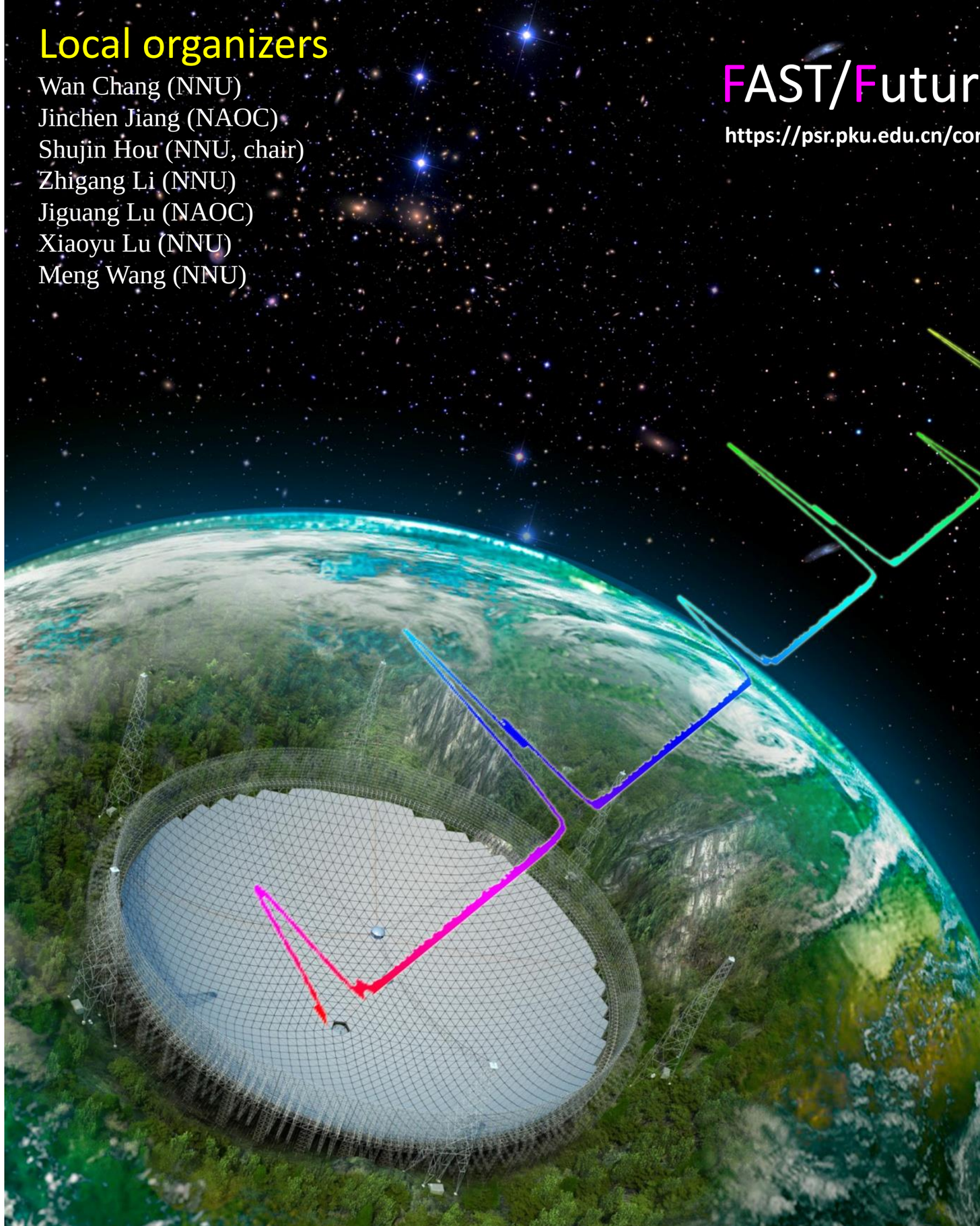
五百米口径球面射电望远镜脉冲星研讨会(12)

FAST/Future Pulsar Symposium 12

https://psr.pku.edu.cn/conference/fps/FPS12/FPS12.html

Local organizers

Wan Chang (NNU)
Jinchen Jiang (NAOC)
Shujin Hou (NNU, chair)
Zhigang Li (NNU)
Jiguang Lu (NAOC)
Xiaoyu Lu (NNU)
Meng Wang (NNU)



Nanyang Normal University
Nanyang
July 4-6, 2023

Organized by FPS Advisory Committee

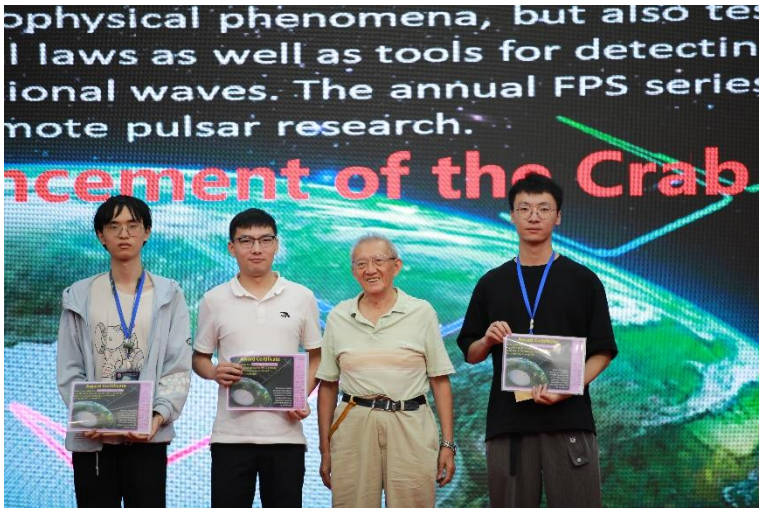
Hsiang-Kuang Chang (NTHU)
Longfei Hao (YNO)
Stephen Ng (HKU)
Hongguang Wang (GZU)
Jianping Yuan (XAO)
Youling Yue (NAO)
Li Zhang (YNU)
Biping Gong (HUST)
Yongfeng Huang (NJU)
Liming Song (IHEP)
Renxin Xu (PKU)
Yefei Yuan (USTC)
Zhen Yan (SHAO)
Xiaoping Zheng (CCNU)

第十二届全国脉冲星年会合影留念
中国 · 南阳
2023年7月4日至6日
FPS

500 米口径球面射电望远镜/未来脉冲星专题研讨会

第十二次会议

FPS 年会于 2012 年首次在新疆昌吉举办、第 12 次年会（FPS12）于 2023 年 7 月 4 日至 6 日在河南南阳召开。FPS12 评奖委员会（陈海亮、戴子高、高田顺平、高志福、葛明玉、龚碧平、郝龙飞、侯书进、黄永锋、来小禹、李柯伽、李兆升、刘荷蕾、罗近涛、彭秋和、邵立晶、仝号、徐仁新、闫振、袁建平、袁业飞、岳友岭、张仲莉、周霞、朱兴江等 25 人构成）最终遴选出 Crab 奖一名（孟令祺）、Vela 奖二名（黄志鹏和周宇凯）。三位获奖者与彭秋和教授的合影如下图。



FPS12 获奖者
孟令祺（右一）、 黄志鹏（左二） 和周宇凯（左一）

谚语有言：“听君一席话，胜读十年书”。在做学问的语境中，此言其实点出了学术交流的重要性：不只在于知识的面授，更体现人文的传承。FPS“群贤毕至，少长咸集”*；在分享思想和切磋手艺的同时，更感知人生之真谛。正如 FPS12 特邀演讲者所言（见 41 页），“认识自己”了才能“乐此不疲”，进而“认识自己存在的宇宙”。当然，在 FPS 文化不断熏陶的同时，新一代“脉冲星学人”沐浴在若干大型科学设备（如 FAST、LHAASO、GECAM、EP 等）塑造的学术氛围中成长，可谓“如虎添翼”。

作为 FPS 人共同的“历史记忆”，您手中的第十二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/conference/fps/Proceedings/FPSα.pdf

这里α = 1,2,3,…12 代表获取第一到十二次的 FPS 文集。是的，让所有 FPS 学人继续以精辟的语言在文集中留下自己关于“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：南阳师范学院　常婉、侯书进（主席）、李志刚、路晓宇、王猛，

国家天文台　姜金辰、卢吉光

公元贰零贰叁年拾贰月

*取自魏晋时期王羲之（303 年生， 361 年卒）散文《兰亭集序》。

目 录

1. PSR B0943+10: Mode Switch, Polar Cap Geometry, and Orthogonally Polarized Radiation 曹顺顺 1

2. Formation and evolution of binary millisecond pulsars with extremely low-mass He WD companions 陈海亮..... 2

3. 慧眼 HXMT 的吸积脉冲星观测 葛明玉..... 4

4. 参加 2023 年第 32 届 Texas 相对论天体物理会议有感 龚碧平..... 6

5. 磁星 XTE J1810-197 的 2.25/8.60 GHz 双频同时观测研究 黄志鹏（Vela 奖获得者），闫振，沈志强，仝号，林琳，袁建平，赵融冰，吴亚军，刘杰，王睿，王啸威..... 7

6. FPS 12 会议感悟 李洪波..... 11

7. EP 观测对致密物质状态的预期限制 李兆升 12

8. FAST 脉冲星数据处理程序包 LAPUDA 卢吉光..... 13

9. 双中子星系统 PSR J1946+2052 的相对论性自转轴进动 孟令祺（Crab 奖获得者） 14

10. 恒星日在射电天文学中的高光时刻 钱磊..... 16

11. 银心黑洞与脉冲星 邵立晶..... 17

12. 长周期的射电脉冲星 仝号..... 20

13. Implications of FRBs’ narrow band emission 王维扬..... 22

14. 关于脉冲星辐射几何及其极冠区辐射机制的代码研究 王一丁，童雅菲..... 23

15. Polarization emission orientation for PSR B0950+08 王正理..... 24

16. 宇宙早期 QCD 相变：从夸克到奇子团块和核子 武旭浩..... 26

17. 核物质状态方程研究进展 夏铖君..... 27

18. 中国脉冲星测时阵列测量纳赫兹引力波进展 胥恒..... 29

19. “Occam’s razor”：用一个自然的假设解决所有问题 徐仁新..... 31

20. 转动减慢的奇子星及其在短伽马暴 X 射线余辉当中的应用 杨细艳..... 32

21. 《中子星物理导论》及其使用介绍 俞云伟..... 35

22. 活动星系核盘中的致密星 袁业飞..... 38

23. 脉冲星与我 岳友岭（特邀报告）..... 41

24. 一个厂商无关的可实时相干消色散的射电望远镜后端软件 周宇凯（Vela 奖获得者） 42

25. 会议日程 45

FAST/Future Pulsar Symposium 12 (FPS12)
July 4-6, 2023, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan, - P. R. China
https://psr.pku.edu.cn/conference/fps/FPS12/FPS12.html

PSR B0943+10: Mode Switch, Polar Cap Geometry, and Orthogonally Polarized Radiation

曹顺顺 (Shunshun Cao)
北京大学物理学院
北京 100871
Email: 19css@pku.edu.cn

利用FAST观测数据，我们对一个著名脉冲星B0943+10进行了多方面的辐射与磁层的研究。粗略回顾历史，关于B0943+10的研究热点主要在三个方面：(1) 两个显著的辐射模式：B模式和Q模式。B模式得名于Bright或Burst，Q模式则得名于Quiet或Quiescent，总之源于在先前的观测 (主要集中在600MHz以下) 中，B模式较亮而Q模式较暗；(2) 比较清晰单一的子脉冲漂移行为，且只出现在B模式中，Rankin和Deshpande等人有一系列文章对其子脉冲漂移进行了详细的研究；(3) X射线脉冲行为与模式变换成协，Q模式的X射线脉冲明显强于B模式，Hermsen等人以及Mereghetti的团队利用XMM-Newton等设备对这个源的X射线辐射进行了详细的研究。除了这三点之外，Suleymanova等人以及Rankin与Deshpande对这个源的正交偏振模式、消偏振等行为也有研究。在前人研究的基础上，我们的工作的亮点主要体现在：(1) 利用一个脉冲轮廓成分分解的方法，对这个源的模式变换进行了半定量的分析，发现其模式变换时在一些参数空间里可能显示出类似奇异吸引子的图像；(2) 发现在1.25GHz波段下，Q模式较亮而B模式较暗，这与较低频上的结果相反，说明两个模式的频率演化显著不同；(3) 首次通过RVM拟合得到了B0943+10的辐射几何，其轮廓的precursor成分与main pulse成分的偏振正好正交，PA曲线可以由两条相差90度的RVM曲线非常好地拟合上——磁倾角约46度，视线与磁轴夹角约15度。这个结果与Rankin等人基于轮廓频率演化模型给出的结果 (12°, -5°) 非常不同，能够很好地与单脉冲的偏振位置角分布对应上。利用这个新几何结果，我们分析了这个源的polar cap的特性，并且基于高能粒子轰击脉冲星表面加热的物理图像对其X射线脉冲及其与模式变换的成协作出了解释；(4) 单脉冲的性质在我们的工作中占了大比重，我们从单脉冲的偏振位置角和圆偏振分布上能够直接看出正交偏振模式对应的圆偏振符号相反 (与Deshpande和Rankin的2001年文章利用偏振分解计算的结果也对得上)，这与磁化等离子体中O模与X模的椭圆偏振行为一致，相似的结果曾在脉冲星B2020+28 (Cordes et al. 1978) 的观测中看到。同时，一些单脉冲中直接能够看到两个正交偏振模式，这对于正交偏振模式的起源也有限制。基于观测结果，我们对磁层中可能发生的波的偏振转换或吸收过程进行了一些讨论。我们的工作初稿已经在2023年12月发布在arxiv上 (2312.11984)，欢迎各位浏览并与我们讨论！

Formation and evolution of binary millisecond pulsars with extremely low-mass He WD companions

Hai-Liang Chen
Yunnan Observatories
Kunming 650216
Email: chenhl@ynao.ac.cn

Binary millisecond pulsars are important for studies of stellar physics and binary evolution (Postnov & Yungelson 2014;Tauris & van den Heuvel 2023). The companions of the millisecond pulsars can be white dwarfs (WDs), low mass dwarf stars and neutron stars (Tauris 2011). In recently years, there are more and more binary millisecond pulsars with extremely low-mass (ELM) He WDs discovered. The He WD masses in these systems are found to be smaller than $0.20\,M_{\odot}$ (e.g. Istrate et al. 2014). Given their short orbital periods, they are important gravitational wave (GW) sources and can evolve into ultra-compact X-ray binaries (UCXBs). Istrate et al. 2014 had investigated the formation of binary millisecond pulsars with ELM He WDs in tight binaries with orbital periods of $2-9$h. They found that they are hard to be produced from the standard binary evolution model, which is the so-called 'fine-tuning' problem. Moreover, the evolution of NS-WD binaries remains unclear. In particular, the stability of NS+He WD binaries undergoing mass transfer is still an open question.

Chen et al. 2021 modelled the evolution of low mass X-ray binaries with a newly suggested magnetic braking from Van et al. 2019. We calculate a grid of binary evolution models and find the initial parameter space of the progenitors which successfully evolve into MSP+ELM WD binaries and later UCXBs. Compared with these models with standard magnetic braking prescription, the parameter space becomes larger. This helps to solve the fine-tuning problem. Moreover, we demonstrate that UCXBs in our Galaxy can be detected by LISA (Amaro-Seoane et al. 2023), TianQin (Luo et al. 2016) and Taiji (Ruan et al. 2020). The upper limit of the He WD masses for UCXB GW sources produced via stable RLO in LMXBs are$\sim 0.16\,M_{\odot}$.

Chen et al. 2022 modelled the evolution of NS+He WD binaries with WD masses of $0.17-0.45\,M_{\odot}$ using MESA code (Paxton et al. 2011, 2013, 2015, 2018, 2019). From these simulations, we found that all NS+He WD binaries can have stable mass transfer, which is different from previous studies. The minimum orbital period for these binaries ranges from 1.5 minutes to 4.7 minutes, corresponding to maximum GW frequencies of $7.1-22\,$mHz. In addition, we found that there is a tight relation between the WD mass and gravitational wave frequency during the mass transfer

phase, regardless of NS mass. If the gravitational wave frequency can be detected, the WD mass can be inferred with this relation.

Given that the birth mass of an NS can be close to the maximum mass of an NS ($\sim 2.2\,M_{\odot}$), Chen et al. 2023 demonstrated that a BH-UCXB may be produced from the evolution of NS+He WD binaries via accretion induced collapse of NSs. We anticipated that approximately one BH-UCXB with an AIC origin and a He WD donor would be present within the current sample of known UCXBs, and that LISA may detect two to five such BH-UCXBs through gravitational waves. Furthermore, our findings indicate that the X-ray luminosity of NS-UCXBs near their orbital period minimum exceeds 10^{39}erg/s, making these systems potential candidates for ultraluminous X-ray sources.

