, and Ren-Xin Xu. Stable up-down quark matter nuggets, quark star crusts, and a new family of white dwarfs. *Galaxies*, 9(4):70, 2021.
- [2] X. Y. Lai and R. X. Xu. Lennard-Jones quark matter and massive quark stars. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 398(1):L31, 2009.

Progresses of Chinese Pulsar Timing Array

胥恒 (Heng Xu)

北京大学物理学院天文系

北京 100871

Email: hengxu@pku.edu.cn

自相对论被创立及引力波被预言以来，引力波的探测一直是科学家们非常关心的研究重点。脉冲星是宇宙中极端致密的天体，不仅它本身具有很强的相对论效应，它所处的强引力场条件和它很高的长时间自转稳定性也使得它成为检验引力理论和测量引力波的理想实验室。上个世纪90年代，人们通过测量脉冲双星系统的轨道能量耗散间接证明了引力波的确存在，而本世纪初的地面激光干涉仪设备也直接探测到了由恒星级黑洞双星系统合并产生的高频引力波。但是人们预言的由于宇宙早期相变和宇宙历史上无数星系合并所带来的超大质量双黑洞合并产生的纳赫兹引力波至今还仍未被探测到，对这种引力波的探测可以帮助我们理解宇宙中的这些物理过程。这种低频引力波由于物理尺度远超人类的地面设备的尺度，因此对它的探测只能寻求于宇宙天体。脉冲星的高精度计时水平正好使得它可以被用来做这样一个探测，人们提出可以将许多计时精度高的毫秒脉冲星结合起来形成一个阵列 (Pulsar Timing Array, PTA)，通过不同检测脉冲星之间计时残差的相关性来测量纳赫兹引力波。国际上现存有三个大的PTA合作组织 (欧洲, 美国, 澳洲)，他们已经进行了为期数十年的脉冲星高精度计时观测，我们也在2017年正式成立了中国的脉冲星计时阵列 (Chinese Pulsar Timing Array, CPTA)，它的数据主要贡献来自于我国位于贵州省的射电望远镜“天眼”-FAST。

CPTA在FAST的观测开始于2019年4月，迄今约有2年的数据，它观测了约70颗计时精度很高的毫秒脉冲星，这些星的计时残差如图一所示。

由于FAST的极大接收面积，CPTA毫秒脉冲星的计时精度可以达到极高水平。对于亮的脉冲星而言，CPTA的计时精度相较于国际上最高水平可以提高数倍到10倍，而对于暗弱的脉冲星，CPTA的计时精度水平则可以提告30-50倍。根据CPTA现有的阵列规模和脉冲星高计时水平，以及人们预计的纳赫兹引力波背景幅度，理想情况下，我们期待大约5年CPTA的数据可以使得我们测量到纳赫兹引力波。

但是现阶段CPTA也存在一些问题，如在FAST获取的时间不是很多，FAST的观测频率覆盖比较窄 (我们希望有比较宽的频率覆盖和高频观测去更好的规避由于星际介质抖动带来的计时噪声)，最主要的问题是现如今CPTA积累的数据长度比较短，在短时间内很难和已经积累了数十年数据的国际上其他几个PTA去竞争。

下一阶段，我们希望通过CPTA三年的数据能够对纳赫兹引力波背景强度有一个初步的限制，并且在接下来希望有了更长的数据之后，能够直接探测到纳赫兹低频引力波。

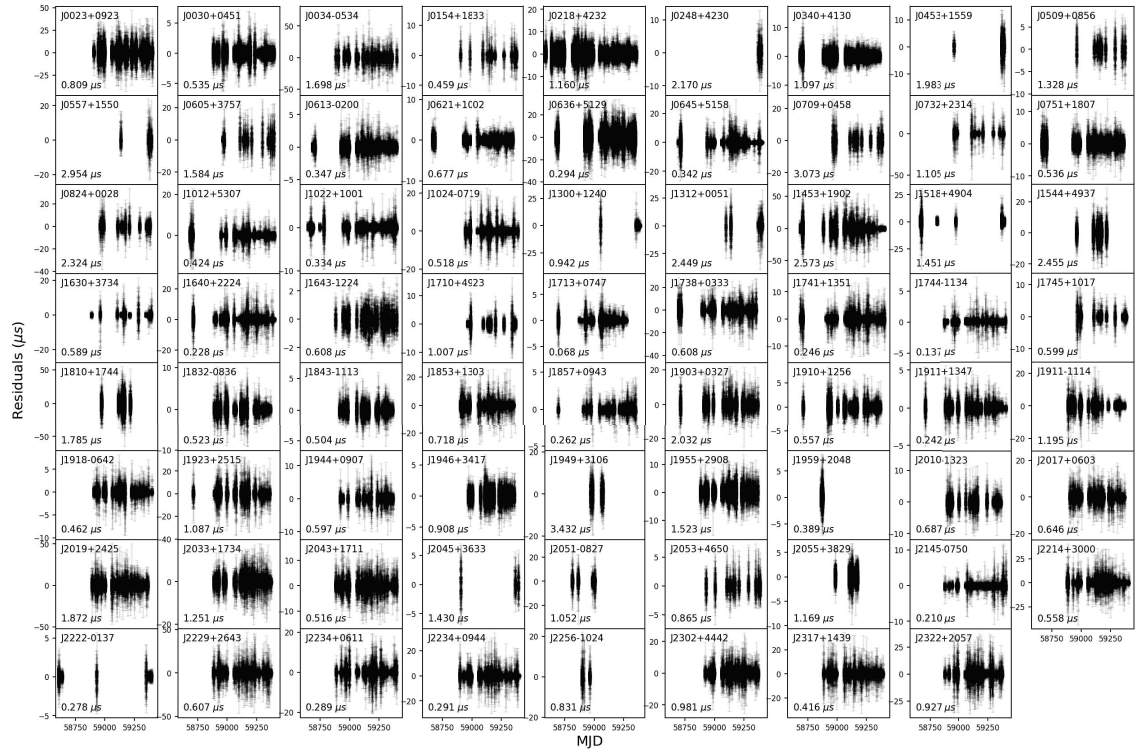


Figure 1: CPTA脉冲星的计时残差。脉冲星的名字在每个子图的左上方给出，其加权平均的计时残差水平在左下方标出。这里的脉冲到达时间是将原始数据带宽分为64个子通道得到的，对于每个脉冲轮廓数据，典型的积分时间是15或20分钟。

“How to rule out strangeon star model?”

徐仁新 (Renxin Xu)
 北京大学物理学院
 北京 100871
 Email: r.x.xu@pku.edu.cn

对自然规律任何有科学意义的归纳或推测理应可被证伪。在FP9文集29页，我们试图从对称性的角度（下图）论证：当自引力促使原子核（位于A点）被挤成一片时，不只有Landau所猜的**去往n点**这一条路，还可能**走到s点**；考虑到**零压**情形属于低能强作用范畴，s处物质的基本组分很可能不是夸克，而是类似于原子核内核子（nucleon）的单元—奇子（strangeon）。什么观测证据可排除奇子星模型？

