

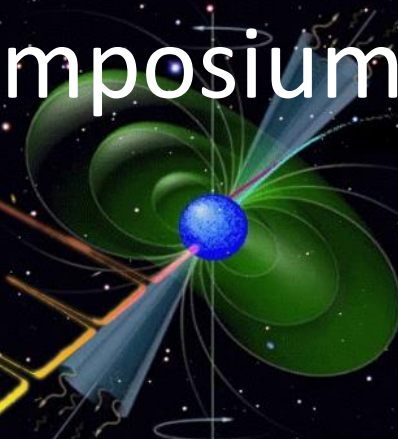
五百米口径球面射电望远镜脉冲星研讨会(6)

Local organizers

- Xiaofeng Cao (HUE)
- Xilong Fan (HUE)
- Qian Jiang (HUE)
- Xiaoyu Lai (HUE)
- Jiguang Lu (PKU)
- Yunpeng Men (PKU)
- Chunmei Pi (HUE)
- Weiwei Tan (HUE)
- Ming Xiao (HUE, Chair)

FAST/Future Pulsar Symposium 6

<http://psr.pku.edu.cn/FPS/FPS6/FPS6.html>



Hubei University of Education  
Wuhan  
June 28-30, 2017

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) |



# FAST/Future Pulsar Symposium 6, Wuhan





# 500 米口径球面射电望远镜脉冲星专题研讨会

## 第六次会议

2017 年注定因 GW170817 事件而载入史册，该事件与 FPS 系列会议的主题之一——**致密物态**——紧密相关。跟原子核密度相当的致密物质状态本质上涉及强相互作用低能非微扰行为。未来，这一挑战性问题的彻底解决很可能是人类进入**引力波天文学时代**后获得的首个重大突破。

受“973 计划”项目的资助，脉冲星组（“课题 1”）曾在新疆、云南、上海、内蒙、贵州等地组织了五次 FPS 会议。这个围绕脉冲星的多学科交流平台无疑为培养和造就一支有竞争力的脉冲星研究队伍起到促进作用。“973 计划”项目结束后，FPS 系列会议在科研和人才培养方面的必要性尤为突出。第六次 FPS 会议于 2017 年 6 月 28 日至 30 日在湖北武汉召开。评奖委员会（由龚碧平、郝龙飞、黄永锋、来小禹、李柯伽、王洪光、吴志勇、徐仁新、闫振、岳友岭、张力、张承民、张祥光、郑小平、朱炜玮等构成）遴选出 Crab 奖一名（易疏序）、Vela 奖两名（刘雨兰、周恩平）。

脉冲星看似“小”，实则跟众多天文研究对象一样处于“大”科学之列。会议赠送礼品（右图）体现了该宗旨。FPS6 报告除涉及脉冲星科学外，还介绍 COSI、POLAR、