References

Postnov, K. A., & Yungelson, L. R. 2014, LRR, 17, 3

Tauris, T. M., & van den Heuvel, E. P. J. 2023, Physics of Binary Star Evolution. From Stars to X-ray Binaries and Gravitational Wave Sources (Princeton, NJ: Princeton Univ. Press)

Tauris T. M., 2011, in Schmidtobreick L., Schreiber M. R., Tappert C., eds, Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 447, Evolution of Compact Binaries. p. 285

Istrate A. G., Tauris T. M., Langer N., 2014b, A&A, 571, A45

Chen, H.-L., Tauris, T. M., Chen, X., & Han, Z. 2022, ApJ, 930, 134

Chen, H.-L., Tauris, T. M., Han, Z., & Chen, X. 2021, MNRAS, 503, 3540

Van, K. X., Ivanova, N., & Heinke, C. O. 2019, MNRAS, 483, 5595

Amaro-Seoane, P., Andrews, J., Arca Sedda, M., et al. 2023, LRR, 26, 2

Luo, J., Chen, L.-S., Duan, H.-Z., et al. 2016, CQGra, 33, 035010

Ruan, W.-H., Guo, Z.-K., Cai, R.-G., & Zhang, Y.-Z. 2020, IJMPA, 35, 2050075

Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., et al. 2011, ApJS, 192, 3

Paxton, B., Cantiello, M., Arras, P., et al. 2013, ApJS, 208, 4

Paxton, B., Marchant, P., Schwab, J., et al. 2015, ApJS, 220, 15

Paxton, B., Schwab, J., Bauer, E. B., et al. 2018, ApJS, 234, 34

Paxton, B., Smolec, R., Schwab, J., et al. 2019, ApJS, 243, 10

Chen, H.-L., Tauris, T. M., Chen, X., & Han, Z. 2023, ApJ, 951, 91

慧眼HXMT的吸积脉冲星观测

葛明玉 (Mingyu Ge)
中国科学院高能物理研究所
北京 100049
Email: gemy@ihep.ac.cn

“慧眼”卫星全称是硬X射线调制望远镜（Hard X-ray Modulation Telescope, HXMT）卫星，是我国的第一颗X射线天文卫星， 于2017年6月15日在酒泉卫星发射中心发射。它运行在550km的近地圆轨道上， 主要用来观测研究黑洞、中子星、伽马射线暴等。慧眼HXMT是由高能X射线望远镜（HE）、中能X射线望远镜（ME）和低能X射线望远镜（LE）组成， 首次实现了1～250keV的能区覆盖，有利于从不同能段来观测和研究X射线天体的辐射性质。 X射线脉冲星是慧眼HXMT的重要观测目标，尤其是吸积脉冲星。本文简要介绍一下慧眼HXMT对吸积脉冲星的观测情况， 主要包括回旋吸收线和热核暴等。更多的观测结果详见网址：https://ui.adsabs.harvard.edu/public-libraries/R_dGKc_6RSyswz9mVTsUuA。

与以往的望远镜相比，慧眼HXMT高能X射线望远镜在硬X射线能段有效面积非常大，因此对回旋吸收线的观测是非常有利的。 回旋吸收线的能量与磁场直接相关，因此可以用回旋吸收线来测量和研究脉冲星的磁场。 目前，慧眼HXMT对吸积脉冲星中回旋吸收线的观测取得显著的进展，尤其是在最高能量的回旋吸收线方面，与以往相比有显著增加。 首先，在GRO J1008-57中的观测到了基频能量为90 keV的回旋吸收线（Ge et al. 2020）。 其次，在1A 0535+262中观测到了100 keV处的二阶谐频回旋吸收线（Kong et al. 2022）。 最后，在河内第一个超亮X射线源Swift J0243.6+612的爆发峰值处发现了最高能量达146 keV的回旋吸收线， 其对应的磁场强度1.6E13高斯，如图1所示。进一步研究发现，利用其他方法（如螺旋桨效应等） 估计的磁场强度显著小于该回旋吸收线对应的磁场强度，因此该回旋吸收线更可能起源于磁多极场处（Kong et al. 2022）。

冕这个模型在X射线双星吸积爆发演化的研究中被广泛应用，其定义为高温辐射低效的等离子体团块， 但是冕本身的性质以及爆发期间的动力学演化一直是未解之谜。热核暴是中子星表面氢氦物质的热核不稳定燃烧，辐射谱以黑体为主。热核暴的光子在穿越冕时，可以冷却冕。因此，可以用热核暴对冕的冷却效应研究其性质（Chen et al. 2012）。在慧眼HXMT之前的观测结果中， 一般需要累积数十个暴的样本才能捕捉到暴对冕的冷却效应，而慧眼HXMT的运行大大改观了这一研究领域的现状。如图2所示， 慧眼HXMT对4U 1636-536的观测中在单个热核暴就能够清晰地看到冕的冷却（Chen et al. 2018）。 慧眼HXMT进一步积累了更多的热核暴观测样本，发现采用热核暴探针可以系统的研究X射线双星爆发演化的吸积辐射环境， 包括盘冕和喷流或者外流等，相关研究取得了一系列的结果，详见Chen et al., 2023的相关文章。

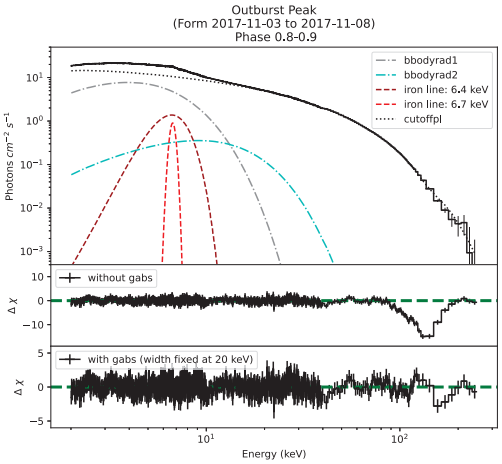


Figure 1: Swift J0243.6+6124能谱。Swift J0243.6+6124相位0.8-0.9处的能谱，在100-200keV处存在显著的吸收结构。图来自Kong et al. 2022。

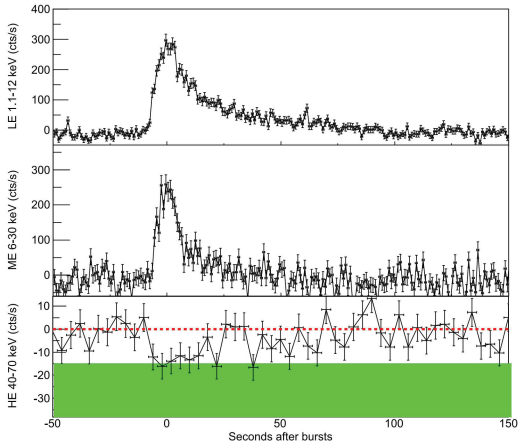


Figure 2: 慧眼HXMT对4U 1636-536的I型暴观测曲线。上中下图分别是慧眼HXMT的LE、ME和HE的光变曲线。下图中的HE光变曲线在爆发处存在明显的缺失，其中绿色部分是HE的本底情况。图来自Chen et al. 2018。

参加2023年第32届Texas相对论天体物理会议有感

龚碧平 (Biping Gong)
华中科技大学物理学院
武汉 430074
Email: bpgong@hust.edu.cn

1994年我参加过慕尼黑第17届Texas相对论天体物理会议，有两件事记忆深刻：一是有位美国学者讲话犀利，挥洒自如，高屋建瓴；二是马丁Rees 有一次正好坐在我右边，他的问题特别多，几乎每个报告者都会被他提问。但进入21世纪后有几次在IAU general assembly又见到马丁Rees，再也听不到他提问了。

这次在上海的第32届Texas会议换了人间，国内天文学这30年的进步惊人。以张双南教授，韩金林教授，曹臻教授为代表的60后在会上展现出强大实力。高能物理界80多岁的一位资深美国学者在曹教授的大会报告后当场评论到：“祝贺你和你的团队以及你的国家的在该领域里取得的重要成就。”随者年龄的递减，国内70后、80后、90后，在Texas会上表现抢眼的人数渐增。例如以李柯伽为代表的80后表现出脉冲星探测引力波领域内佼佼者的气势。

这三十年国内天文学，尤其脉冲星届的进步（某种程度上与GDP的进步有可比性），离不开在脉冲星届艰苦奋斗，甘当人梯的前辈，如吴鑫基老师，乔国俊老师，彭秋和老师等的付出， 以及以Dick Manchester 为代表的国际友人的真诚帮助。彭秋和老师这位资深的80后还在科研第一线打拼，只要比彭老师年轻的都当倍加努力不断进取。

磁星XTE J1810−197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]，赵融冰[1]，吴亚军[1]，刘杰[2]，王睿[1]，王啸威[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*

*Email: yanzhen@shao.ac.cn

磁星（magnetar，又译磁陀星）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，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)。目前仅发现32颗磁星及其候选体，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XTE J1810−197于2003年被发现，是第一颗被探测到射电波段辐射的磁星 (Camilo et al. , 2006)。但它在2008年底进入射电沉寂期，直至2018年12月才再次被探测到射电辐射 (Levin et al. , 2019)。从2019年1月开始，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 58501至59427共计194次观测之后取得如下阶段性成果。

【1】通过分析这些长达900余天观测数据的平均脉冲轮廓随时间和频率的变化情况，首次发现了XTE J1810−197在2018年爆发后的中间脉冲辐射。该磁星的中间脉冲辐射在10年前那次爆发中较为常见，但本次爆发以来尚未有报道 (Camilo et al. , 2016)。数据分析表明，尽管XTE J1810−197的平均轮廓变化复杂，呈现出单峰、双峰、三峰以及多峰脉冲等类型的结构，但这些“峰”所处在的相位较为固定,主要在该星辐射区的7个区域出现。研究团队认为，这7个区域的平均轮廓的变化是由辐射区域的等离子团块等有关成分的辐射强弱及开关状态的变化所导致的。本研究

[1]http://www.physics.mcgill.ca/~pulsar/magnetar/main.html

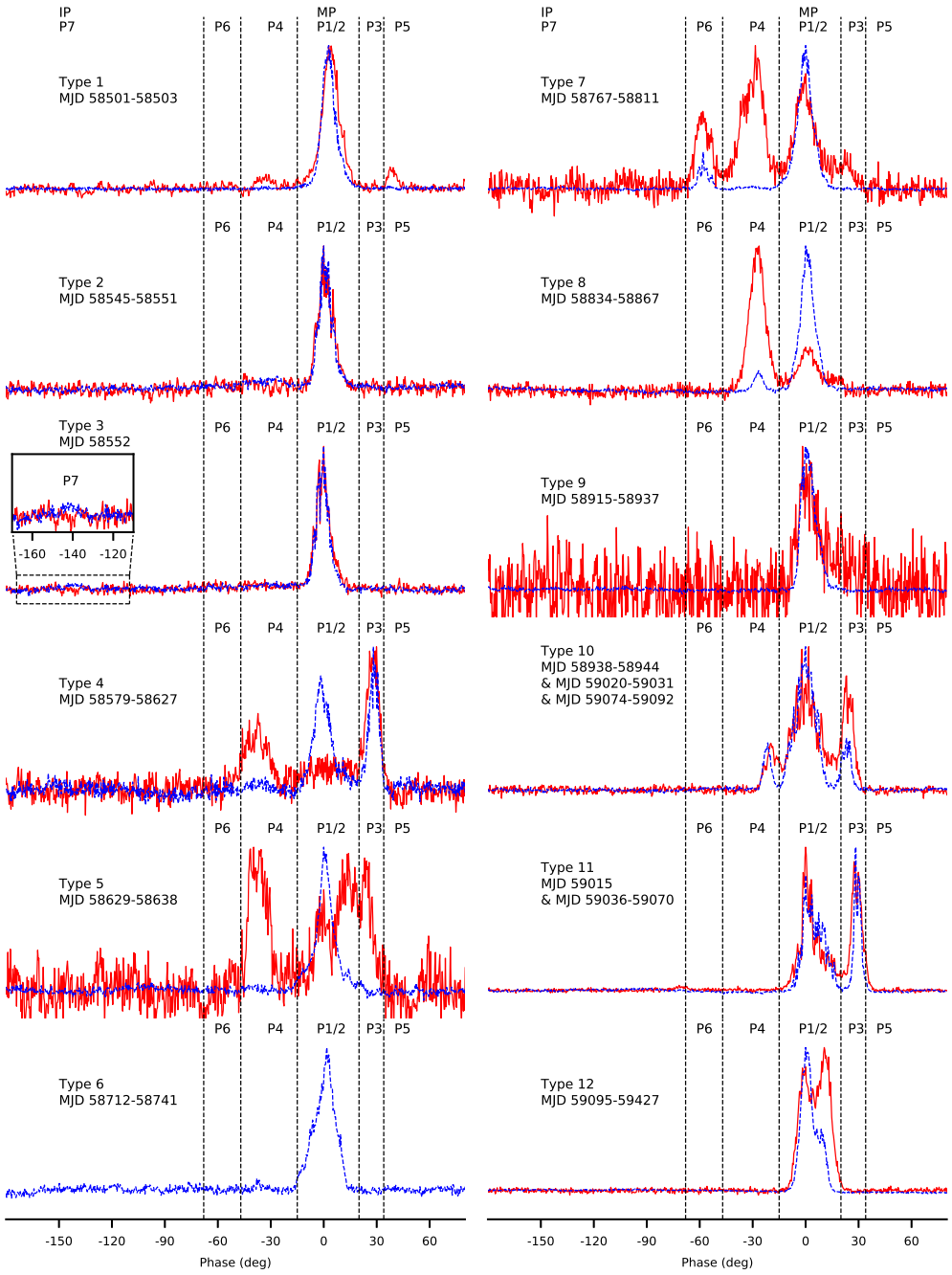


Figure 1: XTE J1810−197在2.25/8.60 GHz（红/蓝）12类典型平均轮廓，其中$P1/2$两个辐射成分一直处于辐射状态，其它辐射成分“时开时关”，而且2.25和8.60 GHz两个频率的辐射变换并不一定同步。

所获得的194例双频平均轮廓可分为12种类型（图 1），可见不同成分随频率变化不一致，即使同一成分其在2.25 GHz和8.60 GHz上随着时间的变化也不一致。

【2】研究团队还在对2020年6月15日观测数据（MJD 59015）的分析中发现XTE J1810−197在2.25 GHz和8.60 GHz从正常辐射状态变为“毛刺状”（spiky）爆发辐射状态，如图 1中$Type$ 11所示，尽管观测信噪比非常高，但是其平均轮廓反而变得极其粗糙，就像布满毛刺。该状态在视觉上表现为“窄而尖”的子脉冲爆发，在物理上有关脉冲的峰值亮度高但持续时间短。研究团队进一步利用平均相位调制指数对毛刺状脉冲爆发频率和强度进行了量化，发现该参数在MJD 59015前后发生了明显地增大，结合MJD 59015前后的观测数据，也发现毛刺状爆发辐射状态已经持续了一年以上，直至该观测周期的末尾还未结束。

【3】同时，观测结果揭示了该磁星自2018年再次爆发以来在自转频率、自转频率变化率、双频流量、谱指数的变化规律（图 2）。研究团队发现，在毛刺状脉冲爆发前，这颗磁星的2.25/8.60 GHz流量变化具有一定的同步性，但是在毛刺状脉冲爆发期间，其双频流量变化的同步性显著减弱。另外，尽管该磁星绝大多数情况下表现为谱指数接近零的平谱辐射，但随着进入毛刺状爆发辐射状态其谱有变陡的趋势，而且谱指数涨落更加明显。这是XTE J1810−197本次爆发后跨越时间最长的谱指数测量结果，描述了这颗磁星谱指数的变化趋势。

【4】此外，我们还估计了标准偶极磁场和扭曲偶极磁场情况下，2.25 GHz和8.60 GHz的信号距离磁星表面的辐射高度。总体上8.60 GHz辐射比2.25 GHz辐射更靠近磁星表面。在标准偶极磁场情况下，其两个频率的辐射高度均会比普通脉冲星高十倍以上。如果该磁星的磁场为扭曲偶极场，两个频率的辐射高度会随着磁场扭曲程度增大而快速下降。

更多细节请见我们的论文(Huang et al., 2023)。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

Duncan R. C., Thompson C., 1992, ApJ, 392, L9

Camilo, F., Ransom, S. M., Halpern, J. P., et al. 2006, Natur, 442, 892

Levin, L., Lyne, A. G., Desvignes, G., et al. 2019, MNRAS, 488, 5251

Camilo, F., Ransom, S. M., Halpern, J. P., et al. 2016, ApJ, 820, 110

Huang, Z.-P., Yan, Z., Shen, Z.-Q., et al. 2023, ApJ, 956, 93

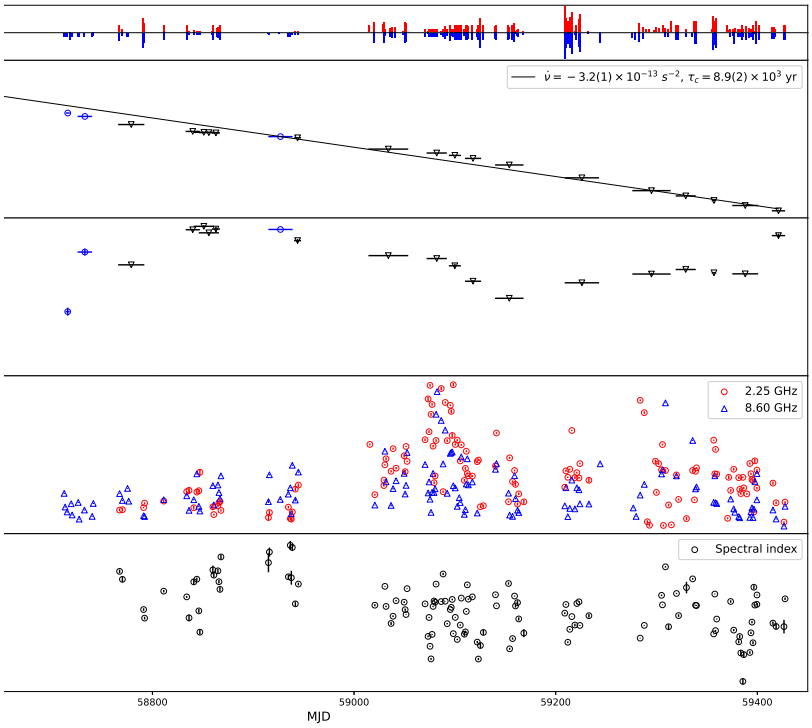


Figure 2: XTE J1810−197观测时长(a)、自转频率(b)及导数(c)、平均流量(d)、谱指数(e)变化图：（b）图表明该磁星自转有长期逐渐变慢趋势；（c）图表明其自转变慢速率并非均匀，但有逐渐均匀的趋势；（d）图反映其2.25和8.60 GHz流量在爆发后快速降低，并在低流量状态保持一段时间后进入剧烈波动期；（e）图为基于双频流量结果得到的其谱指数随时间变化情况，可见其谱指数平均值有变小的趋势，但涨落更明显。