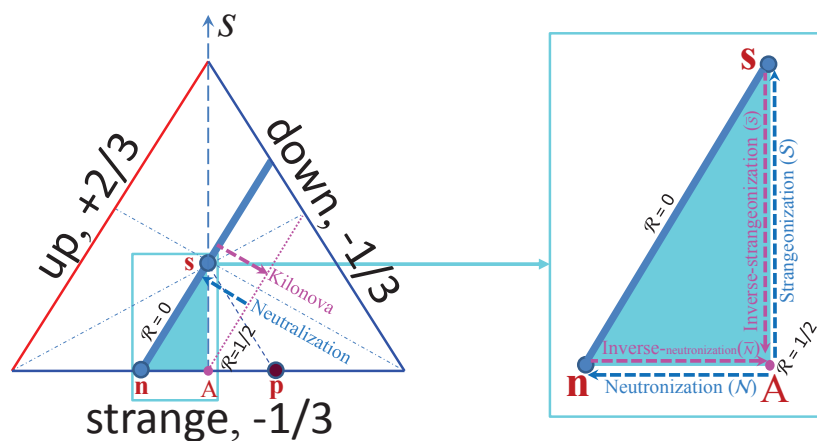


Figure 1: 原子核位于三角形中A点附近，荷质比 \mathcal{R} 约1/2。线ns上，夸克贡献的 \mathcal{R} 值为零。针对ns线上两个特殊点n和s而言，超新星爆发过程发生了中子化（ \mathcal{N} ）或奇子化（ \mathcal{S} ），而双星并合“千新星”辐射时伴随逆中子化（ $\overline{\mathcal{N}}$ ）或逆奇子化（ $\overline{\mathcal{S}}$ ）。

一种办法是通过**千新星**的观测。鉴于荷质比1/2单元构成的电性状态（electronic state）在高密度时的不稳定性，Landau时代能想到的中性化只能是中子化 \mathcal{N} ，推测存在零荷质比的中子物质；此后人们逐渐建立起较详细的中子星分层结构模型。不过双中子星并合撕裂或喷射的少量物质将稳定于常规电性状态，逆中子化 $\overline{\mathcal{N}}$ 时释放能量表现为千新星。类似地，将点n换成s，即为 \mathcal{S} 和 $\overline{\mathcal{S}}$ 。微观上讲， $\overline{\mathcal{N}}$ 和 $\overline{\mathcal{S}}$ 显然是有差别的；未来千新星观测高精度地跟 $\overline{\mathcal{N}}$ 模拟结果的一致性将排除奇子星模型。

另一条途径与**质量半径关系**有关。两味不对称的中子星表面引力束缚，而三味对称的奇异星自束缚；这导致质量半径关系的显著差异。未来，若观测确定半径和 $I/M^{3/2}$ 值（ I 为转动惯量）随质量 M 的增加而减少的走势则排除奇异星模型。

“The possible constraints of astronomical observations on the internal structure of neutron stars”

许妍 (Yan Xu)
中国科学院国家天文台长春人造卫星观测站
长春 130117
Email: xuy@cho.ac.cn

目前, 中子星内部结构和物质成分仍然未知, 是当前中子星理论与观测研究中的难点问题, 现阶段很难通过直接手段获得中子星内部结构的详细信息。需借助唯象或微观核多体模型结合天文观测对脉冲星宏观性质的限制进行研究。脉冲星宏观性质(如星体质量、半径、引力红移、转动惯量和引力波辐射等性质)观测是中子星物态方程和内部结构研究中最重要天文观测约束。

中子星物态方程被确定后, 星体的质量和半径可以通过广义相对论效应下的流体静力学平衡方程(Tolman-Oppenheimer-Volkoff, TOV 方程)求出,

$$\frac{dP(r)}{dr} = -\frac{[P(r) + \varepsilon(r)][M(r) + 4\pi r^3 P(r)]}{r(r - 2M(r))}, \quad (1)$$

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \varepsilon(r). \quad (2)$$

其中 $\varepsilon(r)$, $P(r)$, $M(r)$ 和 R 分别表示中子星能量密度、压强、质量和半径。

源于脉冲星表面辐射谱线的引力红移是与星体质量、半径都相关的物理量。如果天文观测获得了一颗脉冲星质量和引力红移测量值, 即可用来约束这颗星的半径。广义相对论给出的星体的引力红移满足如下关系(用几何单位 $G = c = 1$),

$$z = \left(1 - \frac{2M}{R}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1 \quad (3)$$

因而测量脉冲星表面辐射谱的引力红移已成为洞察中子星物态方程的探针。

通过脉冲星测时测量可以获得星体转动惯量, 其理论值可通过求解爱因斯坦场方程获得。此外, 当 M/R 值约大于 $0.07 M_{\odot} \text{ km}^{-1}$ 时, 星体转动惯量理论值可以近似为:

$$I \simeq (0.237 \pm 0.008)MR^2 \left[1 + 4.2 \frac{Mkm}{M_{\odot}R} + 90 \left(\frac{Mkm}{M_{\odot}R}\right)^4\right]. \quad (4)$$

因此, 脉冲星转动惯量测量为约束中子星物态方程提供了潜在的方法。

从双中子星或中子星-黑洞系统后期的旋近, 合并和衰荡引力波波形中可以提取描述中子星形变的无量纲参数 $\Lambda = (2/3)k_2(GM/c^2R)^{-5}$, 它与星体质量和半径密切相关, 因而 Λ 可用于对中子星物态方程施加约束。

因此, 脉冲星宏观性质观测与理论研究已经成为认识恒星演化、探索中子星内部结构和奇异物质成分以及致密星体形成与演化等基础科学问题的重要途径。

球状星团NGC 6712首颗脉冲星的发现

闫振^{[1]*}, 潘之辰^[2], 钱磊^[2], 王培^[2], 沈志强^[1], 李葭^[2], 姜鹏^[2], 罗近涛^[3], 刘杰^[1], 黄志鹏^[1]

[1]中国科学院上海天文台, 中国 上海 200030

[2]中国科学院国家天文台, 中国 北京 100101

[3]中国科学院国家授时中心, 中国 西安 710600

*Email: yanzhen@shao.ac.cn

球状星团是由成千上万（甚至几十万）颗恒星密集汇聚而成的集团，从外围至中心其恒星密度快速增大，因外形呈球状而得名。球状星团平均恒星密度比太阳系周围高几十倍，到其中心则可达上千倍。因年龄老、恒星密度高、碰撞频繁，球状星团是脉冲星存在的富矿区，也是天文学家热衷搜寻的重要区域(Freire, 2013)。至今，研究者们已在36个球状星团中发现了230多颗脉冲星（约占已知脉冲星总数的7%），其中不乏独特性质的脉冲星¹。

2019年1月份，“中国天眼”（FAST）调试阶段风险共担观测申请的通知发布后，我们基于前期调研准备了一份在球状星团中搜寻脉冲星的观测申请并顺利通过专家评审。从2019年4月底开始，FAST就陆续安排了我们申请书中所列球状星团的观测，我们也顺理成章地拿到观测数据并开始后续分析。一开始的搜寻并非一番风顺，我们分析了几个球状观测数据并未有新的发现，不禁发出多种疑问。我们可是精选了目标球状星团，难道选择标准不恰当？还是我们处理方法有问题（可是我们对于已知脉冲星“盲搜”没有问题）？或者是我们的运气不佳？直到2019年6月下旬（恰逢FPS8在西安召开），我们迎来了“柳暗花明”，陆续发现多颗脉冲星，其中包括将介绍的NGC 6712首颗脉冲星 (Pan et al., 2021; Yan et al., 2021)。

NGC 6712是一个距离我们约6.9 kpc、总质量约为10万倍太阳质量的球状星团(Harris, 1996)。历史上，包括美国100米绿岸望远镜（GBT）在内的多个国际大型射电望远镜对其开展了不止一次脉冲星搜索，但是均未有成功发现(Biggs & Lyne, 1996; Lynch et al., 2011)。因而，我们利用FAST在L波段（有效带宽范围1.05-1.45 GHz、典型系统噪声温度20 K）对该球状星团进行了前所未有的高灵敏深度搜寻(Nan, 2006; Jiang et al., 2019, 2020)。我们主要基于国际流行脉冲星搜寻软件PRESTO(Ransom, 2011)和计时分析软件TEMPO(Nice et al., 2015)并编写了有关处理脚本进行事后分析。尽管，在FPS8期间我们找到了该球状星团方向上脉冲星的“蛛丝马迹”，但是一个更加棘手的问题又浮现出来。根据这颗脉冲星的色散量 $DM = 155.125 \text{ pc cm}^{-3}$ ，NE2001(Cordes & Lazio, 2002)和YMW16(Yao et al., 2017)银河系电子密度模型分别给出其距离约为3.79和4.76 kpc，和目前其它方法获得的NGC 6712距离有很大差别。

为彻底解答新发现脉冲星是否位于NGC 6712内这一疑问，我们后续申请更多的FAST观测时间。通过进一步搜寻运算和计时分析成功测定该脉冲星自转周期、

¹<https://www.naic.edu/~pfreire/GCpsr.html>

轨道周期及自转频率一阶导数分别为2.15 ms、3.56 hr和 $5.18 \times 10^{-16} \text{ Hz/s}^{-2}$ 。脉冲星作为自转供能天体，如果缺少球状星团加速效应则无法解释其自转频率变化率为正的观测结果，从而认证了此脉冲星位于NGC 6712内。它也成为球状星团NGC 6712中首颗被发现的脉冲星，并被命名为J1853-0842A。

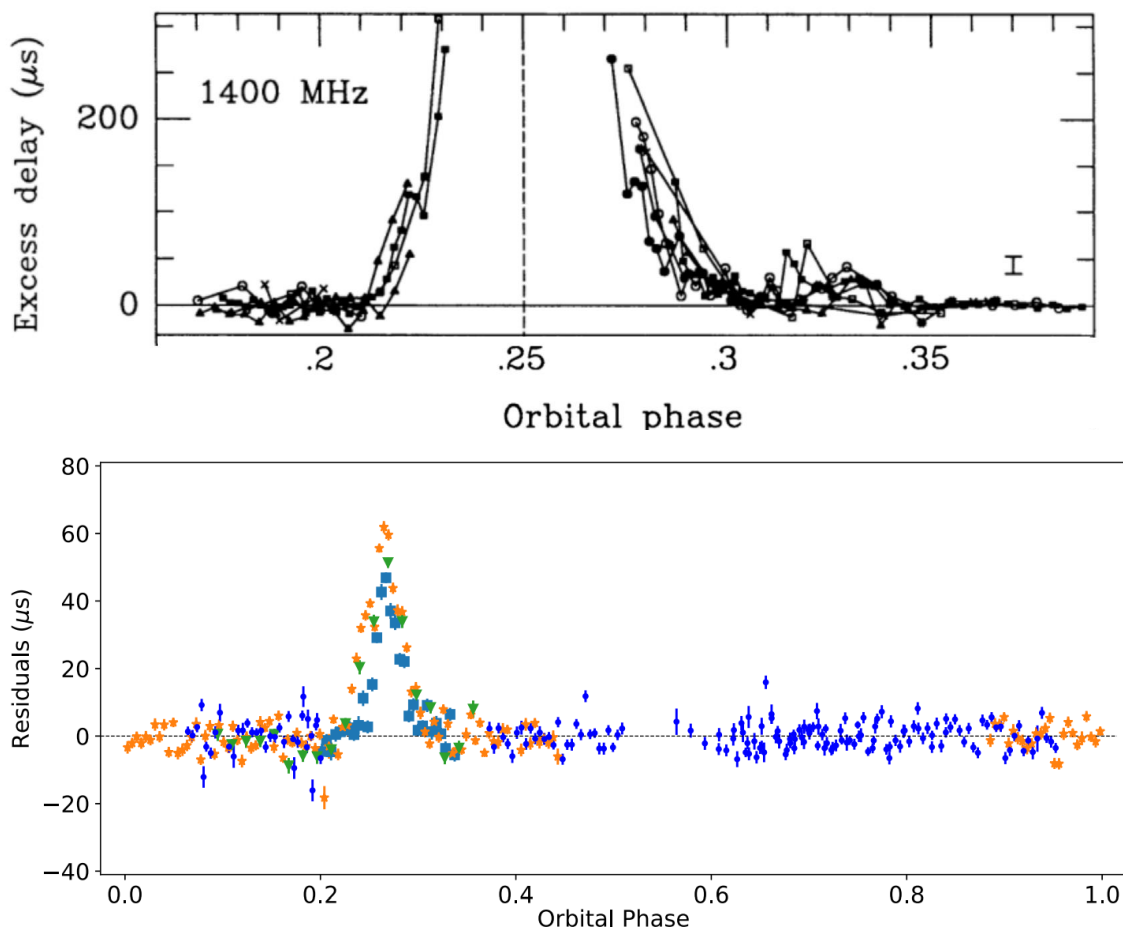


Figure 1: 黑寡妇脉冲星B1957+20（上图，Ryba & Taylor [1991]）和J1853 - 0842A（下图）计时残差随轨道相位变化对比图

J1853-0842A是一颗稀缺的具有非同寻常双星“掩食”特性的“黑寡妇”脉冲星。如同黑寡妇蜘蛛会吃掉自己的伴侣一样，“黑寡妇”脉冲星正在“蚕食”伴星物质。关于毫秒脉冲星如何从伴星吸积物质并获得加速的具体演化图景尚不清晰，“黑寡妇”脉冲星是探讨相关问题的重要“活化石”。天文学家发现约有20颗具有“掩食”现象的“黑寡妇”脉冲星，它们的脉冲信号在“掩食”期间几乎均经历完全遮挡过程(Polzin et al., 2020)。然而，此次发现的J1853-0842A脉

冲信号在“掩食”期未被完全遮挡，只是受到额外时间延迟。Figure 1上图所示的是以B1957+20为代表的“黑寡妇”脉冲星常见的“掩食”现象计时残差，无信号区域对应完全遮挡阶段(Ryba & Taylor, 1991)；下图所示为新发现“黑寡妇”脉冲星的“掩食”现象计时残差，延迟异常增大区域对应非完全遮挡阶段。此前，仅发现极少数和J1853-0842A类似“掩食”现象“黑寡妇”脉冲星，其中1颗位于球状星团NGC 104(Freire et al., 2017)。完全遮挡“掩食”黑寡妇脉冲星观测只能给出伴星蒸发物中自由电子密度下限，而像J1853 - 0842A这样的非完全遮挡“掩食”黑寡妇脉冲星则可以给出有关自由电子更严格的限定。我们不仅估算出了J1853 - 0842A伴星蒸发物中自由电子数密度约 $1.88 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ，而且还指出了该脉冲星吸积率上限约为 $3.05 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 。更多详细信息请见我们的研究论文(Yan et al., 2021)。

致谢

本工作在FAST（500米口径球面射电望远镜）数据基础上完成。FAST是由中国科学院国家天文台运行和管理的国家大科学装置。

References

- Biggs, J. D., & Lyne, A. G. 1996, MNRAS, 282, 691
- Cordes, J. M., & Lazio, T. J. W. 2002, arXiv e-prints, astro. astro-ph/0207156
- Freire, P. C. C. 2013, in IAU Symposium, Vol. 291, Neutron Stars and Pulsars: Challenges and Opportunities after 80 years, ed. J. van Leeuwen, 243–250
- Freire, P. C. C., Ridolfi, A., Kramer, M., et al. 2017, MNRAS, 471, 857
- Harris, W. E. 1996, AJ, 112, 1487
- Lynch, R. S., Ransom, S. M., Freire, P. C. C., & Stairs, I. H. 2011, ApJ, 734, 89
- Nan, R. 2006, Science in China: Physics, Mechanics and Astronomy, 49, 129
- Nice, D., Demorest, P., Stairs, I., et al. 2015, Tempo: Pulsar timing data analysis 1509.002
- Jiang, P., Yue, Y., Gan, H., et al. 2019, Science China Physics, Mechanics, and Astronomy, 62, 959502
- Jiang, P., Tang, N.-Y., Hou, L.-G., et al. 2020, RAA, 20, 064
- Pan, Z., Ma, X.-Y., Qian, L., et al. 2021, RAA, 21, 143
- Polzin, E. J., Breton, R. P., Bhattacharyya, B., et al. 2020, MNRAS, 494, 2948
- Ransom, S. 2011, PRESTO: Pulsar Exploration and Search Toolkit 1107.017
- Ryba, M. F. & Taylor, J. H. 1991, ApJ, 380, 557.
- Yan, Z., Pan, Z. C., Ransom, S. M., et al. 2021, ApJ, 921, 120
- Yao, J. M., Manchester, R. N., & Wang, N. 2017, ApJ, 835, 29