FPS 12 会议感悟

李洪波 (Hong-Bo Li)
北京大学物理学院
100871
Email: lihb2020@stu.pku.edu.cn

不知不觉我已经是第三次参加FPS系列会议了，前两次因为各种原因都没有在会议上作报告，很荣幸在这次会议上介绍了我们组的工作。第一次参加这个会议的时候，什么都听不懂，不知道大家都在做什么，也没有体会到FAST望远镜对脉冲星的重要性。随着自己的学习和理解，逐渐认识到大家都在关注什么问题，也真正明白了FAST望远镜的重要性。近些年FAST望远镜在脉冲星和快速射电暴方面有了突出的成就，是当之无愧的大国重器。通过这次会议，我也从中学习到了很多新的知识，增长了新的见识，能够和与会的学者、老师、同学交流问题，真的是非常开心。

这次会议有一位国内脉冲星界的前辈介绍自己与脉冲星的故事。他们会谈起自己刚刚做科研时候的趣事，也会介绍自己是怎样一步步坚持到今天，特别是在FAST望远镜建造的过程，是多么的不容易。从他们身上能够感受到一种永不放弃的精神以及做科研给自己带来的快乐，等等。希望每次会议都能有这样一位前辈，介绍自己是如何与脉冲星结缘的。榜样的力量是伟大的，促使我不断前进。

理论研究离不开观测验证，新的天文现象也需要理论解释，二者缺一不可。 近些年FAST望远镜在脉冲星和快速射电暴方面有了突出的成就，让我深刻认识到观测的重要性，只有不断的去关注观测，自己的理论研究才不会走到死胡同。 希望每年都能召开FPS系列会议，能够和各位学者、老师、同学交流问题，不断增长自己的见识。

EP观测对致密物质状态的预期限制

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

爱因斯坦探针卫星（Einstein Probe，简称EP）已于2024年1月9日成功发射并正常运行。EP以其高灵敏度探测、高时间分辨率等探测能力，预期将在致密天体的观测做出重要贡献。我们讨论EP对中子星X射线双星的预期观测成果：

（1）发现一批X射线暂现源。EP在探测器标定阶段已发现了多个暂现源爆发现象，验证了其高灵敏探测能力。EP运行阶段，预期发现一大批X射线暂现源，结合多波段（尤其是光学）观测，将确定爆发的物理起源，通过质量的测量，寻找大质量中子星候选体。

（2）I型X射线暴研究。EP的FXT有软X射线能谱和计时探测能力，预期将发现大样本的I型X射线暴。对光球层半径膨胀暴的观测，将测量中子星的质量和半径。高计时精度探测将系统搜索I型X射线暴的暴频，测量中子星自转频率，寻找快速自转中子星。

（3）长时标I型X射线暴观测。长时标I型X射线暴包括：低吸积率中子星低质量X射线双星深层氦大气的不稳定燃烧，又称中等持续暴；以及碳不稳定燃烧，又称超暴。目前的观测，缺乏长暴触发时刻的数据，因此对点火深度、爆发能量限制相当有限。结合WXT高灵敏度和FXT大有效面积，将观测到更多的长暴，有助于认识暴的物理过程，研究中子星壳层附近的性质。

FAST脉冲星数据处理程序包LAPUDA

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

我们在之前编写的专门用于处理FAST脉冲星观测数据的数据处理程序包LAPUDA[1]的基础上进行了相关改进，欢迎大家试用！修改内容如下：

- 软件数据格式LD调整，文件信息按照标准参数分多层进行存储
- 数据权重按照频带权重与时频权重分别保存，使数据与强度单位一致
- 标准轮廓生成程序增加多峰拟合功能
- 增加文件信息与数据展示与文件切片功能
- 增加脉冲星观测数据模拟功能

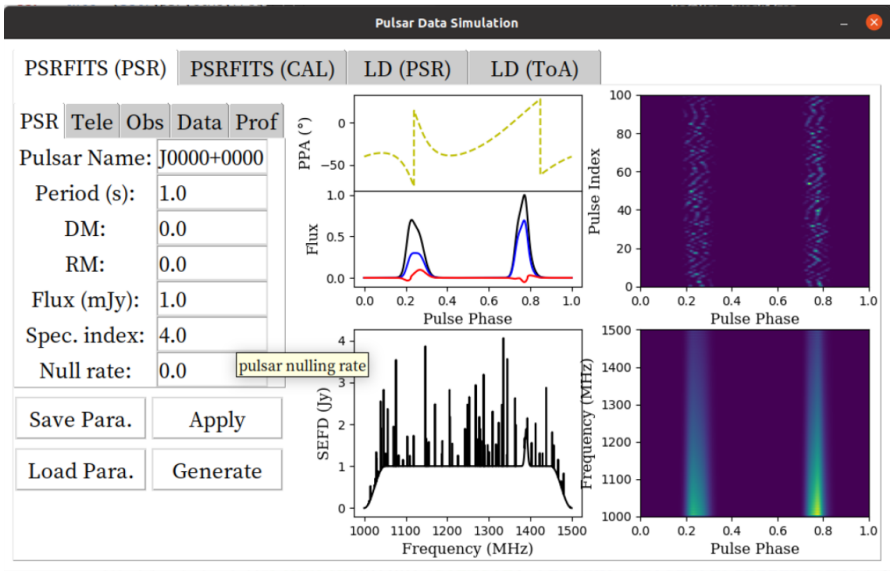


Figure 1: LAPUDA模拟生成脉冲星数据界面.

[1]https://github.com/lujig/lapuda

双中子星系统PSR J1946+2052的相对论性自转轴进动

孟令祺 *(Lingqi Meng)*
中国科学院国家天文台
北京 *100101*
Email: menglinqgi@nao.cas.cn

1974年7月，Hulse和Taylor利用Arecibo望远镜发现了第一个脉冲双星系统，也是双中子星系统，PSR B1913+16。 在此之后的50年里，脉冲双星系统在不断加深着我们对引力理论的理解。 双星系统中的脉冲星在开普勒定律的“约束”下周而复始地做轨道运动，而时空的弯曲会对这类系统产生额外的影响，比如轨道周期的衰减以及轨道的近星点进动。因此在脉冲双星系统中，我们可以测量得到由弯曲时空带来的额外参数—后开普勒参数 (Post-Keplerian parameters)。将测量的结果与引力理论计算得到的结果对比，便可以检验引力理论的正确性。

相对论性自转轴进动是弯曲时空引起的其中一种效应，而自转轴的进动率是可测量的后开普勒参数。 由于自转轴进动，我们的视线会扫过脉冲星辐射锥的不同纬度，因此在观测中，脉冲星的轮廓以及偏振位置角会随时间变化。 我们可以合理假设脉冲星的辐射锥是圆形的空心锥，以此来描述脉冲轮廓的变化。 对于偏振位置角，我们可以在理想的偶极辐射模型下，使用旋转矢量模型（rotating vector model）来描述其演化。

PSR J1946+2052是目前已知轨道周期最短的双中子星系统。其中的脉冲星是一颗毫秒脉冲星，且表面磁场较小。因此我们可以推断，这是该双星系统中先形成的中子星，并经历了再循环的过程。 我们使用FAST对这个系统进行了观测，第一次观测到了该脉冲星的偏振，也第一次观测到了显著的轮廓演化。 我们测量了主脉冲和中间脉冲里两个成分的峰值宽度随时间的演化，并用圆形空心锥的辐射模型进行拟合。结合旋转矢量模型对偏振位置角的拟合，我们得到了PSR J1946+2052的全部几何参数。在这个工作中，我们假设了广义相对论的正确性。 结果表明，脉冲星自转轴与轨道角动量的夹角约为0.22度，印证了该脉冲星经历了再循环的过程。 同时我们还测量得到了广义相对论下的进动率，约为8度每年，也就是45年的进动周期。

后续我们将继续使用FAST对PSR J1946+2052进行持续观测，并期待在未来通过脉冲轮廓及偏振的演化独立测量自转轴进动率，进而检验引力理论。

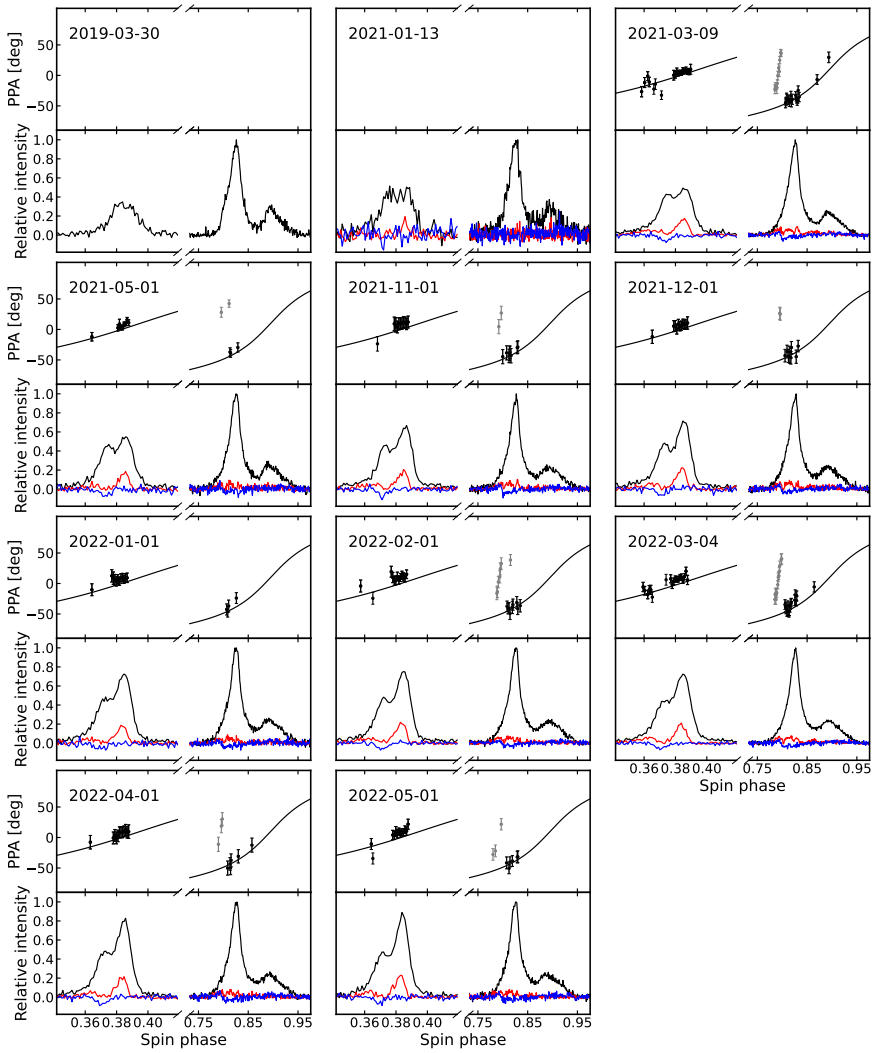


Figure 1: 该图展示了PSR J1946+2052在不同观测时间的积分脉冲轮廓，线偏振及圆偏振轮廓，偏振位置角以及旋转矢量模型对偏振位置角的拟合曲线。

恒星日在射电天文学中的高光时刻

钱磊 *(Lei Qian)*
中国科学院国家天文台
北京 *100101*
Email: lqian@nao.cas.cn

地球自转一周，表观上，远处的恒星绕地球转动一周。中天的恒星在地球自转一周后回到中天的位置。地球自转一周所需的时间因此称为恒星日。类似地，从太阳中天到下一次太阳中天（从午夜到下一个午夜）所需的时间称为太阳日。由于地球绕太阳公转，从太阳中天到下一次中天，地球自转并非正好一周，而是要多转一个角度。简单来说，每过一年，地球自转圈数比天数多1，也就是365天转了366圈，多转了360度。

所以，恒星日比太阳日短一些，大约是3分56秒（365天短大约24小时）。从观测上来看，效应就是，按太阳日定义的时间来看，恒星每天提前3分56秒升起。相比光学天文观测，射电天文观测不直观，而且容易受到地面无线电信号的干扰。如何才能确认我们接收到的信号来自宇宙深处呢？使用恒星日比太阳日短3分56秒这个性质就是一个办法。

现在认为，射电天文学诞生于1931年。卡尔·央斯基在这年探测到了来自银河系中心的射电辐射。央斯基怎么知道他探测到的源不是干扰。因为央斯基的天线是以中星仪的方式工作的，靠地球转动对天空进行扫描，所以源的信号每天都会被他的天线接收到一次。央斯基画出了源过中天时候太阳的位置（或者说源相对于太阳的位置）。经过一年，他发现太阳在天空中绕了一圈。他想到，这就是恒星日比太阳日短3分56秒导致的。这成为了央斯基探测到银河系射电辐射的重要证据。

射电天文诞生后，到第二次世界大战后迎来了快速发展。20世纪60年代产生了射电天文四大发现，其中一个发现就是脉冲星。脉冲星是乔斯林·贝尔发现的。贝尔使用的设备工作方式也是中星仪。所以源的信号每天也会被她的设备接收到一次。贝尔注意到一个信号每天提前大约四分钟出现，这说明这个信号是宇宙深处的信号。据此，贝尔将这个源的信号放大查看，发现了其中有周期性的脉冲。人类由此发现了第一颗脉冲星。

故事还没有结束。从2016年落成后，FAST便开始以中星仪的模式进行调试观测。2017年8月，FAST升级了接收机，系统温度降得非常低，我们意识到脉冲星的发现应该不远了。8月4日记录了第一批数据。依靠潘之辰高效的程序，8月5日我们得到了5000张候选体图。因为在医院无事[1]，我连到服务器看图。托了很多人的福，我在这5000张图中看到了一个信号。我没太当回事，因为信号强得让人觉得这不是颗新的脉冲星。我随手发给潘之辰，结果他兴奋地告诉我，这可能是颗新的脉冲星。我们马上想到在8月6日再对同一纬度进行了扫描，结果再次看到了信号，而且，时间提前了大约八分钟！所以，我们发现了FAST的第一颗脉冲星[2]。我们的工作和前辈相比不值一提，但对于恒星日来说，这是它的另一个高光时刻。

恒星日未来还会有高光时刻么？我相信是的。

[1]因为女儿要出生了，陪爱人做检查。

[2]按照当时的编号，这颗脉冲星被记作C1，C是候选体的英文首字母。由于当时FAST指向难以确定，计时观测的流程也未走通。C1的准确坐标直到当年9月才确定。

银心黑洞与脉冲星

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

2020 年的诺贝尔物理学奖颁发给了 Roger Penrose、Reinhard Genzel、Andrea Ghez 三人。Penrose 的得奖理由是 "*for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity*"；Genzel 和 Ghez 的得奖理由是 "*for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy*"。这些工作都为天文学中的黑洞研究提供了重要的理论和观测证据。

Figure 1: 2020 年诺贝尔物理学奖（来源：www.nobelprize.org）。

Genzel 和 Ghez 的工作主要是使用银心黑洞 Sgr A* 附近的 S 星，通过长期监测这些恒星的轨道，来探测 Sgr A* 的黑洞时空 [1, 2]。这些观测是通过光学等波段的仪器实现的。而大家知道的是，对于这类测距（ranging）实验，来自射电波段的脉冲星测时的精度要更好。这也促使人们去思考如何能够找到并监测 Sgr A* 附近的脉冲星 [3, 4, 5]。由于银心在南天区，Sgr A* 附近脉冲星的搜寻也成为了平方公里阵列（Square Kilometre Array；SKA）的核心科学目标 [6, 7, 8]。

严格来说，银心黑洞附近并不是完全的真空环境，各类恒星、气体等都将影响到脉冲星的轨道。这时候，解析或半解析的计算将难以适用。我们开发了一

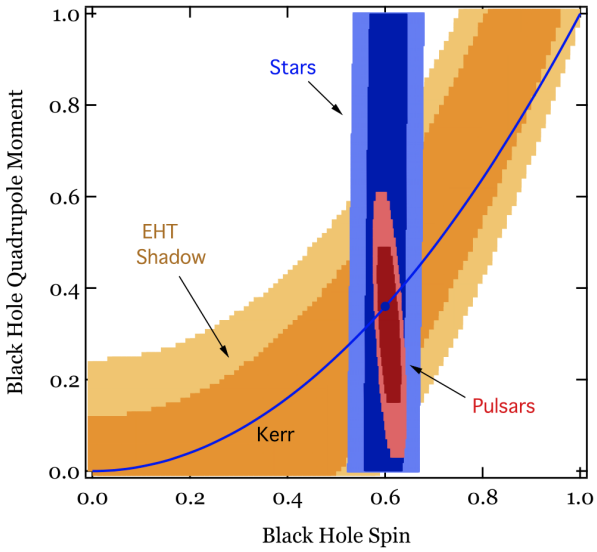


Figure 2: 脉冲星测银心黑洞的自旋、四极矩，以及与 S 星和 EHT 的比较 [5]。

套数值程序，能够用来有效地加入各类微扰 [9]，也能用它来研究修改引力理论等 [10, 11]。这套程序还在进一步的优化中，加入更详细的效应，以期给出更现实的测量。

References

[1] S. Gillessen, F. Eisenhauer, S. Trippe, T. Alexander, R. Genzel, F. Martins and T. Ott, Astrophys. J. **692** (2009), 1075-1109 doi:10.1088/0004-637X/692/2/1075 [arXiv:0810.4674 [astro-ph]].