Interstellar scintillation and polarization of PSR B0656+14 in the Monogem Ring

Jumei Yao

Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, 830011

Email: yaojumei@xao.ac.cn

High sensitivity interstellar scintillation and polarization observations of PSR B0656+14 made at three epochs over a year using the Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST) show that the scattering is dominated by two different compact regions. We identify the one nearer to the pulsar with the shell of the Monogem Ring, thereby confirming the association. The other is probably associated with the Local Hot Bubble. We find that the observed position angles of the pulsar spin axis and the space velocity are significantly different, with a separation of 20 ± 2 deg, inconsistent with a previously published near-perfect alignment of 1 ± 2 deg. The two independent scattering regions are clearly defined in the secondary spectra which show two strong forward parabolic arcs. The arc curvatures imply that the scattering screens corresponding to the outer and inner arcs are located 52 ± 10 pc from PSR B0656+14 and 169 ± 11 pc from the Earth, respectively. Comparison of the observed Doppler profiles with electromagnetic simulations shows that both scattering regions are mildly anisotropic. For the outer arc, we estimate the anisotropy A_R to be approximately 1.3, with the scattering irregularities aligned parallel to the pulsar velocity. For the delay profiles, we compare the observed profiles with profiles computed from a theoretical strong-scattering model. The results suggest that the spatial spectrum of the scattering irregularities is slightly flatter than Kolmogorov, but further observations are required to confirm this.

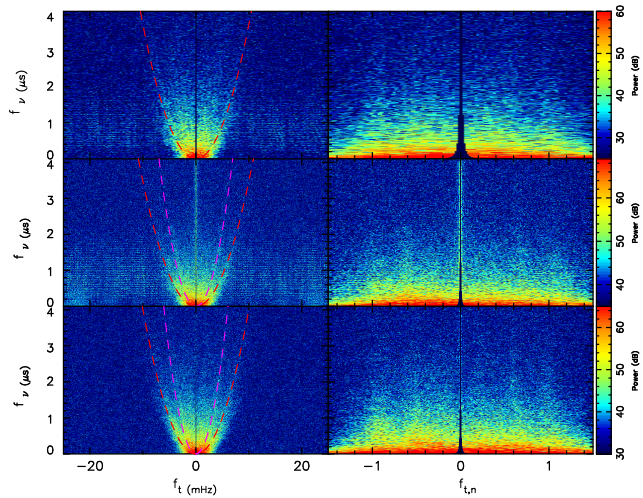


Figure 1: Secondary spectra (right panels) and normalized secondary spectra (left panels) for PSR B0656+14 from observations made on MJDs 59139(top), 59183 (middle) and 59512 (right). The color scale is logarithmic in dB. In the left panels, the red dashed lines represent the central position of the outer arc for each epoch. For MJDs 59139 and 59512, the central position of an inner arc is shown in magenta.

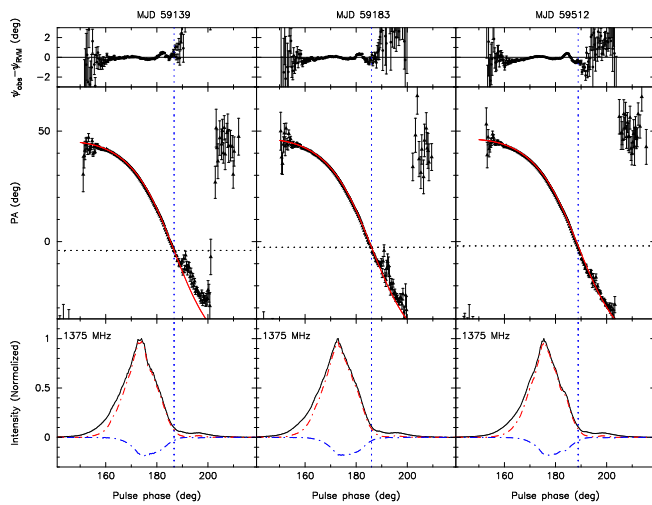


Figure 2: Polarization profiles for PSR B0656+14 at 1375 MHz from observations made at MJDs 59139 (left), 59183 (middle) and 59512 (right). The bottom panels show the total intensity (solid black lines), the linear polarization (red dash-dot lines), and circular polarization (blue dash-dot lines). The middle panels show the observed PAs (ψ) at 1375 MHz as a function of pulse phase, and the red lines give the best-fit RVM solution. The top panels show the fit residuals. The vertical dotted lines show the central pulse phase from the RVM fit, ϕ_0 , and the horizontal dotted lines give the corresponding PA at 1375 MHz, ψ_0 .

“Pulsar timing of a millisecond pulsar around a binary black hole”

袁业飞 (*Ye-Fei Yuan*)
中国科学技术大学物理学院天文学系
合肥 230026
Email: yfyufan@ustc.edu.cn

地面引力波天文台LIGO已经探测到合并的双恒星级黑洞 (BBHs) 产生的高频引力波, 但在合并之前很难探测到BBHs, 一是因为合并之前的评率不在地面引力波天文台的探测范围, 二是因为合并之前的引力波的振幅 (strain) 相对较小。由于毫秒脉冲星 (MSP) 是宇宙中非常精确的“时钟”, 如果它们存在于 BBH 系统中, 原则上可以通过脉冲星计时观测探测隐藏的 BBHs。最近, 我和博士后吴小骏博士研究了一个由内 BBH 和外MSP 组成的三体系统的动力学, 并研究了三体动力学对脉冲星到达时间的调制。Rajiv Kumar博士和罗沿 同学参与了部分的讨论。理论研究表明, 内双星可能会在外 MSP 的轨道上造成额外的时间残差 (即Römer延迟), 利用该效应可用于发现内 BBH以及测量它的轨道参数。

我们使用多体模拟来研究三体系统的动力学演化, 计算MSP脉冲到达时间的残差, 并通过快速傅立叶变换 (FFT) 分析它们的周期信号, 这使我们能够探索内双黑洞系统的轨道参数的影响。作为一个具体的例子, 我们假设三体系统是共面且稳定的; 与地球的距离约为 1 kpc; 每个黑洞的质量是 10倍太阳质量。我们发现时间残差的幅度随着内部 BBH 的半长轴和偏心率而增加。此外, 我们发现内双星的不同参数有几个突出的和特征性的周期信号 (见图1)。通过理论分析, 我们发现这些频率是由于内双星和外双星偏心率的不同阶效应造成的。因此, 原则上, 通过与观测 (例如FAST或者未来SKA的观测) 比较, 我们可以利用这些频率来确定内双黑洞系统的轨道参数。例如, 图2显示了两个模拟观测的结果。第一个观测采样时间间隔为 5.813×10^{-3} 天, 监测时长为5年。第二个观测采样时间间隔较长, 为5.813天, 监测时长为20年。从图2明显可以看出, 两者的结果基本相同。更详细的结果请参见:

Wu, X.-J., Yuan, Y.-F., Kumar, R. & Luo, Y. 2022, MNRAS, **510**, 708-717
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022MNRAS.510..708W/abstract>

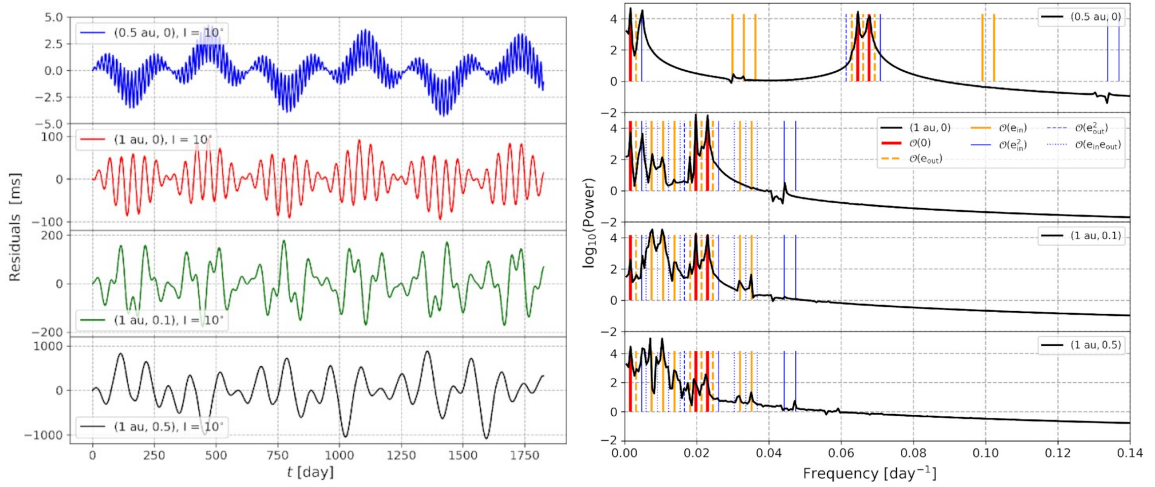


Figure 1: 左图显示了不同内双黑洞系统轨道参数情况下，脉冲星达到时间的残差。双黑洞轨道半长轴分别为0.5au和1.0au，轨道偏心率分别为0,0.1和0.5。与观测者的轨道倾角取了 10° 。右图显示了与左图相对应的脉冲星到达时间残差的FFT功率谱。图中的竖线显示了周期信号对应的频率。

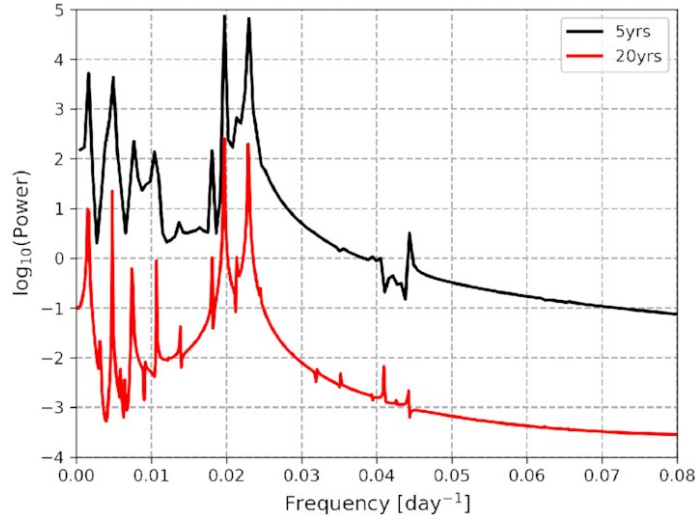


Figure 2: 不同监测时间情况下脉冲星达到时间残差的FFT功率谱。双黑洞的半长轴为1au，偏心率为0。黑线显示的5年模拟观测但采样时间间隔比较短的结果，红线显示的是20年模拟观测但采样的时间间隔比较长的结果。

新生中子星（夸克星）的早期演化

俞云伟 (Yun-Wei Yu)
华中师范大学物理科学与技术学院
武汉 430079
Email: yuyw@ccnu.edu.cn

超亮超新星和伽马射线暴等极端的恒星爆发过程可能导致一颗快速旋转且高度磁化的中子星（毫秒磁陀星）的形成，它的自转能损可能对这些爆发导致的暂现源辐射造成实质性影响。而具体来看，新生中子星的自转演化可能受到磁偶极辐射、引力波辐射以及吸积过程的影响。其中，吸积过程的存在要求恒星爆发后有物质的回落，这种回落物质最初可能以遗迹盘的形式残留在中子星的周围。在物质塌缩形成磁陀星的最后阶段，强磁场形成后，其强大的磁压将迫使最后的少量下落物质获得过大的角动量，从而由于离心作用而被甩离系统（螺旋桨效应）。但同时，这些离心物质（螺旋桨外流）很可能无法被真正抛离到无穷远处，而是将在不远处再次回落到盘内，因而遗迹盘得以产生。

如图1所示，在磁陀星诞生之时，遗迹盘处于螺旋桨相，它将通过提取星体的角动量而加快星体的自转减速。但鉴于螺旋桨外流并不能有效地流出，而不会对外部抛射物造成影响。这个阶段大概会持续数百到数千秒。随着星体旋转频率的降低，离心作用减弱，遗迹盘将逐渐进入吸积相。此时，大量下落到星体表面的物质将掩埋和屏蔽星体表面偶极磁场（尤其是两极区域），从而抑制星体的磁偶极辐射。所以，从能量输出的效果来看，星体将由磁陀星转变为具有普通磁场强度的中子星（尽管其本质上仍是磁陀星）。这之后的一段时间内，吸积率随时间的变化决定于粘滞主导下的盘内物质扩散，因而具有 $\dot{M}_{\text{acc}} \propto t^{-5/3}$ 的演化行为。这个时候，星体可能会出现一定程度的自转加速。不过很快，磁偶极辐射仍将成为主导自转演化的因素（如果引力波辐射不是很强的话）。至于这些过程对超新星和伽马暴抛射物的影响，则要看磁偶极辐射驱动的中子星星风和吸积反馈效应之间的能流强弱对比。无论如何，新生磁陀星的这种复杂演化行为，将可能导致伽马暴余辉、超亮超新星以及千新星等暂现源的复杂光变行为。

中子星的物理本质有可能是奇异夸克星，但因为它们可以被由正常物质组成的外壳层包裹而不太容易通过观测加以鉴别。不过，在诞生初期，由于温度很高，外壳层可能还不存在。对于一颗裸露的奇异星，它的表面会是一层完全由电子组成的电子气层，其中具有超过 10^{17}V cm^{-1} 的电场强度。该强电场可导致真空激发，生成正负电子对。然后，星体通过向外辐射这些电子对而损失内能（称为 U_{sov} 机制）。另一方面，在刚刚诞生后的原奇异星阶段，由于温度很高，中微子尚不能自由逃逸，因此星体的冷却将主要决定于中微子的扩散过程（而不是通常考虑的 Urca 过程）。我们不妨将星体简单分为中微子扩散区和辐射区两个部分，然后通过描述这两个部分分界面的运动来描述星体的极早期冷却（Li et al. 2021b）。可以发现，在中微子扩散结束之前，星体的温度基本保持不变。因此，这个阶段星体可通过 U_{sov} 机制稳定地向外输出能量，其光度高达 $10^{48} - 10^{50} \text{erg s}^{-1}$ ，持续时间从数十秒到数千秒不等（取决于初始温度的大小）。这个过程总的能量输出约为 $\sim 10^{51} \text{erg}$ ，它可能是造成伽马暴瞬时辐射或延展辐射的一个原因。