[2] A. M. Ghez, S. Salim, N. N. Weinberg, J. R. Lu, T. Do, J. K. Dunn, K. Matthews, M. Morris, S. Yelda and E. E. Becklin, *et al.* Astrophys. J. **689** (2008), 1044-1062 doi:10.1086/592738 [arXiv:0808.2870 [astro-ph]].

[3] N. Wex and S. Kopeikin, Astrophys. J. **514** (1999), 388 doi:10.1086/306933 [arXiv:astro-ph/9811052 [astro-ph]].

[4] K. Liu, N. Wex, M. Kramer, J. M. Cordes and T. J. W. Lazio, Astrophys. J. **747** (2012), 1 doi:10.1088/0004-637X/747/1/1 [arXiv:1112.2151 [astro-ph.HE]].

[5] D. Psaltis, N. Wex and M. Kramer, Astrophys. J. **818** (2016) no.2, 121 doi:10.3847/0004-637X/818/2/121 [arXiv:1510.00394 [astro-ph.HE]].

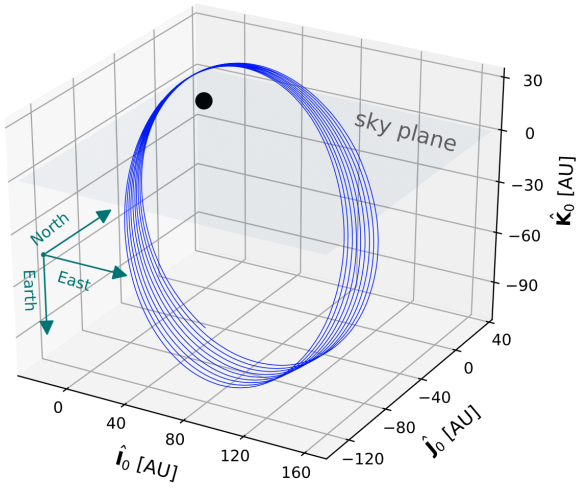


Figure 3: 脉冲星在银心黑洞附近的运动轨迹 [9]。

[6] M. Kramer, D. C. Backer, J. M. Cordes, T. J. W. Lazio, B. W. Stappers and S. Johnston, New Astron. Rev. **48** (2004), 993-1002 doi:10.1016/j.newar.2004.09.020 [arXiv:astro-ph/0409379 [astro-ph]].

[7] L. Shao, I. H. Stairs, J. Antoniadis, A. T. Deller, P. C. C. Freire, J. W. T. Hessels, G. H. Janssen, M. Kramer, J. Kunz and C. Lämmerzahl, *et al.* PoS **AASKA14** (2015), 042 doi:10.22323/1.215.0042 [arXiv:1501.00058 [astro-ph.HE]].

[8] A. Weltman, P. Bull, S. Camera, K. Kelley, H. Padmanabhan, J. Pritchard, A. Raccanelli, S. Riemer-Sørensen, L. Shao and S. Andrianomena, *et al.* Publ. Astron. Soc. Austral. **37** (2020), e002 doi:10.1017/pasa.2019.42 [arXiv:1810.02680 [astro-ph.CO]].

[9] Z. Hu, L. Shao and F. Zhang, Phys. Rev. D **108** (2023) no.12, 123034 doi:10.1103/PhysRevD.108.123034 [arXiv:2312.01889 [astro-ph.HE]].

[10] Y. Dong, L. Shao, Z. Hu, X. Miao and Z. Wang, JCAP **11** (2022), 051 doi:10.1088/1475-7516/2022/11/051 [arXiv:2210.16130 [astro-ph.HE]].

[11] Z. Hu, L. Shao, R. Xu, D. Liang and Z. F. Mai, JCAP (2024) accepted [arXiv:2312.02486 [astro-ph.HE]].

长周期的射电脉冲星

仝号 *(H. Tong)*
广州大学物理与材料科学学院
广州 *510006*
Email: tonghao@gzhu.edu.cn

脉冲星是转动的强磁场的中子星. 在脉冲星的周期-周期导数图上可以清楚的看到各种脉冲星的分类和聚集, 如图1所示. 脉冲星的周期-周期导数图蕴含了丰富的物理. 现代大型射电望远镜(如: FAST, 和未来的SKA等), 如果能够发现新的脉冲星, 它在周期-周期导数图上的位置突破现在的边界, 则这也意味着脉冲星领域的突破. 可能的新的发现包括: (1) 周期更短的脉冲星, 例如亚毫秒的射电脉冲星. (2) 周期更长的射电脉冲星, 这是本次讨论的话题. (3) 周期导数更大的脉冲星(或者说: 更年轻和磁场更强的脉冲星), (4) 周期导数更小的脉冲星(或者说: 更年老和磁场更低的脉冲星). 这四个方向代表了脉冲星周期-周期导数图的四个边界. 未来更多的巡天有可能在“ 四界”都获得突破.

到1999年时, 周期最长的射电脉冲星的周期为$P = 8.5$ s. 这个记录一直保持到2018年, 在那一年人们发现了周期为$P = 23.5$ s的射电脉冲星. 不过这仅是针对射电脉冲星, 在X-射线波段, 在超新星遗迹RCW 103中的中子星, 它的周期可能为6.6个小时(这是当时周期最长的中子星, 现在周期第二长). 以RCW 103的中子星为代表, 我们曾讨论过它有可能是磁星+回落盘系统 (Tong et al. 2016, ApJ). 磁星的强磁场和回落盘同时作用, 造成了中子星的长周期.

在2022年时, 长周期射电脉冲星的研究获得了进一步的突破, 人们发现了周期为$P = 1091$ s的射电脉冲星. 不过目前人们不确定这类长周期的射电脉冲星是中子星还是白矮星. 如果它们是中子星的话, 则它们可能也是磁星+回落盘的系统 (Tong 2023, ApJ). 2022年的后半年, 人们又发现了第二颗周期也为1000多秒的射电脉冲星. 此外人们也发现了周期为$P = 76$ s的射电脉冲星, FAST GPPS巡天也发现了一些周期比较长的射电脉冲星(10秒左右). 我们进一步对此进行了分析(Tong 2023, RAA): 我们指出周期为76 s和以下的脉冲星和通常脉冲星具有类似的性质, 它们可以 简单的理解为通常脉冲星的长周期尾巴. 而周期为1000多秒的长周期射电脉冲星, 则不能这么认为, 它们的性质和通常脉冲星很不同. 它们有可能是磁星+ 回落盘系统, 或者是白矮星. 需要更多的研究来认清它们的物理本质. 未来的长周期射电脉冲星领域, 物理本质上有可能是磁星和白矮星相互竞争.

(上文中提及的一些结果, 更多文献请翻阅Tong 2023, ApJ & RAA, 特别是那里的introduction部分.)

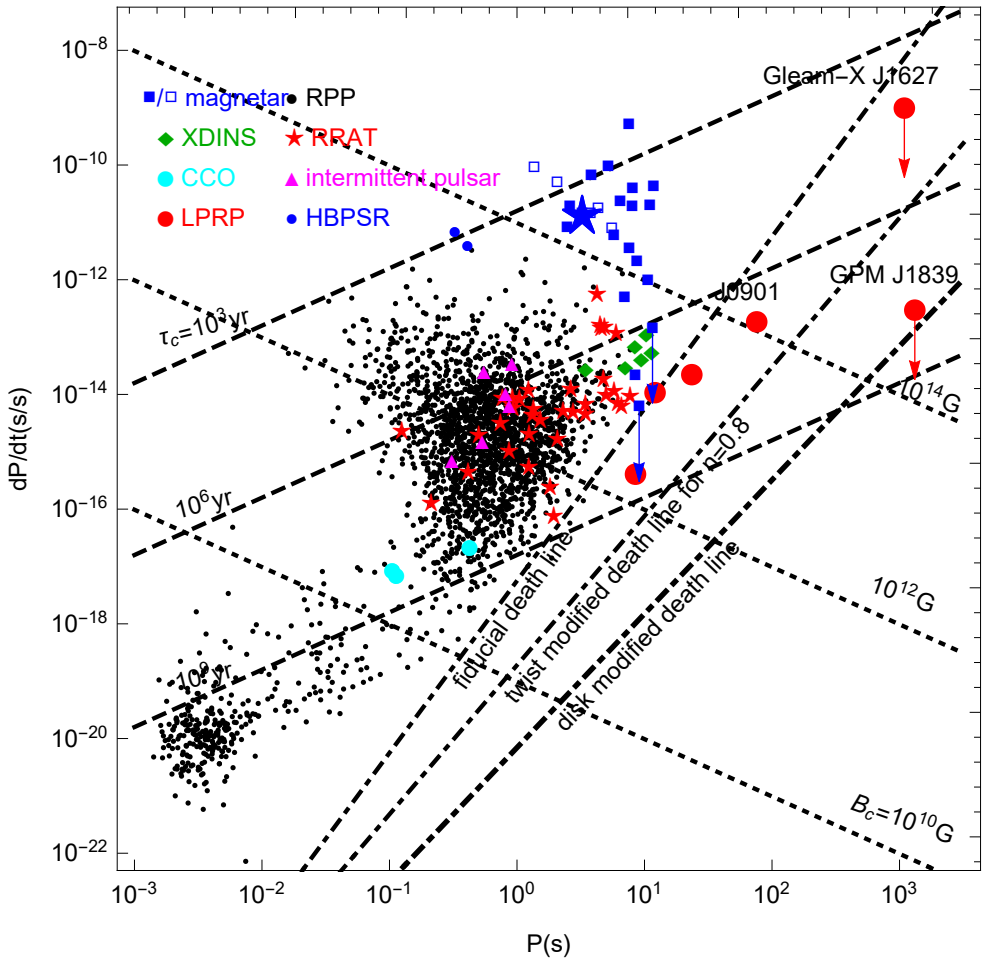


Figure 1: 各种脉冲星类天体在周期和周期导数图上的分布. 长周期的射电脉冲星(红色的圆点)和脉冲星可能的“death line”予以专门标出 (Tong 2023, RAA, 23, 125018, 图1).

Implications of FRBs' narrow band emission

Weiyang Wang
School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049
Email: wywang@ucas.ac.cn

We consider whether an intrinsic mechanism of FRB by invoking quake-induced Alfvén wave can produce a narrow spectrum. An Alfvén wave packet can be launched from the stellar surface during a sudden crustal motion and starquake. It might be a perturbation of the electric field on charged bunches, which move along curved trajectories. In the lab frame, the perturbation has $\omega_a = \Omega\gamma^2/\gamma_{\rm A}^2$ due to the Doppler effect, where $\gamma_{\rm A} = \sqrt{1 + B^2/(4\pi\rho_m c^2)}$. ω_a is much smaller than $10^8\Omega_4\gamma_2^2$ Hz because of the strong magnetic field and low mass density in the magnetosphere. Monochromatic Alfvén waves as the perturbations do not generate the narrow-band spectrum from 100 MHz to 10 GHz. The spectral spike would appear at the observation bands when the perturbations are global oscillations, meaning that all positions in the magnetosphere oscillate simultaneously with Ω rather than a local Alfvén wave packet. The observed narrow spectrum of FRB may be attributed to quasi-periodical distributed bunches or some absorption effects. A detailed and developed work will be presented in the next FPS meeting.

关于脉冲星辐射几何及其极冠区辐射机制的代码研究

王一丁、童雅菲*(Yiding Wang, Yafei Tong)*
北京大学物理学院
Email: 2100011607@stu.pku.edu.cn

自Landau在20世纪30年代基于Fermi-Dirac统计提出“中子星”，及至1967年Bell及其导师Hewish发现脉冲星CP1919，关于脉冲星这一极端天体物理现象及其辐射机制就一直备受瞩目。对于脉冲星辐射几何，Radhakrishnan和Cooke的RVM模型是偏振定标的重要方法；其简单的模型方法和揭示的物理逻辑也显示了辐射几何研究中，“可视化”的图像对于揭示物理机制的重要作用。

而关于辐射机制，Ruderman和Sutherland在1974年提出的RS模型有着重要的地位。其中的极冠区(Polar Cap)概念精准地描述了脉冲星辐射的几何表现，极冠区的大小、形态以及极冠区内粒子出射高度、到达相位等物理量，将脉冲星辐射机制很好地和我们的观测实践对应上。

2004年，乔国俊(G.J.Qiao)和李柯伽(K.J.Lee)将极冠区辐射区域用程序绘图方式展现(ApJ,2004 May 1)，使得脉冲星辐射几何的模型理解更加可视化。随着FAST建成，越来越多的脉冲星被发现，对其辐射几何的研究作为脉冲星相关研究的重要组成部分，需要一款行之有效的处理工具，来帮助相关领域研究者准确、快捷地处理脉冲星几何图像，获取其辐射几何包含的物理信息。

出于这一考虑，作者团队尝试开发了一个代码程序，用来对于已经得到相关参数(周期、倾角)等的脉冲星，绘制其极冠区图像，并可视化地显示粒子辐射相位、发射高度、辐射发生位置等关键信息。近年来，关于脉冲星的星震(quake)和长山现象及其对应的辐射几何表现受到关注；因为这些现象将可能直接改变脉冲星辐射相位，将其与一般的“极冠区对准视线时收到脉冲”地理念相区别。事实上，这种辐射几何现象确实在PSR0950+08中发现了(arXiv:2308.07691)，或许将会揭示一些更深层次的物理机制；这也证明了这一处理方法和对应程序开发的重要性。

因此我们在这里报告相关程序代码开发的进程：程序已经基本开发完毕并能完成极冠区绘制、高度相位信息绘制、脉冲发生位置标点等基本功能。我们会在将该程序进行进一步优化和整合后，将其发布，作为一个可获取的工具，来方便脉冲星辐射几何研究领域的同仁使用。

Polarization emission orientation for PSR B0950+08

Zhengli Wang
Guangxi University
Nanning 530004
Email: 2107301139@st.gxu.edu.cn

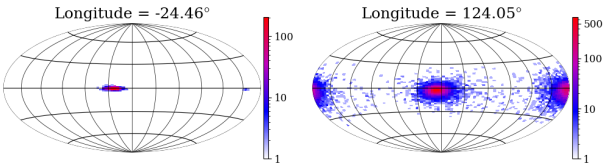
To unravel the radiation in the pulsar magnetosphere of PSR B0950+05, we study the polarization emission behaviors of individual pulses of this pulsar. As Figure 1 shows, from the left to right subpanels of the Figure depict the polarization emission state over different emission regions. There are different orthogonal polarization modes (OPMs) that respectively dominate the polarization emission orientation of the interpulse and main pulse (subpanel(a)). It is, however, worth noticing that the polarization emission state in the interpulse is mainly contributed by one type of OPMs, another mode with an ambiguous PPAs patch indicates an extremely weak contribution to the radiation in the pulsar magnetosphere. On the contrary, the polarization emission state in the main pulse exhibits two significant PPAs patches. This polarization feature means that the emission consists of two roughly equal contributions from two modes simultaneously.

The polarization emission state of the precursor component of the main pulse (90.97° and 100.12°) is also analyzed to reveal the polarization emission in the magnetosphere. The PPAs patches of the pulse longitude 90.97° show two distribution properties, while that of the pulse longitude 100.12° exhibits a line along the equator of the Poincaré sphere. Both polarization emission behaviors indicate that one polarization mode can not describe these phenomena. Moreover, the polarization emission orientation of the pulse longitude 100.12° becomes more complicated than other pulse longitudes, implying more modes of contributions to the radiation in the magnetosphere.

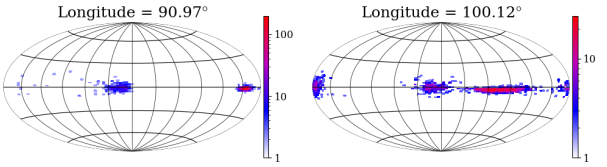
The polarization emission state of the postcursor of the main pulse is not like that of the precursor, showing two modes of contributions. As subpanel (c) shows, the distribution of the single pulse's PPAs exhibits two patches. However, the distribution property of the pulse longitude 136.72° implies that only one mode dominates the polarization emission in the magnetosphere, for the precursor's case. This polarization behavior is similar to that of the interpulse.

References

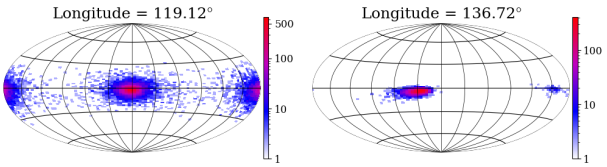
[1] Wang, Z., Lu, J., Jiang, J., et al. 2022, MNRAS, 517, 5560.
[2] Wang, Z., Lu, J., Jiang, J. et al. 2024, ApJ, 963,65.
[3] Wang, Z., Lu, J., Jiang, J.,et al. 2024, Astron.Nachr.,e20240010.