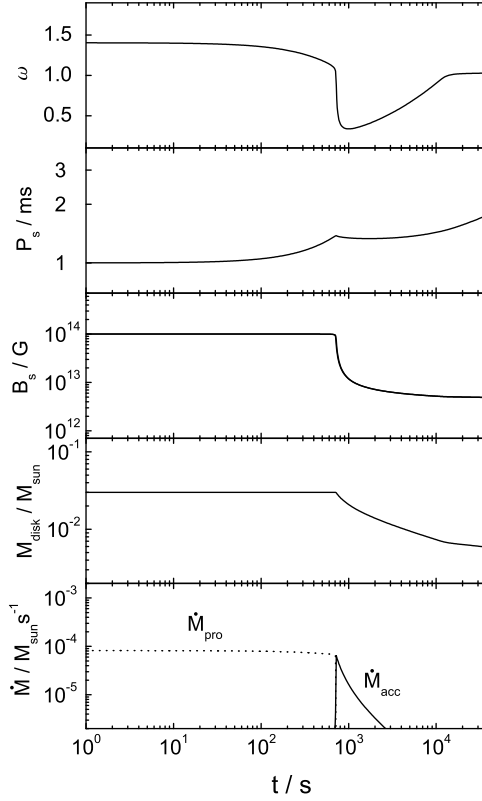


Figure 1: 新生中子星和遗迹盘的联合演化（从上到下依次为：无量纲自转参数、自转周期、表面偶极磁场强度、遗迹盘质量、吸积率）。模型参数为：初始周期 $P_s = 1\text{ms}$ ，初始磁场强度 $B_s = 10^{14}\text{G}$ ，盘的质量 $M_{\text{disk}} = 0.03M_{\odot}$ ，盘的角动量 $J_{\text{disk}} = 4J_s$ ，星体椭率 $\varepsilon = 0.001$ ，盘的无量纲粘滞系数 $\alpha = 0.05$ ，导致磁场掩埋的临界吸积质量 $M_c = 0.001M_{\odot}$ 。图源：Li et al. 2021a

References

- [1] Li, S.-Z., Yu, Y.-W., Gao, H., et al. 2021a, ApJ, 907, 87. doi:10.3847/1538-4357/abcc70
- [2] Li, S.-Z., Yu, Y.-W., Gao, H., et al. 2021b, ApJ, 922, 214. doi:10.3847/1538-4357/ac2d2f

脉冲星磁层中粒子加速地点在何处？

张力 (*Li Zhang*)
云南大学天文系
昆明 650500
Email: lizhang@ynu.edu.cn

脉冲星是强磁化的快速转动的中子星，它们可在射电、光学、X射线和伽马射线等不同波段中产生电磁辐射。这些周期性的电磁活动发生于脉冲星的磁层。所以，脉冲星磁层的活动是粒子加速和非热辐射的源泉。自从脉冲星发现以来，脉冲星磁层中粒子加速的地点一直是研究的热点之一。

磁层中粒子加速和辐射模型的构建取决于磁层中电磁场的结构。然而，在脉冲星的研究历史中，一方面，为了解释观测结果，必须构建发射模型。另一方面，为了描述电磁场、流和粒子的整体分布，必须建立磁层模型。这是两条独立发展的研究路径。直到大约本世纪初，随着计算能力的不断提升和计算方法的改进，使得实际的整体磁层模拟得以发展，从而开始了融合研究之路。

在本世纪之前，人们在磁层的偶极近似下，基于物理的考虑，构建了粒子加速和辐射模型。例如，粒子加速和辐射发生于极冠附近的极冠模型，沿极冠边缘处的最后开线附近从极冠延伸到外磁层的狭长间隙模型，粒子加速和辐射主要发生于沿最后开线附近从零电荷面到光柱半径的原初的外间隙模型，几何上与狭长间隙相似但具有两个不同的极冠区的环间隙模型，以及粒子加速和辐射出现于光柱半径之外电流片中的条纹风模型。这些模型给出了不同的加速和辐射地点（如图??所示）。除条纹风模型外，其它辐射模型都假定粒子的加速和辐射发生于光柱之内。由于修正的外间隙模型和狭长间隙模型类似于双极焦散几何模型（即粒子加速和辐射发生于沿开线附近从极冠附近到光柱半径的区域），所以，在解释来自脉冲星的多波段辐射特性方面，特别是伽马射线辐射特性，外间隙模型和狭长间隙模型成为当时的公认模型。

自从本世纪以来，辐射模型构建和整体磁层模拟的融合之路获得了迅速的发展。事实上，早在上世纪六十年代末，对于一个并行的无力磁层，构建了描述场和流的脉冲星方程，尽管未能给出一个转动磁偶极的解，但获得了近似描述在离中子星大距离处的场的劈裂单极的解。由于脉冲星方程是一个非线性的微分方程且在光柱半径处存在奇点，所以直到上世纪的最后一年，人们才获得了轴对称无力磁层的第一个数值解，该解表明一个流片沿自转赤道和超出光柱拉直为一个单极的极向场线形成。随着计算能力的大幅提升，人们从麦克斯韦方程组出发，开始了脉冲星磁层的数值模拟研究，获得倾斜无力磁层的数值解。然而，无力磁层中没有平行于磁场的电场分量（即加速电场），从而没有粒子的加速和辐射，故无力磁层不描述真实的脉冲星磁层。换言之，磁层中必须有耗散。为此通过在电流中引入一个宏观的导电率，人们获得了耗散磁层解，这些解可从真空到无力磁层且说明加速电场的区域。但是，因为产生导电率分布的微观物理并不知道，故耗散模型不是完全自治

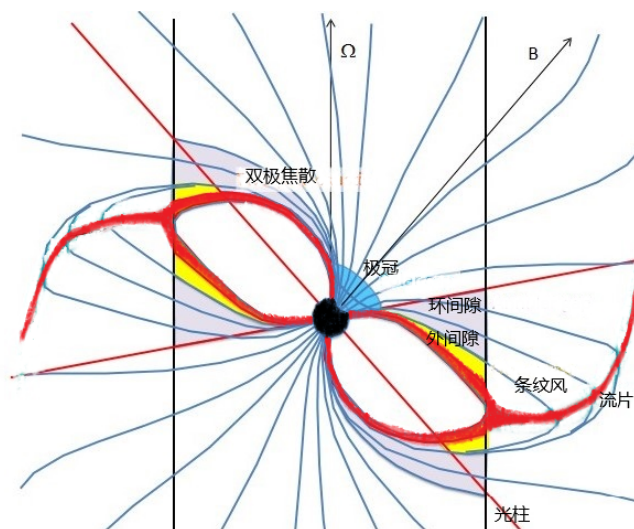


Figure 1: 脉冲星磁层中各种粒子加速和辐射模型的图示。

的。为完全地计算粒子运动和场之间自洽反馈，人们使用粒子模拟方法（PIC）对脉冲星磁层开展了数值模拟。这些数值模拟给出了在不同条件下合理的电磁场结构，并且在此基础上构建了描述脉冲星高能辐射的模型，如内无力外耗散模型。在这样的模型中，粒子的加速和辐射地点在光柱之外的电流片区，该区中磁重联导致粒子加速相对论性能量，这些被加速的粒子通过同步辐射或曲率辐射或产生高能光子。

然而，这些数值模拟都存在如下问题。首先，它们都不能从中子星表面开始模拟，通常假定模拟区域的内半径在约0.2个光柱半径（这仅适合于毫秒脉冲星），而从中子星表面到0.2个光柱半径的区域使用真空偶极场来近似。其次，由于目前计算能力和方法的限制，仍不能很好地描述电磁场、流和粒子的整体分布。最后，这些都不能合理地考虑磁对产生和双光子湮灭产生正负电子对这样的微观物理过程。即使在PIC模拟中，只是通过假定整个计算区上注入对等离子体（正负电子对）或中子星表面注入对等离子体，而且，PIC程序不能分辨模拟对产生的微观物理所需的小尺度。除此之外，还存在非物理的模拟参数：粒子拉莫半径使用了光柱半径量级的值，代替至少小9个量级的值，洛伦兹因子使用约 10^3 的值代替大于5个量级的值等。所以目前的PIC模型仍不是完全自洽的。