(a)



(b)



(c)

Figure 1: Distribution of polarization emission state on a Poincaré sphere projected using the Hammer equal area projection. Only emissions with the polarization position angle (PPA) error bars less than 5° for each single pulse were included: (a) the interpulse (left) and main pulse (right); (b) the precursor of the main pulse; (c) the main pulse region (left) and the postcursor of the main pulse (right). The latitudes represent great circular of constant χ separated by 30° with pure linear polarization being the equator. The north and south poles correspond to pure circular polarization with positive and negative Stokes V, respectively. The pulse number is indicated by the colour bar. The PPAs patches in the ±180° represent the same polarization mode.

宇宙早期QCD相变：从夸克到奇子团块和核子

武旭浩 *(Xuhao Wu)*
燕山大学理学院
秦皇岛 *066004*
Email: wuhaoysu@ysu.edu.cn

我们研究了早期宇宙中发生的连续QCD相变，并探讨了在这一过程中稳定奇子团块的可能形成。 为了分析涉及u, d, s夸克的QCD相的热力学特性，我们采用了Polyakov-Nambu-Jona-Lasinio模型描述夸克物质，采用相对论平均场模型描述核子物质。 我们考虑奇子参与夸克-核子相变过程。 从夸克到奇子团块的连续相变发生在宇宙温度约为$T \sim 170$ MeV时， 在这个过程中，夸克构成奇子，奇子聚成团块，核子通过奇子团块的表面蒸发粒子衰变产生，较大的奇子团块在连续QCD相变后可能保存下来，夸克相和奇子团块- 核子相通过函数插值联系起来。 定义奇子团块中重子数$A > A_c$的为稳定团块，能够留存至今，其中临界重子数A_c由弱相互作用和强相互作用共同决定。 由于稳定奇子团块的重子数很大，我们将奇子团块视为无相互作用的玻尔兹曼粒子，结果稳定的奇子团块对QCD相变之后的核子物质整体热力学的贡献可以忽略不计，符合暗物质的特征。 此外，奇子团块的质量相对于重子物质的比例约为0.85/0.15，这支持了它们作为暗物质候选体的潜力。

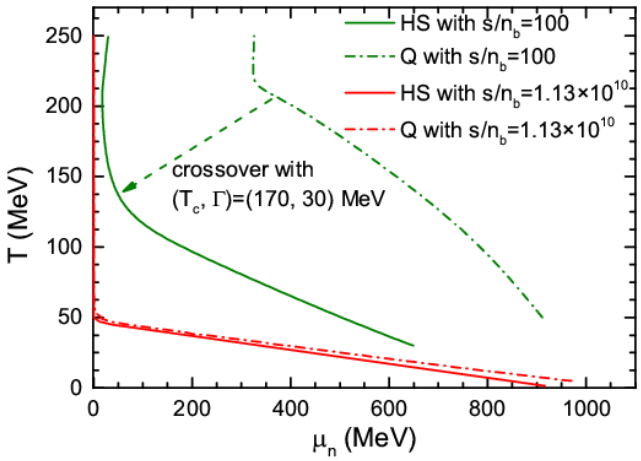


Figure 1: 包含奇子团块的QCD相图。虚线和实线分别代表夸克相和奇子团块-核子相的演化轨迹。s/n_b表示每重子熵。当$s/n_b = 1.13 \times 10^{10}$时，两个相之间的差异在这个图中很小，难以区分。虚线箭头用于指示当 $s/n_b = 100$时的连续相变过程。

核物质状态方程研究进展

夏铖君 *(Cheng-Jun Xia)*
扬州大学物理科学与技术学院引力与宇宙学中心
扬州 *225009*
Email: cjxia@yzu.edu.cn

核子之间的强相互作用类似于分子间的范德瓦尔斯(van der Waals)力，具有短程排斥和长程吸引的特征。类似于范德瓦尔斯方程，核物质也存在液态和气态两种物态，在不同的温度和密度下会相互转换，发生液气相变。通过研究由几乎相同数量质子和中子构成的核物质小液滴即原子核，人们对饱和密度$\rho_0 \approx 0.16$ fm^{-3}附近的核物质性质有了一些了解，但是对密度$\rho \gtrsim 2\rho_0$的情形却难以给出确切的结论。另一方面，脉冲星的质量约为太阳的1-2倍，半径却只有10公里左右，因此其平均密度达到2-4ρ_0左右。若脉冲星就是由核物质构成的传统中子星，在引力的作用下，中子星物质的密度从表面到中心可以跨越十几个数量级，最高甚至能够达到$\sim 10\rho_0$。 由于核物质的液-气相变，在亚饱和密度下会出现各种非均匀的混合相，其具体结构和性质仍存在较大不确定性。因此，有必要在统一的模型框架下对核物质的性质进行系统研究，并通过各种观测来约束模型参数。

采用相对论平均场（RMF）模型，我们就可以描述原子核性质并对各种密度下的核物质进行研究。通过拟合原子核结构及性质，人们得到了一系列RMF模型参数组（或能量密度泛函）。应用NL3、 PK1、 TM1、 GM1、 MTVTC、 DD-LZ1、 DDME-X、 PKDD、 DD-ME2及TW99这10组不同的模型参数，在满足β-平衡条件、电中性条件以及重子数守恒条件的情形下，我们计算得到了各个密度下中子星物质的性质，其中包含质子(p)、中子(n)、电子(e)和缪子(μ)。需要指出的是，在计算壳层物质的结构和性质时由于质子、中子和电子密度分布不均匀，需要假定维格纳-赛兹(Wigner-Seitz)原胞满足几何对称性，而其中的粒子数满足整体电中性条件以及重子数守恒条件，在此基础之上采用托马斯-费米(Thomas-Fermi)近似进行具体的计算。

图 1 左展示了相对论平均场模型预言的中子星物质状态方程（压强P-能量密度E），其中采用了10组不同的RMF模型参数。在密度$\rho \lesssim 10^{-4}$ fm^{-3}（能量密度$E \lesssim 0.1$ MeV fm^{-3}）时，压强P 主要来自于电子简并压，此时不同模型预言的中子星物质状态方程通常彼此一致。随着密度增加（$\rho \gtrsim 10^{-4}$ fm^{-3}），中子的化学势逐渐超过其质量（$\mu_n > m_n$），导致中子滴出形成中子气体并与液态核物质形成各种非均匀的液气混合物质。由图 1 左可知，中子星物质的状态方程对采用的RMF模型参数非常敏感，理论预言的不确定度在$E \approx 20$ MeV fm^{-3} ($\rho \approx 0.02$ fm^{-3})处达到峰值，此时状态方程的误差预计会影响中子星的半径和壳层厚度。在0.1 fm$^{-3} \lesssim \rho \lesssim 0.3$ fm^{-3}（100 MeV fm^{-3} $E \gtrsim 300$ MeV fm^{-3}），不同模型预言的中子星物质状态方程基本一致。若进一步增加密度，状态方程的不确定度急剧增加，主要是由于核物质对称能斜率、曲率参数以及对称核物质的压缩系数、偏斜

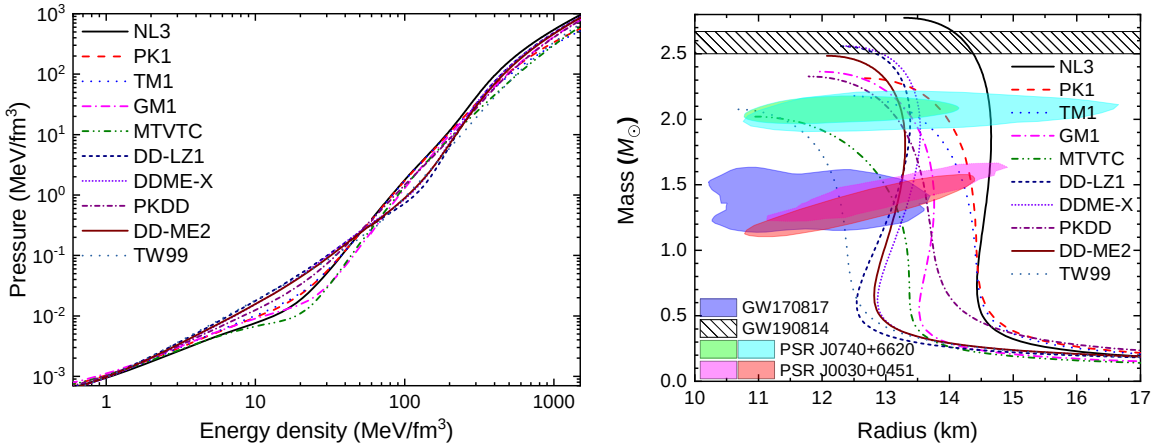


Figure 1: 左图：相对论平均场模型预言的中子星物质状态方程，其中采用了10组不同的RMF模型参数。 右图：基于左图状态方程计算得到的中子星质量-半径关系。图中阴影部分对应于双中子星并合事件GW170817（90% 置信区间）、PSR J0030+0451和 PSR J0740+6620脉冲轮廓对中子星质量半径的约束（68% 置信区间）。

（skewness ）系数等存在较大不确定性。值得一提的是，高密情况下状态方程的软硬决定了中子星最大质量能否达到2倍太阳质量。

基于图 1 左所示的中子星物质状态方程，通过求解TOV方程即可得到中子星的质量、半径及其内部结构。图 1 右给出了这些中子星物态模型所预言的质量-半径（M-R）关系，其中阴影区域对应于最新的中子星观测结果。可见本文所考虑的10组中子星状态方程都预言了2倍太阳质量的中子星，与中子星质量的观测相符。对于对称能斜率较大的物态模型，我们发现其预言的中子星半径随对称能斜率的增加而增大，其对应的潮汐形变也有类似关联。结合理论预言及观测数据，进一步应用贝叶斯模型选择，我们发现物态模型NL3、PK1、TM1和GM1相对于DD2的贝叶斯因子$\log_{10}(B^i_{\rm DD2}) \leq -2$，被观测数据所排除。而物态模型TW99、DD-LZ1、 DD-ME2、 DDME-X和PKDD的贝叶斯因子$\log_{10}(B^i_{\rm DD2}) > -1/2$，符合当前的中子星观测。

中国脉冲星测时阵列测量纳赫兹引力波进展

胥恒 *(Heng Xu)*
中国科学院国家天文台
北京 *100871*
Email: hengxu@bao.ac.cn

引力波是一百多年前爱因斯坦广义相对论的预言，其幅度非常微弱，探测极为困难，但却是除电磁波观测之外观测宇宙的重要窗口。人类探测引力波经历了一个漫长的过程，终于在2015年由LIGO首次探测到百赫兹频段的由恒星级双黑洞合并产出的高频引力波，这也开启了引力波天文学时代。

引力波的频率覆盖非常宽，不同波段的引力波的物理来源也不相同。纳赫兹频段的引力波的主要来源是星系中心的超大质量双黑洞，和宇宙早期各种物理过程等，人们长期以来迫切希望探测到纳赫兹引力波，并研究其背后的物理。现已知的唯一直接探测纳赫兹引力波的方式是利用地面大型射电望远镜长期监测多颗毫秒脉冲星组成脉冲星测时阵列（Pulsar Timing Array，PTA）。国际上欧洲、澳洲和北美三个地区形成了自己的PTA合作组，开展了数十年的观测，而近年来由于我国FAST建成投入使用，我国也成立了中国脉冲星测时阵列（CPTA）。在2023年6月，包括CPTA在内的国际4个团队同期宣布了对纳赫兹引力波的探测结果[1, 2, 3, 4]。

我们此次对引力波的探测研究使用了57颗毫秒脉冲星的FAST观测数据，最大的数据跨度为3.4年，数据的测时精细系统性的达到了100至200纳秒。我们使用该数据，假设纳赫兹引力波随机背景具有幂律谱特征，对其谱指数α和特征强度$A_{\rm c}$（参考频率为1/year）在贝叶斯分析框架内进行了测量，结果如图1所示。可以看出，我们对谱指数的限制非常差，这是由于我们CPTA的数据较短，但是由于CPTA数据精度非常高，所以对特征强度还有一定程度的限制。

我们还对纳赫兹引力波最重要的证据–Helling-Downs（HD）曲线进行了探测。由于我们对谱指数的限制较差，我们没有在引力波背景具有幂律谱的假设下进行HD曲线的探测，而是在分离的频率范围内去测量HD相关曲线，测量结果展示在图2中。我们在最低频率$f = 1/T = 9.34\,\mathrm{nHz}$（其中$T$是最大数据长度）的1.5倍频即14 nHz，对HD曲线的探测置信度达到了4.6σ。

由于在引力波信号在低信噪比时，其探测置信度会随着观测数据跨度增加而迅速增加，可以预期的是，在接下来的几年，CPTA对引力波的研究会取得较大进展。

References

[1] Agazie, G., Anumarlapudi, A., Archibald, A. M., et al. 2023, ApJL, 951, L8.
[2] EPTA Collaboration, InPTA Collaboration, Antoniadis, J., et al. 2023, A&A, 678, A50.
[3] Reardon, D. J., Zic, A., Shannon, R. M., et al. 2023, ApJL, 951, L6.
[4] Xu, H., Chen, S., Guo, Y., et al. 2023, RAA, 23, 075024.

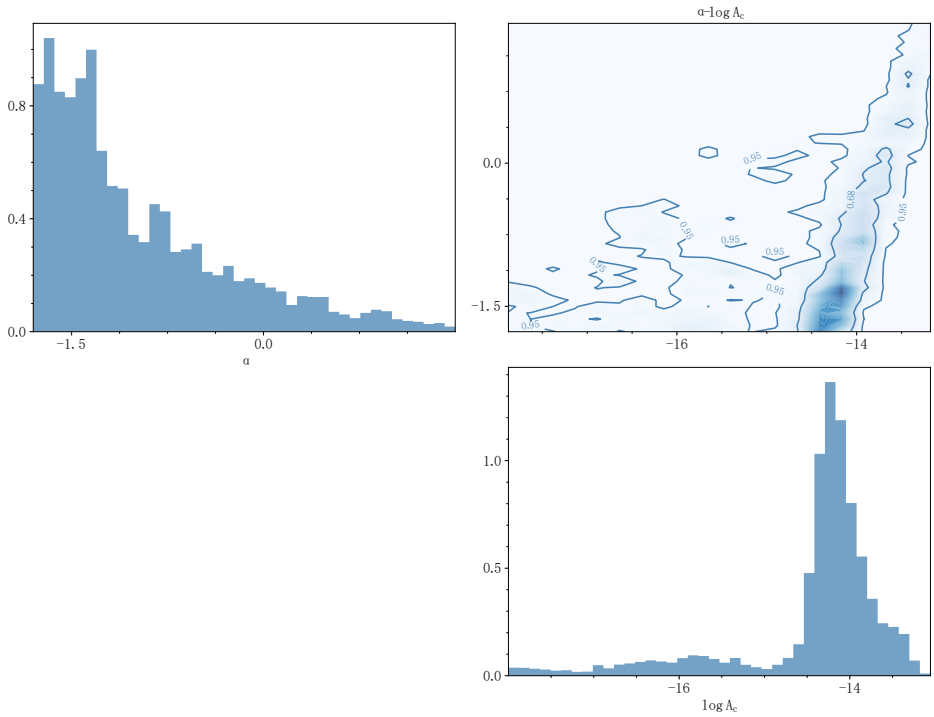


Figure 1: 使用CPTA数据对纳赫兹引力波随机背景谱的参数的限制。左上：谱指数的后验分布；右上：谱指数和特征强度的2维后验概率分布；右下：特征强度的后验概率分布。图源[4]。

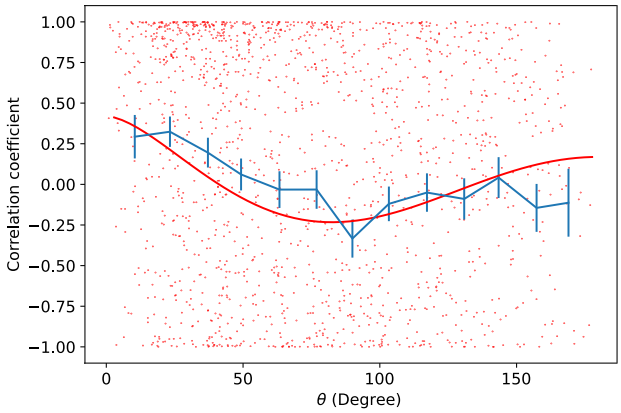


Figure 2: 使用CPTA数据在频率为14 nHz附近对纳赫兹引力波随机背景的特征四极空间相关曲线的探测结果。红色的点为没一对脉冲星之间的相关系数，蓝色的带误差帮的点线是对红色的点的平均，红色的曲线代表理论的HD曲线。图源[4]。

"Occam's razor": 用一个自然的假设解决所有问题

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

量子论与狭义相对论的结合诞生了量子场论，其蓬勃发展最终成就这座"里程碑"：粒子物理标准模型。 今后是广义相对论与标准模型充分融合以探究弯曲时空中极端物态的时代，涉及早期宇宙、致密天体、引力波等等。 这里谈跟FPS相关的致密星，它是量子论与相对论的结晶(arXiv:2212.10887，后面引用省略"arXiv:")。

一般统称白矮星、中子星和黑洞为致密星，但仅后两者涉及强引力场。鉴于黑洞以时空奇点为主体，故狭义的致密星往往就指中子星。 不过，中子星本质上是中性星，是早年探究Feimi-Dirac新统计时诞生的概念。 如今从标准模型看来，无论是原子核还是Landau的巨核(gigantic nucleus)，都是非微扰QCD系统(为"世纪奖金问题"关注)；完全指望第一性原理计算来澄清致密星物态与结构是不现实的。

二十年前撰文论述脉冲星可能是奇子星(astro-ph/0302165，也请参阅FPS7文集第28页)，其若干观测后果按时序编列如下(不全)： *a*, 奇异行星(astro-ph/0212103)； *b*, 自转跃变(astro-ph/0404554)； *c*, 小质量致密星(astro-ph/0402659)； *d*, 长山与引力波(astro-ph/0511612)； *e*, 存储巨大的自由能(astro-ph/0607106)； *f*, 亚毫秒脉冲星(astro-ph/0605028)； *g*, 光子驱动的超新星爆发(astro-ph/0605285)； *h*, 物态硬(0905.2839)； *i*, 磁化电子气的震荡模式与吸收线(1110.1226)； *j*, 较低的潮汐形变(1710.04964)； *k*, 奇子暗物质与宇宙线(1904.11153)； *l*, 表面"痘痘"对脉冲星相干辐射的影响(2312.05510)。 读者可以查阅文献体会哪些点是"预言"而非仅"解释"，例如：是在发现大质量脉冲星前强调"*h*"的；"*e*"在当下讨论FRB触发与释能这一热点话题时有意义；我今年FPS会议上以"*l*"话题汇报并期望借助FAST找证据。

若脉冲星果真是奇子星，后果将很严重！ 众所周知，日常电凝聚态物质的质量可轻可重：轻如PM2.5浮尘、重如地球或白矮星。 强凝聚态物质也会可轻可重吗？ 我们确认的强凝聚态物质品种为原子核，目前看来重子数A量级在10^0-10^2之间。 Landau推测的巨核是中子化的，其极端的味非对称导致壳层的存在和最低质量$\sim 0.1M_\odot$，或$A\sim(10^{56}-10^{57})$。 若巨核为奇子物质，它跟原子核类似也是味对称的，只是以"**3**味"替代"**2**味"。 故稳定存在奇子物质的质量分布会更广，$A\sim(A_{\rm c}-10^{57})$；其中临界重子数$A_{\rm c}$用以评判是否为巨核，它由强作用和弱作用共同决定。我们推测$A_{\rm c}\sim(10^5-10^9)$，但其微观物理基础有待深入研究。

类似于黑洞，奇子物质宽广的质量谱也展现丰富的天体物理表现：奇子暗物质和奇子宇宙线。 比如$A\sim10^{30}$的奇子物质重约一吨但大小仅10 微米量级；若在宇宙原初核合成之前大量形成，作为标准模型框架内的暗物质候选体是有竞争力的。奇子团块暗物质可能会加热气体并助长种子黑洞的形成(0911.4777)。 检测这类奇子团块以速度$\sim$ 220km/s穿过而激发出来的月震是值得鼓励的。 奇子星双星并合时可能产生$A\sim10^{10}$、~0.1倍光速的奇子团块，或许贡献一定比例的极高能宇宙线。

转动减慢的奇子星及其在短伽马暴X射线余辉当中的应用

杨细艳 (Xiyan Yang)
长江大学
荆州 434023
Email: yangxiyan.st@yangtzeu.edu.cn

脉冲星类致密天体诞生于超新星爆炸。不同的研究者从不同的角度出发推测了多种中子星结构模型，包含了传统中子星、夸克星和奇子星。夸克星由夸克物质组成，而奇子星的构成单元是类似强子的奇子。我们侧重于讨论奇子星，选择Lennard-Jones 模型来描述奇子星的物态方程，它将奇子间的相互作用类比作惰性气体分子间的相互作用，很好地描述了奇子间短程排斥和长程吸引的这一特点。为了与奇子星比较，中子星物态选择了目前未被观测到的大质量脉冲星和潮汐形变排除的AP4。

在广义相对框架下处理任意角速度的星体是非常复杂的问题。1967 年，Hartle和Thorne[1] 提出了一种用于计算缓慢旋转的相对论性星体的微扰方法。这种方法利用不同Ω 阶的微扰项满足的微分方程和边界条件来计算物理量。利用微扰近似和给定的物态方程，我们画了奇子星和中子星在静态和旋转时的质量半径关系(如图1)。 在重子质量不变的情况下，奇子星的最大质量值M_{max} 比M_{TOV} 增加大约9%，而中子星只增加大约5%，奇子星的M_{max} 增加的更加明显。

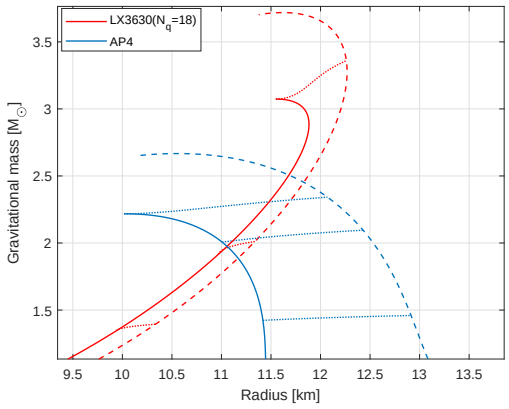


Figure 1: 引力质量与半径之间的关系[2]。实线表示静止时引力质量M 与半径R的关系；虚线是角速度取$\Omega_c = \sqrt{GM/R^2}$ 时，旋转星体的质量半径关系；点线表示M_b 取相同重子质量时星体的演化，从上到下$M_b = M^{stable}_{b,max}$，$2.4M_\odot$，$1.6M_\odot$。

Table 1: 我们的最佳拟合结果(左)和Stratta等人拟合结果(右) [2]。

SGRB	$B_p(10^{14}\,\mathrm{G})$	$\epsilon(10^{-4})$	n_g	$X^2/d.o.f.$	$B_p(10^{14}\,\mathrm{G})$	$X^2/d.o.f.$
051221A	$2.32^{+0.52}_{-0.85}$	$2.81^{+0.81}_{-1.03}$	0.020 ± 0.001	1.0500	104 ± 9	1.3213
060614	$2.56^{+0.04}_{-0.04}$	$0.21^{+0.14}_{-0.08}$	0.008 ± 0.0001	1.9353	156 ± 5	1.0821
061201	$15.02^{+0.81}_{-1.11}$	$6.58^{+5.00}_{-4.29}$	0.015 ± 0.001	1.2920	206 ± 15	1.2417
070714B	$25.95^{+1.42}_{-1.28}$	$5.03^{+5.65}_{-3.45}$	0.042 ± 0.002	2.2565	369 ± 40	1.9500
070809	$3.21^{+1.21}_{-2.08}$	$3.55^{+1.18}_{-2.17}$	0.004 ± 0.001	1.1923	58 ± 11	1.2615
090510	$30.30^{+0.71}_{-0.69}$	$3.06^{+3.14}_{-2.09}$	0.241 ± 0.006	1.8863	116 ± 5	1.1914

恒定重子质量的星体在转动减慢时，星体半径在逐渐减小，同时不断向外释放引力能。与计算相同重子质量星体在不同转动角速度时的引力质量的步骤一样，可计算出星体转动减慢时引力能与转动角速度的关系。假设转动能损全转换为电磁辐射和引力波辐射，我们可得到引力能光度$L_{grav} = \dot{E}_{grav}$。考虑到并非所有引力能都能转换成观测到的$X$射线光度$L_X$，所以引入$\eta_g$用于表示引力能光度转换成观测到的$X$射线光度的转换效率。Stratta et al. 2018 [3]基于平台辐射来源于转动减慢的毫秒磁星这一假设，拟合了伽马暴的余辉。为了检验释放的引力能是否能为短伽马暴的余辉提供足够的能量注入，我们假设双奇子星并合后星体的初始质量为$2.5M_{\odot}$，然后从Stratta 等人使用的伽马暴中选择了6 个已知红移、平台较明显的短伽马暴，运用Markov Chain Monte Carlo(MCMC)拟合B_p、ϵ 以及η_g 三个参数，并计算对应的$X^2/d.o.f$。

基于$L_X = \eta_g L_{grav}$，拟合的结果如表1所示，拟合的X射线光变曲线$(1 - 10^4\,\mathrm{keV})$如图2所示，我们发现奇子星转动减慢时释放的引力能能够为短伽马暴的余辉提供足够的能量注入，可以用于解释X射线余辉的平台辐射。短伽马暴的拟合结果显示，我们拟合出来的偶极磁场强度和椭圆率在合理的区间范围内。

References

[1] Hartle, J. B. 1967, ApJ, 150, 1005

[2] Yang X. Y., Lai X. Y., Tian W. W., Xu R. X., Rotating massive strangeon stars and X-ray plateau of short GRBs, submitted to RAA

[3] Stratta, G., Dainotti, M. G., Dall' Osso, S., Hernandez, X., & De Cesare, G. 2018, ApJ, 869, 155

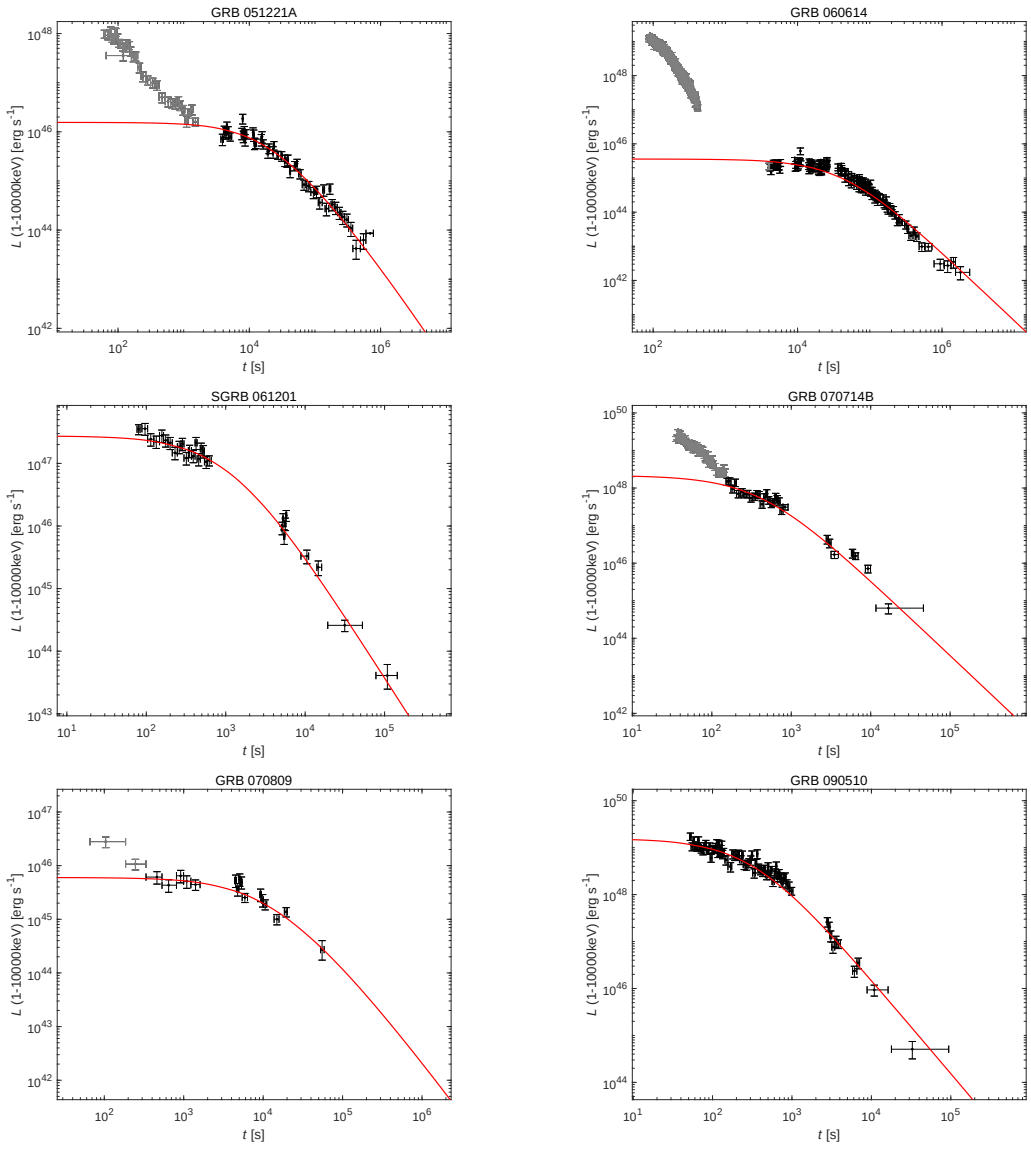


Figure 2: 伽马暴的X射线余辉的拟合[2]，红色的线表示奇子星模型下最佳拟合的线，黑色点是拟合的数据点。

《中子星物理导论》及其使用介绍

俞云伟 *(Yun-Wei Yu)*
华中师范大学天体物理研究所
武汉 *430079*
Email: yuyw@ccnu.edu.cn

《中子星物理导论》一书于2022年底由科学出版社出版。这是一本主要面向天文学和物理学等相关专业高年级本科生及研究生的教材，旨在阐述中子星相关概念的由来和发展、全景式地展示中子星模型的基本框架。 全书包括一个绪论和十章内容，其中前三章介绍物态、结构以及热演化等中子星的基本物理属性，第四、五章阐述了脉冲星观测的主要结果和中子星产生电磁辐射的理论基础，最后第六到第十章则扩展性地介绍了中子星星风、中子星双星、磁陀星、引力波以及超新星爆发等相关内容。书中内容的撰写特别注重与本科基础物理知识的衔接，尽量避免过于艰深复杂的计算，同时适当介绍了与理论相关的中子星观测表现，使之形象化具体化，但不追求对全部观测结果的详尽描述。

该书是在我从事近二十年天体物理研究工作[1]并在华中师范大学面向天文学专业研究生和物理学专业本科生开设中子星相关课程[2]的经历和经验基础上形成的。 对于爱好物理的学生而言，他们在学习天文学相关知识的时候一般都不太会满足于仅仅对天文现象的表面了解，而常常希望弄清楚现象背后的物理原理。从这个角度来说，中子星研究既涉及到物质的最深层次结构、广义相对论的时空观以及极端电磁场环境等物理学最前沿知识，又在很多方面与本科所学物理理论存在紧密联系。具体举例来说，统计物理是我们描述中子星物态和热力学属性的基本手段，而对脉冲星辐射机制的描述则完全属于电动力学的范畴。同时，中子星相关的天文现象还常常涉及双星演化、物质吸积、爆发和激波作用等多种基本天体物理过程。因此，这是一个非常适合天文学研究生和物理学本科生的授课主题，既有助于他们更好地体会和巩固所学物理知识的内涵和价值，也方便他们较为顺利地切入到天体物理研究领域。《中子星物理导论》一书的章节也正是基于这样的考虑来安排的。

在具体的教学工作中，我所采用的教学体系首先是以人们认识中子星这一概念的自然逻辑为主线，通过回答五个层次递进的问题来展开，可供使用本书教学的同仁参考。具体有：

1. **什么是中子星？**以恒星演化末期的核心塌缩为切入点，在简单介绍白矮星的基础上提出中子星的理论设想，探讨在核饱和密度之上可能的物质组分。据此指出物质组分对密度的强烈依赖，顺带讲解不同密度下原子核结构的可能变化，从而使学生认识到中子星可能具有的分层结构。

2. **中子星是否可以稳定存在？**重点探讨费米气体的统计属性，并从力学平衡的角度（建立TOV方程）论证中子星的存在可能性。具体来说，需要计算简并压并将其代入TOV方程以获得中子星的物质分布情况和质量半径关系。对于大三大四正在学习或已经学完了统计物理的学生而言，这部分内容正好提供了一个实践平台，因而是教学的重点内容之一。并且，结合TOV 方程的求解，可以跟学生讨论有关常微分方程数值求解的问题。还可以结合多方物态假设，讲解参数化方法在科学研究中的重要作用。

3. **如何寻找中子星或者说中子星发什么光？**基于一般的恒星观测经验，首先想到中子星的发光性质同样也决定于它们的温度，因而引申出热演化的问题。热传递方程是《数学物理方法》课程讲解的三大方程之一，所以对学生来说不会太过陌生，我们可以把重点放在热传递系数的物理推导上。同时，针对含时的热传递方程，我们也可以适时介绍数值求解偏微分方程的相关理念，鼓励学生尝试开展数值计算。根据热演化的计算结果，我们可以指出X射线观测的必要性和历史困难，进而转入到上世纪60 年代X射线天文学的兴起。

4. **脉冲星就是中子星：怎么释放能量？**以上世纪60年代射电天文的大发展为背景，介绍射电脉冲星的发现历史和有关射电观测的一些基本概念（如脉冲到达时间、色散量等）。理论方面，可主要基于灯塔模型探讨两个问题，一是什么天体可以转得这么快（根据P的观测）？二是它的旋转为什么会减慢（根据$\dot{P}$的观测）？前一个问题自然导出脉冲星就是中子星的结论，而后一个问题则引申出中子星的磁场及其磁偶极辐射。这个时候，教学的重点就落到了中子星相关的电动力学问题上，一是计算均匀磁化球的磁场结构，二是计算旋转磁偶极子的电磁辐射，它们均属于电动力学的经典问题。根据计算结果，可使学生明白如何从脉冲星观测来确定其磁场强度和年龄，进而确定中子星模型解释脉冲星观测的主体框架。

5. **脉冲星就是中子星：如何产生脉冲辐射？**鉴于中子星的磁偶极辐射并不能直接用来解释脉冲星的射电观测，引导学生思考电磁场和等离子体的耦合问题，从而引申出中子星磁层的概念。基于无力场假设，分析说明磁层间隙和加速区的存在。在此基础上，我们再回顾电动力学中有关运动带电粒子产生电磁辐射的内容，可对加速产生的相对论性电子的同步辐射和曲率辐射进行介绍，最终为脉冲星的射电脉冲辐射给出理论解释。