尽管目前的研究倾向于粒子加速地点和高能辐射在光柱之外的电流片区，但是考虑光柱内对产生过程、磁层电流的闭合问题和磁场随距离迅速减小的事实等，有理由相信，磁层中粒子的加速和辐射不仅出现于电流片区，而且也发生于沿闭场线和开场线的分界层从极冠表面到光柱半径的区域，如图??中红色区域所示。可能的是，由于该区域中不同部分的电磁场结构和强度的不同，导致不同的辐射。

总之，通过多年的研究，脉冲星磁层的粒子加速和辐射地点经历了重大的变化，但是粒子加速和辐射地点的问题仍然没有完全确定。

中子星的r模式不稳定性

周霞 (Xia Zhou)
中国科学院新疆天文台
乌鲁木齐 830011
Email: zhouxia@xao.ac.cn

脉冲星的理论对应体——中子星的内部结构及物质组成至今仍然是个值得我们不断探索的谜题。中子星物质的状态方程(EOS)对中子星的诞生、结构和演化都是至关重要的。中子星的质量和半径的限制是限制超致密物质的状态方程的重要途径，它们的自转演化和热演化是它们重要的动力学观测特性，其内部存在的不同的振荡模式，也可以帮助我们有效地揭露星体内部可能的致密物质的真相¹。在近期的工作中，我们采用满足所有目前已知天体物理和核物理约束条件的中子星状态方程，利用19个低质量X射线双星(LMXB)的已有观测对中子星r模稳定性条件进行限制，推出GW190814的2.6倍太阳质量神秘天体是一颗超大质量、超快转脉冲星的可能限制条件：温度应低于约 3.9×10^7 K，相应旋转频率高于870.2Hz（0.744倍其开普勒频率1169.6Hz），帮助我们进一步了解GW190814中2.6倍太阳质量天体的形成机理。

此外，中子星的r模式振荡是引力波辐射产生的途径之一。对于旋转的理想流体星体，r模式是由科里奥利力作为回复力的一种准环向脉动的流体力学扰动模式，满足于Chandrasekhar-Friedman-Shutz (CFS) 机制，即引力波不稳定性出现的机制。中子星是否出现引力波不稳定性是取决于引力波辐射导致的扰动模式增长作用和粘滞耗散对扰动模式的衰减作用相互之间的竞争，这也预示着r模能够提供有价值的中子星内部组成的信息。虽然粘滞耗散抑制r模式，但是中子星仍然可能在自旋频率低于100Hz以下发生引力波不稳定性，这也使得许多脉冲星在不同的热演化以及自转减慢过程中可能产生引力波辐射。

Owen等人相继在1998年以及单独在2010年在理论上对于年轻的脉冲星因r模振荡导致的引力波辐射进行了相关研究后，因为新一代的引力波探测器如升级版的LIGO (aLIGO)、Virgo (aVirgo) 或者KAGRA干涉仪在进行观测之前，大批学者对于可能因为r模扰动产生引力波辐射的源进行了研究。Owen在2010年指出，r模式振荡是一种潜在的探测连续引力波源的扰动模式，在LIGO和Virgo升级前，都已经研究者预测过脉冲星产生的连续引力波辐射。在100年前，Einstein预言了引力波的存在可能存在，然而在今天的aLIGO和aVirgo，不仅在双黑洞并合，还是在双中子星并合都直接发现了引力波的存在证据，在双中子星合并观测中，他们联合了70多个天文实验室，并成功地发现了它的电磁对应体，预示着天文进入到了多信息的天文纪元。此外，双中子星并合事件还获得包括高能辐射现象观测、宇宙重金属元素的来源以及相应的状态方程的限制，这增加了我们对中子星内部全局

¹考虑到篇幅问题，这篇短文我们不列出具体的参考文献，如有需要大家可以参考我们的近期r模相关文章 (zhou et al., 2021, ApJ, 910, 62) 及其中所列文献。

模扰动研究的信心。LIGO完成升级后，立马对附近的脉冲星源进行了观测，但是并未观测到连续引力波辐射，只是给定了已熟知的200颗脉冲星可能辐射的引力波特征幅度的上限。后续的观测分析一直在进行，并不断的在更新引力波特征幅度的上限。如果再一次升级后的LIGO等设备或者第三代Einstein探测仪的完成，它们可能探测到由于中子星r模式扰动导致的引力波辐射，那么我们将获得更多的关于中子星内部的信息，r模式振荡将打开中子星内部研究的新篇章。

银河系有多少个脉冲星-黑洞系统？

朱兴江 (*Xingjiang Zhu*)
北京师范大学珠海校区
珠海 519087
Email: zhuxj@bnu.edu.cn

目前已知三千余颗脉冲星中，有各种各样的脉冲星双星（比如双脉冲星、脉冲星-中子星和脉冲星-白矮星）甚至三星（PSR J0337+1715，脉冲星-白矮星系统与另一颗白矮星绕转）系统，但是唯独没有脉冲星-黑洞双星。可以说脉冲星-黑洞系统是脉冲星天文学家几十年来孜孜以求的目标。那么，银河系中到底有多少个脉冲星-黑洞系统？其中又有多少个可能被FAST脉冲星巡天发现呢？

下面我们来做一个简单的估计，出发点是LIGO-Virgo地面引力波观测估计出的中子星-黑洞并合率。2020年1月，LIGO和Virgo引力波探测器接连探测到两例中子星-黑洞并合引力波事件（分别命名为GW200105和GW200115）。这是首次通过引力波发现中子星-黑洞并合现象，也为脉冲星-黑洞的搜寻注入了新的信心。

取决于我们对中子星和黑洞质量分布的假设，引力波观测得到的中子星-黑洞并合率为 $45_{-33}^{+75} \text{Gpc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ 或者 $130_{-69}^{+112} \text{Gpc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ 。记住这些误差后，下面的计算中我们取 $100 \text{Gpc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ 。宇宙中，与银河系相当的星系的密度约为 0.01Mpc^{-3} 。据此我们可以推断银河系的中子星-黑洞并合率约为 10Myr^{-1} 。由于有的中子星-黑洞系统可能永远不会并合，因此中子星-黑洞的出生率应该高于并合率，也就是说 10Myr^{-1} 可以作为一个中子星-黑洞双星系统出生率的保守估计。

中子星出生后作为脉冲星的可观测时间取决于中子星是否经过物质吸积过程：可能是千万年量级（ $\sim 10^7 \text{yr}$ ，正常脉冲星）或者长达数十亿年（ $\sim 10^9 \text{yr}$ ，recycled脉冲星）。我们取脉冲星寿命 10^8yr ，乘以中子星-黑洞出生率 10Myr^{-1} ，得知银河系大约有 10^3 个脉冲星-黑洞系统。这其中仅有10%的射电束指向地球，因此银河系总共约有100个脉冲星-黑洞系统待发现（假如我们有一个无限灵敏并覆盖全天的望远镜）。对于FAST脉冲星巡天而言，由于灵敏度的限制和天区覆盖不全两个因素，仅能找到100个当中的10%，因此理论上大约有10个脉冲星-黑洞系统可以被FAST发现。在考虑中子星-黑洞的并合率误差后，最悲观的情况下，FAST应该能发现一个脉冲星-黑洞系统！