通过对上述五个问题的递进分析，我们可以实现从理论到观测再到理论的逻辑闭环，因而是整个课程讲解的核心内容。在课堂上不做详细数学推导的情况下，大概至少需要10个课时讲清楚其中的概念和逻辑。在课时充足的情况下，可以在物态和结构的不确定性、具体计算方法特别是在数值计算举例等方面做更细致的展开。

上述内容的安排主要遵循从第一性原理出发展开逻辑推理的思路，但天文学和天体物理的主要研究方法更多地还是开展天文观测再基于观测开展理论建模。因此，为了能够更好地描述中子星可能具有的观测表现，我们还很有必要讨论它们和外部环境、其它天体之间的关系和相互作用，主要可在如下三个方面进行拓展：

1. **中子星星风及其作用。**紧接着前面对磁层的介绍，我们可以将相关讨论扩展到光速圆柱以外，探讨耦合了等离子体的玻印廷流向无穷远处的演化，从而提出相对论性星风的概念。在此基础上，一方面我们可以探讨中子星星风对超新星遗迹的作用，并进而讨论极端情况下对超新星爆发本身以及伽马射线暴等剧烈爆发过程的影响。二是可以关注处于双星系统中的中子星，其星风与伴星星风的相互作用（包括大质量伴星、小质量伴星等不同情况），并将其与伽马射线双星、蜘蛛类脉冲星等对象相联系。

2. **物质吸积和强磁场效应。**既然上面已经提到了双星系统这样特定的天体物理对象，那么自然也就有必要对其轨道运动以及相互之间可能的物质转移（吸积过程）进行介

绍。通过引入吸积盘、吸积柱等概念，介绍中子星在X射线波段的重要观测表现，特别是物理内涵丰富的各种爆发现象（如X射线热核暴）。与此同时，从X 射线暴的角度又将自然引申出磁陀星的概念，结合相关观测结果，使学生定性了解极强磁场可能带来的特殊效应。

3. **引力波**。最后，在有关双星轨道运动的认知基础上，可继续联系到若干重要的广义相对论效应和引力波辐射问题。进而结合最新的引力波探测，探讨中子星研究的新视角和新方法，回归到物态和结构等核心物理问题。

从课程内容的逻辑一致性考虑，对上述内容的讲解仍然可以物理推演为主要手段，而不采用实际中广泛存在的基于观测驱动的视角。不过，在具体的讲解过程中，物理推演将主要以数学计算和定性分析相结合的方式进行，因为系统的复杂程度使得对物理图像的完全解析表达变得异常困难乃至不可能。对这些拓展内容的讲解需至少6-8个学时，因此整个课程在最简洁的情况下可以按照1 学分来设置，可以把主要的模型框架讲完。但如果有2学分32学时的话，应该就可以对相关的天文观测历史和结果做比较详细的介绍。

基于上述教学实践，又鉴于手头并没有一本现成的教材可以完全切合我的这些教学安排[3]，我从2020年开始历时三年对积累的教学素材进行了编撰[4]，最终形成了《中子星物理导论》这本教材。考虑到其中的内容大多只描述了它们最基本的形式，因而称之为导论是最为合适的，希望能够为初学者进入中子星研究领域提供入门的导引。

References

[1] 我于2004年前后开始进入天体物理学的研究领域，最早接触的研究课题便是有关奇异夸克星的结构和演化，主要关注星体内部的物理问题。自2006年起开始研究伽马射线暴现象，其中的一项主要工作也是探讨中子星作为伽马暴能源对其余辉辐射造成的影响，因研究所需而学习了与中子星相对论性星风形成和演化相关的一些理论模型。2009年博士毕业后，我开始思考中子星作为能源在各种极端爆发现象中可能扮演的重要角色，也为检验中子星内部物理探索一条可能的新路子。因此除了伽马暴，我还进一步研究了超亮超新星、快变蓝色光学暂现源、白矮星吸积诱导塌缩等现象，特别是在引力波电磁对应体日益受到关注的背景下提出了由并合后中子星供能的并合新星（mergernova）模型。在这些过程中，我就顺带对引力波相关的内容做了一些了解，并同时开始关注中子星在双星系统中的一些行为。与此同时，近十年来我还在快速射电暴方面开展了一些研究工作，并因此对脉冲星辐射机制和磁星爆发机制进行了较为深入的学习。通过这些研究经历，我对中子星的各个方面都慢慢有了或多或少的认识，在脑子里形成了一个较为全面的知识体系。

[2] 在研究经历的基础上，我在华中师范大学为天体物理专业的研究生开设了《脉冲星与中子星》课程。并自2017 年开始，作为学院本科教学课程体系改革的一个部分，我将该课程和《高能天体物理》一起作为选修课同时面向物理学专业的本科生开设，为对天文学感兴趣以及有志于在这一方向继续深造的学生提供一个了解天体物理研究基本特点的窗口。

[3] 手头能够找到的国内外已经出版的中子星或脉冲星相关书籍大多是面向前沿研究的专著，其区分无非是在理论和观测方面具有不同的侧重，对基础物理知识一般甚少着墨，因而很难直接作为教材使用。最接近教学需求的著作或属S. L. Shapiro 和S. A. Teukolsky 撰写的《黑洞、白矮星和中子星：致密天体物理》。不过，这本经典著作的内容极为丰富，应用于具体的教学过程不太好驾驭，且对于本科课程来说时间上也是不允许的。此外，这本书成书于1983年，未能反映最近四十年来人们对中子星的一些新认识，尽管中子星主要的理论体系确实在四十年前已基本确立。

[4] 2020年上半年，在新冠疫情的影响下，我只能在武汉家中进行网络教学，因为少了很多事务性的工作而多了不少可自由支配的时间。于是就有了教学积累的内容资料系统整理出来的冲动，最主要的动机也是觉得可以写出来传给在家上课的学生，便于他们课后理解消化。 写作过程总体上还比较顺利，大概花了完整一个月的时间，写完了接近一百页的主体内容。到8月份的时候，大概又增加了几十页，完成了全书十章内容，还增加了绪论。当时，科学出版社的周涵编辑恰好来信约稿，于是就和她商定了出版的计划。第二年3 月，我将书稿打印装订了几十本分发给上课的学生，希望通过授课的过程来进一步查漏补缺。随后的暑假，我再将书稿寄送给各地的同行专家，请求他们审阅指正。有多位老师给我回复了详细的修改建议，使我颇为感动，并根据他们的建议大幅度修改了书稿。2022年初，我按照约定向出版社提交了初稿，随后进入了三校三修的过程。期间于2022年暑假，最后一次对全书内容特别是数学推导进行了核对检查。从动笔到出版前后历时三年，其中大概有半年的完整时间完全消耗在了这件事中。

活动星系核盘中的致密星

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: yfyuan@ustc.edu.cn

截止到2024年1月16日，地面引力波天文台已成功观测到近175例黑洞-黑洞/中子星并合的引力波事件， 其中只有三例双中子星并合事件：GW170817， GW190425， S230524x(O4)和5例可能为 中子星-黑洞的并合事件[1, 2]。 这些并合双黑洞的起源还存在争议。 目前比较流行的模型包括： （1）孤立双星演化渠道。双星在演化过程中经历了质量转移，公共包层抛射等过程，导致 双星系统角动量损失，最终形成并合双黑洞；（2）星团中的恒星和黑洞通过三体散射或双星-单星散射形成密近双星，或者在层级多体系统中，通过Lidov-Kozai机制导致双黑洞的并合。这就是所谓的 动力学渠道；（3）活动星系核(AGN)盘中双黑洞的形成与演化。AGN盘中的恒星级黑洞 有两个可能的起源：在吸积盘的外区形成，以及在内区从核星团中被吸积盘俘获[3]。

AGN盘中形成双黑洞渠道越来越受到天文学家的重视，这是因为AGN盘中的气体环境有利于 恒星的形成，黑洞质量的增长和双星系统的角动量损失，以及形成极端质量比双黑洞旋近系统（EMRI）。 无论是从LIGO-Virgo-KAGRA (LVK)对致密星合并的较高探测率， 还是从AGN中探测到超太阳的金属丰度[4, 5, 6], 都指向致密星存在于AGN吸积盘中的可能。 引力波源GW190521作为AGN吸积盘中双黑洞并合的热门候选体，开启了该系列研究的高潮。人们认为其起源于AGN吸积盘中双黑洞并合，这既因为有证据显示该事件的宿主是类星体SDSS J1249+3449[7]，又由于探测到两并合黑洞的质量（分别为$85M_{\odot}$和$66M_{\odot}$）都处在质量间隙中[8]，并且并合前的轨道椭率不为零[8, 9]。

另一个比较确定来自AGN盘环境的候选源是伽马爆源GRB 191019A[10]。对该长暴GRB 191019A的观测表明，它可能起源于距离宿主星系核区非常近的地方。并且，在这个星系中，缺乏恒星形成的证据以及对超新星爆发的限制，都表明其不能用大质量恒星塌缩的理论来解释。因此，其前身星很可能是双星致密星系统，它们在宿主星系致密核的动力学相互作用下发生并合，并导致该GRB的产生。事实上，该GRB确实可能是由双致密星在AGN盘中合并导致的短暴，只是在与高密度外部介质的相互作用过程中，其爆发时间被延长。另外，由于该星系具有明亮的光学背景，所以并没有发现与之相关的千新星。

白矮星被认为存在于AGN吸积盘中，理论预测双白矮星在AGN盘中并合率较高。 这些白矮星可能起源于AGN盘中恒星的演化，或者从核球星团中捕获而来。根据AGN盘中恒星的初始质量函数估计， AGN盘中应当存在大量白矮星。 原则上，能让黑洞并合的动力学机制，也可能作用于白矮星系统，产生同样重要但截然不同的现象。 双白矮星碰撞与双黑洞的碰撞最大不同之处在于，双白矮星不

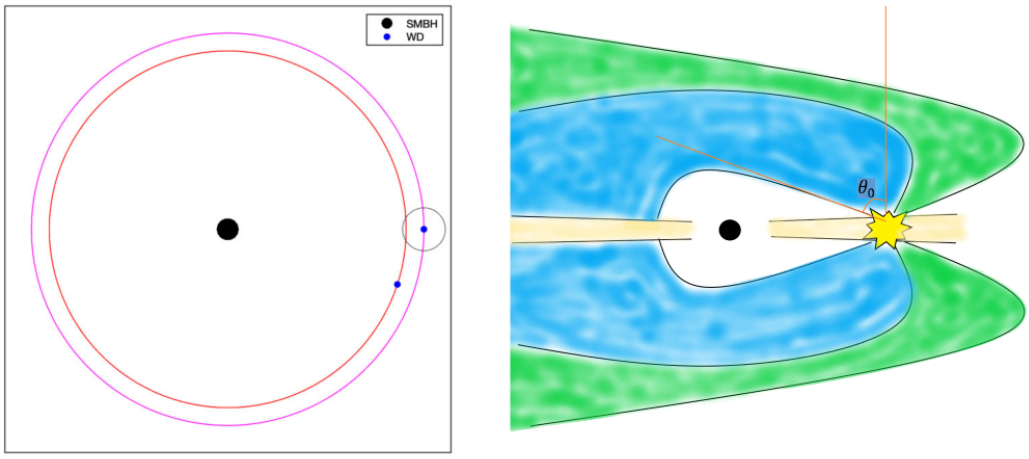


Figure 1: AGN 盘中 WD-WD 碰撞的示意图。 **左图：**该系统由一个中央SMBH（黑点）和两个WD（蓝点）组成。 两个 WD 在近圆形且近共面的轨道上围绕SMBH运行 [11]。 **右图：**两个 WD 碰撞导致热核爆炸。 随后，喷射出的物质冲出AGN盘。 由于SMBH的引力，大部分的喷射物又落回到AGN盘中，而少部分则逃离系统。 未回落的物质以绿色表示，而回落的物质以蓝色显示。 我们假设发射角 $\theta < \theta_0$ 的喷射物可以冲出AGN盘[12]。

能通过引力韧致辐射（即碰撞过程中引力波辐射） 形成处于束缚态的双星系统。白矮星在AGN盘中可能迁移到盘的内区，形成受限制的三体系统–双白矮星紧密环绕 中心SMBH运动。这种系统可能在动力学上不稳定，导致密近交会或直接碰撞。最近，我们 通过N体模拟研究了限制性三体中双白矮星通过Jacobi俘获发生直接碰撞的条件约为： $1.1R_{\rm H} \leq p \leq 2\sqrt{3}R_{\rm H}$，其中$p$为白矮星之间初始轨道间距，$R_{\rm H}$为希尔(Hill)半径，而且双白矮星的碰撞率随着两者之间轨道倾角的增加和中心SMBH质量 的增加而减小。粗略的估算表明，AGN盘中双白矮星碰撞的总事件率约为 300 $\mathrm{Gpc^{-3}\ yr^{-1}}$，大约占观测到的Ia型超新星（SN Ia）的1% [11]。

AGN盘中白矮星的碰撞可能会产生热核爆炸，这是SN Ia的一种。虽然 SN Ia已被用作标准烛光，用来测量宇宙加速膨胀，但其前身星和爆发机制仍然存在争议。通常，SN Ia爆发的总能量约为 1.5×10^{51} erg，其中大约有 10^{50} erg 能量由中微子带走，初始爆发的电磁波能量约为 10^{49} erg，其余的能量大部分转化为爆炸碎片的动能。通常情况下，这部分动能不能有效地转化为电磁辐射，但在AGN核区包含中心SMBH和高密度气体的盘环境，巨大的动能可能转化为气体的热能，并以电磁辐射的形式辐射出去。 最近，我们通过蒙特卡洛模拟，研究了双白矮星碰撞之后，抛射物的动能再辐射的问题。根据我们的计算， 该辐射光变曲线的特点是早期快速上升，然后按照$L \propto t^{-2.8}$的幂率衰减。暂现源的时间尺度从几小时到几周不等， 取决于中心超大质量黑洞的质量。这一过程产生了从硬X射线到软γ射线波段的高能辐射[12]。

References

[1] R. Abbott, T.D. Abbott, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, N. Adhikari et al., *GWTC-3: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the Second Part of the Third Observing Run*, *Phys. Rev. X* **13** (2023) 041039.

[2] https://gracedb.ligo.org/superevents/public/O4/.

[3] H. Tagawa, Z. Haiman and B. Kocsis, *Formation and Evolution of Compact-object Binaries in AGN Disks*, *ApJ* **898** (2020) 25.

[4] K.S. Cheng and J.-M. Wang, *The Formation and Merger of Compact Objects in the Central Engine of Active Galactic Nuclei and Quasars: Gamma-Ray Burst and Gravitational Radiation*, *ApJ* **521** (1999) 502.

[5] C. Warner, F. Hamann and M. Dietrich, *A Relation between Supermassive Black Hole Mass and Quasar Metallicity?*, *ApJ* **596** (2003) 72.

[6] P. Du, J.-M. Wang, C. Hu, D. Valls-Gabaud, J.A. Baldwin, J.-Q. Ge et al., *Outflows from active galactic nuclei: the BLR-NLR metallicity correlation*, *MNRAS* **438** (2014) 2828.

[7] M.J. Graham, K.E.S. Ford, B. McKernan, N.P. Ross, D. Stern, K. Burdge et al., *Candidate Electromagnetic Counterpart to the Binary Black Hole Merger Gravitational-Wave Event S190521g**, *PRL* **124** (2020) 251102.

[8] R. Abbott, T.D. Abbott, S. Abraham, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams et al., *GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150* $M_\odot$, *PRL* **125** (2020) 101102.

[9] J. Samsing, I. Bartos, D.J. D'Orazio, Z. Haiman, B. Kocsis, N.W.C. Leigh et al., *AGN as potential factories for eccentric black hole mergers*, *Nature* **603** (2022) 237.

[10] A.J. Levan, D.B. Malesani, B.P. Gompertz, A.E. Nugent, M. Nicholl, S.R. Oates et al., *A long-duration gamma-ray burst of dynamical origin from the nucleus of an ancient galaxy*, *Nature Astronomy* **7** (2023) 976 [2303.12912].

[11] Y. Luo, X.-J. Wu, S.-R. Zhang, J.-M. Wang, L.C. Ho and Y.-F. Yuan, *White dwarf-white dwarf collisions in AGN discs via close encounters*, *MNRAS* **524** (2023) 6015.

[12] S.-R. Zhang, Y. Luo, X.-J. Wu, J.-M. Wang, L.C. Ho and Y.-F. Yuan, *Electromagnetic signatures of white dwarf collisions in AGN discs*, *MNRAS* **524** (2023) 940.

脉冲星与我

岳友岭*(Youling Yue)*
中国科学院国家天文台
北京*100101*
Email: ylyue_bao.ac.cn

我向来不喜欢作文，还好本文是命题作文，FPS会议文集形式轻松且专为促进交流，所以就不局限于脉冲星写些文字。会议报告中科研工作的细节不多介绍，零星总结下并加一些偶尔想到的，希望能给新进入这一领域的人一些参考。

我从读研究生开始进入脉冲星研究领域，大约在20年前，当时脉冲星数量约1500颗，PSRCAT刚上线。2024年这一数字已经翻倍超过3000。再过20年，这个数字应该会超过6000，这里面肯定蕴藏着十几几十的重要发现，甚至一两个大的发现。预测未来是危险的，因为通常失败，但也挡不人们的热情，或者说就是畅想未来。与此同时我们也常常回顾历史。

物理学在1900年“两朵乌云”提出之后不久有了翻天覆地的变化。同一时期，数学领域哥德尔不完备定理的提出，以及一致性、可判定性等的研究，使得人们不再执着于完美统一理论框架的理想。时至今日，我们再也不提只有哪些问题没有解决这样的简单想法。有一种说法，人们经常会高估短期影响，低估长期影响。或者说，短期内嫌技术发展的太慢，回顾历史又会觉得技术发展的很快。原始出处未能查到。精炼的总结就是“只缘身在此山中”。

此处罗列物理学领域一些基本问题：四种作用力的统一、粒子物理标准模型、宇宙的早期、暗物质暗能量、黑洞。这些可能其实是一个问题的不同侧面，其难度远超我们绝大部分人所能解决。在不同方向，有不少与脉冲星有些联系。对于脉冲星的不断发现和观测，以及把观测技术应用到诸如快速射电暴（FRB）等新的观测现象，使我们能为物理学大厦贡献一份力量。

如今，进入科研领域仍是一个好选择，即使不是最优的。有以文艺复兴类比当下的提法，即大家的关注点在多元化，生活的成本在降低。类似老一辈的诸如对优秀的过度执着追求在减退，更关注个人，使得喜欢研究的人更易于进入到这一领域。

此处推荐一篇文章，网络上讨论也甚广，马克思·韦伯（Max Weber）的《学术作为一种志业》（德文Wissenschaft als Beruf，英译Science as a Vocation）。虽出版于1919年，但100年前的总结也并不过时。文中讨论了学术研究的诸多方面，但值得一提的一点是：学术上的成功主要靠运气。

最后，引用一句古希腊名言 ΓΝΩΘΙ ΣΑΥΤΟΝ，一般翻译为 Know thyself，认识你自己。相似的意思也出现在各种文明的历史。这句话太短，以至于可以有不同侧面的解释。对于研究脉冲星而言，一方面，认识自己的能力、兴趣，发掘合作者，寻找乐此不疲的方向，决定是否留在科研领域，另一方面，通过这一过程，认识自己存在的宇宙。

一个厂商无关的可实时相干消色散的射电望远镜后端软件

周宇凯 *(Yukai Zhou)*
北京大学物理学院
北京 *100871*
Email: 2000011340@stu.pku.edu.cn

许多现有的射电脉冲星及快速射电暴的数据处理程序 都在 CPU 上处理信号, 但 CPU 性能无法跟上射电天文中信号采样率的发展; 其他一些解决方案使用 GPGPU 等加速器, 但使用 CUDA 这类厂商专有编程接口, 设备的可用性受到限制. 一些处理程序及其运行平台举例如下: PRESTO ([1])[1] (CPU, CUDA 移植 [2] [3], ROCm 移植 (进行中)), DSPSR ([2])[4] (CPU, CUDA), heimdall[5] (CUDA; ROCm, OpenCL & SYCL 移植[6]), BEAR ([3])[7] (CPU (软件部分)), TransientX ([4])[8] (CPU) 等.

本文介绍了一个简单的射电望远镜后端软件 [9], 可用于实时相干消色散和暂现源信号检测; 为了实现厂商无关性并保持高性能, 本软件选择了由 Khronos Group 提出的异构编程接口 SYCL[10], 程序采用流水线设计, 结构如图 1 所示.

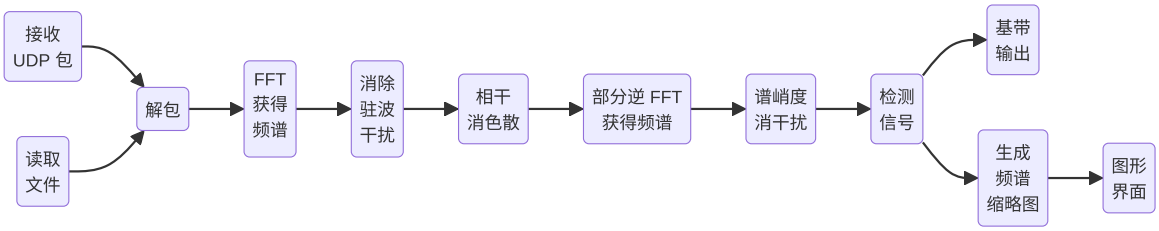


Figure 1: 本软件的流水线结构. 主要受基带处理软件 RITARDANDO ([5]) 启发.

两种 SYCL 实现被用于开发这个程序, 分别是 AdaptiveCpp (原名 hipSYCL 及 Open SYCL) ([6])[11] 和 Intel oneAPI DPC++[12]. 目前测试了 AMD, NVIDIA, 摩尔

[1] https://github.com/scottransom/presto
[2] https://github.com/jintaoluo/presto_on_gpu
[3] https://github.com/zdj649150499/Presto_GPU
[4] https://dspsr.sourceforge.net/
[5] https://sourceforge.net/projects/heimdall-astro/
[6] https://github.com/fxzjshm/heimdall-astro, 见 “hip”, ”sycl” 和 ”opencl” 分支
[7] https://psr.pku.edu.cn/index.php/publications/software/
[8] https://github.com/ypmen/TransientX
[9] 代码将在合适时间在 https://github.com/fxzjshm/simple-radio-telescope-backend 公开
[10] https://www.khronos.org/sycl/
[11] https://github.com/AdaptiveCpp/AdaptiveCpp
[12] https://github.com/intel/llvm

线程的 GPU, “供应商 V” 的加速器[13], AMD 与 Intel 的 CPU, QEMU RISC-V CPU, 以及 PoCL ([7])[14] 和 Mesa Rusticl[15] 等 OpenCL 平台等. 特别地, 为了在摩尔线程的 MUSA 平台上运行这个程序, 作者将 AdaptiveCpp 移植到 MUSA[16], 进一步扩展了 SYCL 的生态系统.

此软件已捕获超过 1700 个来自 PSR J0534+2200 的巨脉冲信号, 后续文章将对此作进一步分析; 软件的性能测试使用 DSPSR 的部分样例基带数据, 输入总大小为 2^{30} 采样, 各阶段用时显示在图 2 中. 根据性能测试, 可以估计: 单个 GPU 可用于单个或更多天线的带有实时相干消色散的观测. 在 CPU 和 GPU 上的运行时间有量级上的不同, 因此 CPU 可能不适合实时数据处理.

本研究受北京大学本科生科研 “基于异构系统的脉冲星与快速射电暴后端” 资助.

References

[1] S. M. Ransom, *New search techniques for binary pulsars*, 2001.

[2] W. van Straten and M. Bailes, Publications of the Astronomical Society of Australia **28**, 1 (2011).

[3] Y. P. Men et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **488**, 3957 (2019).

[4] H. Xu, J. R. Niu, P. Chen, et al., Nature **609**, 685 (2022).

[5] J. Jiang, “Pulsar Single-Pulse Studies and Polarization Measurement with FAST”, PhD thesis (Peking University, 2022).

[6] A. Alpay and V. Heuveline, in Proceedings of the International Workshop on OpenCL, IWOCL ’ 20 (2020).

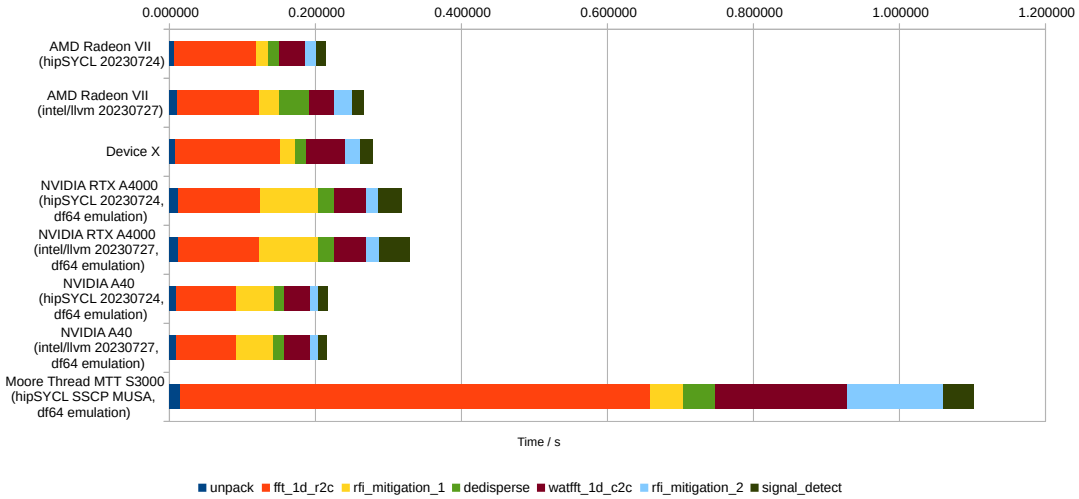
[7] P. Jääskeläinen et al., International Journal of Parallel Programming **43**, 752 (2015).

[13] 为类似 GPU 的加速器. 根据厂商的政策, 其更多信息无法公开.

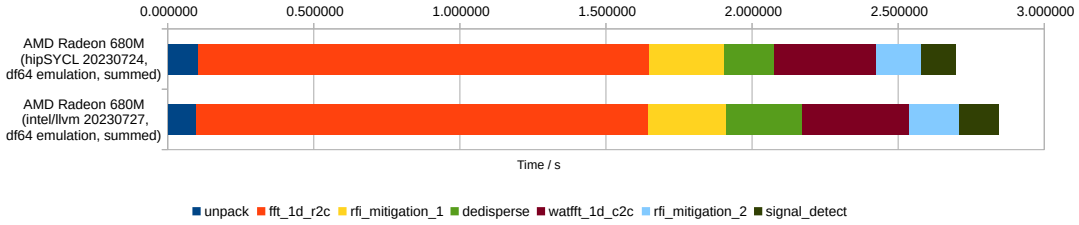
[14] `https://github.com/pocl/pocl`

[15] `https://docs.mesa3d.org/rusticl.html`

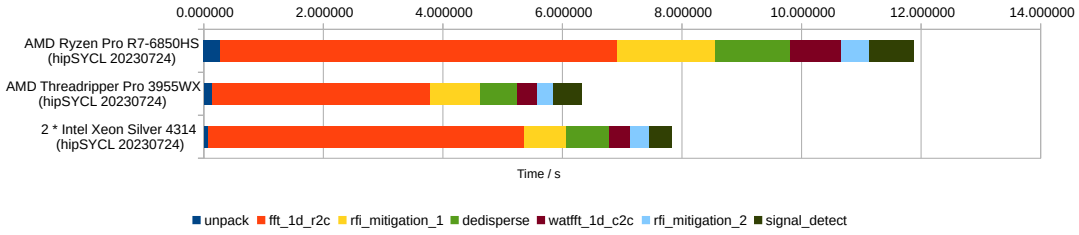
[16] `https://github.com/AdaptiveCpp/AdaptiveCpp/pull/1095`



(a) 独立 GPU / 加速器



(b) 集成 GPU



(c) CPU

Figure 2: 各设备上的性能测试结果, 基带采样数共计 2^{30}. 注意各图时间轴标度不同. 不能直接比较各设备的运行时间, 因为它们来自不同的世代, 且理论性能有很大差异.

Scientific Program of FAST/Future Pulsar Symposium 12

July 4-6, 2023, Nanyang Normal University (**NNU**), Nanyang Hotel (南阳宾馆), Henan
(Language: English or Chinese; but the presentation is suggested to be written in English)

===== Tuesday, July 4 =====

09:00 -- 11:30 *Arrival & Registration*

(Joint sessions with SPSS'23)

Chair: **张　力** (15min = 12+3)

13:58 -- 14:00 **仪　式**：升 FPS 会议旗帜
14:00 -- 14:15 蔡沿庆：*Parkes UWL observation of the "swooshes" of PSRJ0614+2229*
14:15 -- 14:30 刘雨兰：*Interstellar scintillation of EPTA pulsars*
14:30 -- 14:45 陈语桐：*Title: Periodic nulling of long-period pulsar: single pulse study of PSR J1909+0122*
14:45 -- 15:00 崔翔翰：*Statistical tests of young radio pulsars with/without supernova remnants: implying two origins of neutron stars*
15:00 -- 15:15 邓　晨：*Pseudo-redshifts of Gamma-Ray Bursts Derived from the L–T–E Correlation*
15:15 -- 15:30 杜泽昕：*Constraining the masses and mass-loss rates of the companions of three black widow pulsars*
15:30 -- 15:45 冯文凡：银盘双中子星的引力波和射电波观测

15:45 -- 16:15 *Group Photograph* and *Coffee Break*

Chair: **郑小平** (15min = 12+3)

16:15 -- 16:30 高端塬：*Tidal deformability of compact stars admixed with scalar fields*
16:30 -- 16:45 胡泽昕：*Prospects of testing dark matter model with pulsar around Sgr A**
16:45 -- 17:00 黄志鹏：*Simultaneous 2.25/8.60 GHz observations of the magnetar XTE J1810-197*
17:00 -- 17:15 李保达：*Studys of timing and scintillation for pulsars in M3*
17:15 -- 17:30 李洪波：*Strangeon star oscillations and quasi-periodic oscillations during magnetar flares*
17:30 -- 17:45 李　威：*Glitch correlated emission variation of two pulsars*
17:45 -- 18:00 林　杰：*An X-ray-dim "Isolated" Neutron Star in a Binary?*

晚宴 18:00 – 20:00

===== Wednesday, July 5 =====

Chair: **岳友岭** (15min = 12+3)

08:30 -- 08:45 刘　鹏：*A multi-band study of pulsar glitches with Fermi-Lat and Parkes*
08:45 -- 09:00 曹顺顺：*Study of PSR B0943+10 using FAST: the modes, geometry and OPMs*
09:00 -- 09:15 孟令祺：*The Relativistic Spin Precession of the Compact Double Neutron Star PSR J1946+2052*
09:15 -- 09:30 缪晨晨：掩食双星的观测和研究
09:30 -- 09:45 缪雪丽：*Fast GR test project*

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

Chair: **袁业飞** (15min = 12+3)

10:15 -- 10:30 宋　仑：*Phase-transition induced X-ray features in sGRB observations*
10:30 -- 10:45 孙向东：*Astrophysical Implications on Hyperon Couplings and Hyperon Star Properties with Relativistic Equations of States*
10:45 -- 11:00 王铂钧：*Progress of CPTA jitter analysis*
11:00 -- 11:15 王　迪：*The Formation of the Eccentric Millisecond Pulsar by the Accretion-induced Collapse of the Massive White Dwarf*
11:15 -- 11:30 王　睿：*Simultaneous 2.25 and 8.60 GHz Interstellar Scintillation Observation of PSR B0740-28*
11:30 -- 11:45 王鑫然：X 射线双星自转变化事件的吸积盘进动模型
11:45 -- 12:00 王宇阳：*Pulsar J1906+0746 at FAST: a unique exploration of radio-pulsar beam maps*

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

Chair: **袁建平** (15min = 12+3)

14:00 -- 14:15 王正理：*The radiation geometry of PSR B0950+08*
14:15 -- 14:30 许　帆：伽马暴中标准烛光关系的物理起源
14:30 -- 14:45 薛梦瑶：*Pulsar discovery prospect of the FAST Array (FASTA)*
14:45 -- 15:00 颜宇龙：*Constraining the internal physics and properties of several young neutron stars by their braking indices*
15:00 -- 15:15 杨细艳：*Spinning-down strangeon stars and implications for GRB X-ray afterglow*
15:15 -- 15:30 尹德江：*FAST Discovery of New Pulsars in Globular Cluster NGC 6517*
15:30 -- 15:45 张丹丹：*FAST* 观测到球状星团中四颗脉冲星的银河系中星际闪烁

15:45 -- 16:15 *Coffee Break*

Chair: **李兆升** (15min = 12+3)

16:15 -- 16:30 张子良：*The origin diversity of non-repeating fast radio bursts: Rotational radio transient sources and cosmological compact binary merger remnants?*
16:30 -- 16:45 郑子岳：中子星的径向和非径向振荡
16:45 -- 17:00 周宇凯：*A simple radio telescope backend software*
17:00 -- 17:15 周禹睿：*Investigating BNS merger remnants by effective-one-body method*
17:15 -- 17:30 朱沛鑫：*Glitch* 成团现象下 *Crab* 的活跃度
17:30 -- 17:45 方子瑶：利用 GPU 加速求解脉冲星测时解
17:45 -- 18:00 王子阳：*Study of pulsar flux density and its variability with Parkes data archive*

Dinner, 18:00 – 19:00

===== Thursday, July 6 =====

Chair: **郝龙飞** (15min = 12+3)

08:30 -- 08:45 戴子高：最亮伽玛暴 GRB 221009A
08:45 -- 09:00 张　洁：*QUEST Introduction*

09:00 -- 09:15 李兆升：*HXMT views of accretion millisecond X-ray pulsars*
09:15 -- 09:30 刘荷蕾：*Type I X-ray burst as a tool to probe the physics of neutron stars*

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

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

Chair: ***龚碧平*** (15min = 12+3)
10:15 -- 10:45 岳友岭：***脉冲星与我*** (特邀)
10:45 -- 11:00 仝　号：磁星和长周期脉冲星
11:00 -- 11:15 袁业飞：*Electromagnetic signatures of white dwarf collisions in AGN disks*
11:15 -- 11:30 徐仁新：脉冲星表面会长“痘痘”？
11:30 -- 11:45 FPS13 介绍，转交 FPS 会议旗帜

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

==========

NOTE for *talks* (15min = 12+3)
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