Scientific Program of FAST/Future Pulsar Symposium 10

July 13-15, 2021, Qilu Normal University (QNU), Jinan, Shandong
(Language: English or Chinese; but the presentation is suggested to be written in English)

===== Tuesday, July 13 =====

10:00 -- 12:00 Registration (*the lobby of Ramada Jinan, 济南市华美达酒店前台*)

----- Lunch time -----

Chair: Renxin Xu (15min = 12+3)

14:00 -- 14:05 **Opening**

14:05 -- 14:20 Pan, Zhichen: *FAST Observation on LS-I 61303*

*14:20 -- 14:35 Jumei Yao: *Interstellar scintillation and polarization of PSR B0656+14 in the Monogem ring*

*14:35 -- 14:50 Wucheng Huang: *Study of the first irregular eclipsing black widow pulsar J1326-4728B*

*14:50 -- 15:05 Xiaojin Liu: *The pulse-shape variability and timing residuals of PSR B1937+21*

*15:05 -- 15:20 Jie Liu: *Pulse profile variations associated with the glitch of PSR B2021+51*

*15:20 -- 15:35 Xin Xu: *A systematic study on frequency evolution behavior of pulsar pulse profiles*

15:35 -- 16:15 *Group photograph and Coffee Break*

Chair: Yefei Yuan (15min = 12+3)

16:15 -- 16:30 Xingjiang Zhu: *The synergy between gravitational-wave astronomy and pulsar astronomy*

*16:30 -- 16:45 Heng Xu: *Progresses of Chinese Pulsar Timing Array & an FRB turns into a pulsar*

*16:45 -- 17:00 Nicolas Caballero: *Search for a gravitational-wave background by the European Pulsar Timing Array: Examination of a common red signal.*

*17:00 -- 17:15 Miao, Xueli: *Stringent Tests of Gravity with Highly Relativistic Binary Pulsars in the Era of LISA and SKA*

*17:15 -- 17:30 Zhipeng Huang: *Simultaneous 2.25/8.60 GHz observations of the newly discovered magnetar - Swift J1818.0-1607*

Dinner, 18:00 – 19:00

===== Wednesday, July 14 =====

Chair: Biping Gong (15min = 12+3)

08:30 -- 08:45 Jumpei Takata: *X-ray study for MeV pulsars*

*08:45 -- 09:00 Zhehao Zhang: *The influence of the observational strategies and timing noise on the properties of pulsar clocks*

*09:00 -- 09:15 Mengna Han: *基于 Crab 脉冲星的 X 射线计时分析*

*09:15 -- 09:30 Haitao Huang: *Breaking index and the evolution of PSR B0950+08*

*09:30 -- 09:45 Wang, Shuangqiang: *Emission variation study of some millisecond pulsars using FAST*

09:45 -- 10:15 *Coffee Break*

Chair: Li Zhang (15min = 12+3)

10:15 -- 10:30 Di Li: *Toward A Kant's View of FRBs*

*10:30 -- 10:45 Weiyang Wang: *Repeating FRBs: Suddenly and violently sporadic sparking at magnetosphere*

*10:45 -- 11:00 Chenhui Niu: *The new FRBs discovered in CRAFTS project*

*11:00 -- 11:15 Yi Feng: *Polarization measurements of FRB 190303 and FRB 190520*

*11:15 -- 11:30 Chunfeng Zhang: *Fast radio burst detection in the presence of coloured noise*

*11:30 -- 11:45 Zhang, Yongkun: *The Stochastic Nature of FRB121102*

----- Lunch time -----

Chair: Youling Yue (15min = 12+3)

14:00 -- 14:15 Ruoyu Liu: *Morphology of Gamma-Ray Halos around Middle-aged Pulsars: Influence of the Pulsar Proper Motion*

*14:15 -- 14:30 Lei Zhang: *Unraveling the Mysteries of Pulsars in Globular Clusters*

*14:30 -- 14:45 Qiancheng Liu: *Search Pulsars in SNRs and PWNe with FAST*

*14:45 -- 15:00 Mengyao Xue: *Southern Pulsar Census and Polarimetric Studies with the MWA*

*15:00 -- 15:15 Mengting Liu: *Tiny-scale Atomic Structure Discovered toward PSR B1557-50*

15:15 -- 15:45 *Coffee Break*

Chair: Xiaoping Zheng (15min = 12+3)

15:45 -- 16:00 Jianmin Dong: *核物质状态方程, 超流性及其在中子星物理中的应用*

*16:00 -- 16:15 Yong Gao: *Rotation and deformation of strangeon stars in the Lennard Jones model*

*16:15 -- 16:30 Zhiqiang Miao: *Constraints on the Maximum Mass of Neutron Stars with a Quark Core from LIGO/Virgo and NICER*

*16:30 -- 16:45 Shangming Chen: *Multi-wavelength study on high-mass gamma-ray binaries*

*16:45 -- 17:00 Zhengli Wang: *Radiation characteristics for B0950+08 and its baseline analysis*

Dinner, 18:00 – 20:00

===== Thursday, July 15 =====

Chair: Kejia Lee (15min = 12+3, 30min = 25+5)

08:30 -- 08:45 Lijing Shao: *Testing Dipole Radiation with Neutron Stars*

08:45 -- 09:00 Xiaoping Zheng: *Implications of slow rise in Glitches*

09:00 -- 09:30 Li Zhang (特邀): *我与伽马射线脉冲星*

09:30 -- 09:45 **Announcement of Crab and Vela Prizes**

09:45 -- 10:15 *Coffee Break*

Chair: Jianping Yuan (15min = 12+3)

10:15 -- 10:30 Abdujappar Rusul: *State-switching Mechanism of Intermittent Pulsars*

10:30 -- 11:45 Pei Wang: *A bimodal burst energy distribution of a repeating FRB source*

10:45 -- 11:00 Hao Tong: *Rotating vector model for magnetars*

11:00 -- 11:15 Wencong Chen: *Ultracompact binary pulsars as continuous dual-line gravitational wave sources*

11:15 -- 11:30 Yunwei Yu: *新生毫秒磁星的观测效应*

11:30 -- 11:45 Qiuhe Peng: *磁星高X光度的物理机制*

----- Lunch time -----

Chair: Longfei Hao (15min = 12+3)

14:00 -- 14:15 Fayin Wang: *快速射电暴的研究进展*

14:15 -- 14:30 Hou, Shujin: *The Plateau in X-ray Afterglow Providing a Evidence for Magnetars as the GRB Central Engine*

14:30 -- 14:45 Jiguang Lu: *Correlation in pulsar study*

14:45 -- 15:00 Yan Xu: *天文观测对中子星内部结构的可能约束*

15:00 -- 15:15 Wenjie Xie: *Bayesian Inference of the Symmetry Energy of Superdense Neutron-rich Matter from Future Radius Measurements of Massive Neutron Stars*

15:15 -- 15:45 *Coffee Break*

Chair: Zhen Yan(15min = 12+3)

15:45 -- 16:00 Shan Chang: *Trajectories and radiation of charged particles in the pulsar magnetosphere*

16:00 -- 16:15 Helei Liu: *Thermal Evolution of NS with Pion Condensation: Possible Fast Cooling in a Low-Symmetry-Energy Model*

16:15 -- 16:30 Shuhua Yang: *Constraints from compact star observations on non-Newtonian gravity in strange stars*

16:30 -- 16:45 Chengjun Xia: *On the surface treatment of quark matter and quark stars*

16:45 -- 17:00 Zhaosheng Li: *Burning transitions after a superburst in Aql X-1/FPS11*

NOTE for *talks* (20min = 15+5)

The chair would **remind** the speaker “**2 min**” after talking for **10 minutes**.

Score suggested for the members in ad hoc committee

Crab: 85~95, Vela: 75~85