FAST、TMRT、SKA 等科学设备。随着年轻人的加盟，这些设备将“如虎添翼”。

作为“FPS 人”共同的“历史记忆”，您手中是第六本会议文集。相信文集在会场外将进一步绽放 FPS 的精神魅力。提供已有 FPS 文集电子版网址如下：

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS1.pdf>

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS2.pdf>

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS3.pdf>

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS4.pdf>

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS5.pdf>

<http://www.phy.pku.edu.cn/~xurenxin/Proceedings/FPS6.pdf>

科学组委会：

“FPS”咨询委员会

地方组委会：

湖北第二师范学院 操小凤，范锡龙，蒋谦，来小禹，  
皮春梅，谈伟伟，肖明（主席）

北京大学 卢吉光，门云鹏



“两会”小礼品：T shirt

公元贰零壹柒年拾贰月

# 目 录

1. Crab 脉冲星与大型 X 射线望远镜	杜源杰	1
2. Magnetic field growth in PSR J1734-3333	高志福	2
3. 在脉冲星周围搜寻奇异夸克行星	黄永锋	5
4. GW170817 产生于双奇子星并合吗?	来小禹	7
5. Calvera: 一颗死亡的奇子星	李云炆	8
6. FPS 有感	刘成祺	9
7. FPS6 会议浅悟	刘芑妤	10
8. The timing irregularity of PSR J1705-1906	刘雨兰	11
9. 奇子物质中声速“超光速”现象的解释	卢吉光	13
10. 快速射电暴的光度函数	罗睿	15
11. Measuring the Surface Temperature of High Magnetic Field Radio Pulsars	C.-Y. Ng	18
12. 使用 pyfits 包操作 PSRFITS 文件	钱磊	20
13. Evolution of the pulsar braking index	全号	21
14. 脉冲星射电辐射束观测检验的进展	王洪光, 陈威威, 张颜荣	22
15. 平方公里阵列时代的脉冲星计时阵列	王炎	24
16. 夸克禁闭否?	徐仁新	26
17. 上海天马射电望远镜脉冲星观测研究进展	闫振, 沈志强, 赵汝双, 刘杰, 黄志鹏	29
18. FPS 心得	易疏序	30
19. 三轴转动致密星	周恩平	31
20. 致密星相对论潮汐 Love 数的计算与测量	周恩平	32
21. 会议日程		33



## Crab脉冲星与大型X射线望远镜

杜源杰 (Yuanjie Du)

钱学森空间技术实验室

北京市海淀区友谊路104号院 100094

Email: [duyuanjie@qxslab.cn](mailto:duyuanjie@qxslab.cn)

Crab脉冲星是非常著名、X射线脉冲辐射流量最强的脉冲星，有着极其重要的科研和应用价值。Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) 卫星的正比计数器阵列 (PCA) 具有较好的时间分辨率，并且对Crab脉冲星进行了长期大量的X射线观测，经处理Crab脉冲星来自RXTE长达11年的2-6 keV, 6-15 keV, 15-60 keV能段观测数据，还结合了去年发射的脉冲星导航试验卫星130天的2-6 keV能段的数据，最后得到了Crab脉冲星长期的三个能段的高信噪比脉冲轮廓，并且计算得到了该能段脉冲轮廓的双峰间距随时间的演化。为了解释这一内禀变化，通过环间隙模型（作者所提的一种脉冲星辐射模型）精确模拟每个脉冲轮廓，发现辐射区内的最大辐射高度决定双峰的位置，由此可以推断内禀计时噪声变化，为将来去除内禀噪声，提高计时精度，脉冲星导航的关键环节——高精度计时模型奠定基础。

最重要的是，我们估算出下一代的X射线望远镜的关键参数——有效接收面积 $\geq 5\text{m}^2$ ，才可以在一小时内得到一个高信噪比脉冲轮廓，从而才可以更实质性的开展脉冲星科学和导航应用研究。我们正在努力推动此脉冲星X射线专用望远镜的论证立项工作，欢迎各位提出各种有关科学目标和技术的建议。提前感谢大家！



# Magnetic field growth in PSR J1734–3333

Zhifu Gao

Xinjiang Astronomical Observatory, CAS, 150 Science 1-Street, Urumqi, Xinjiang, China, 830011

Email: zhifugao@xao.ac.cn

## 1 Introduction

PSR J1734–3333 is a high magnetic field pulsar with inferred dipole magnetic field  $B_d = 5.2 \times 10^{13}$  G, and the braking  $n = 0.9(2)$ . Here we consider multipole magnetic fields that were buried soon after birth and diffuse to the surface. We assume the internal multipole magnetic fields  $B_{in} \sim 10^{15-16}$  G, which are anchored in the inner crust and extend to the core of the pulsar, and the surface dipole field  $B_d$  after NS formation, but prior to mass accretion. Accretion then buries and compresses these born multipole and dipole magnetic fields

## 2 Theoretical model

Here we assume that PSR J1734–3333 had magnetar-like internal magnetic fields at the birth. These fields were constrained in the inner crust and the core after an early episode of accretion and are slowly diffusing to the surface. We consider the evolution of the dipole magnetic field in the NS crust-core. Neglecting the hydrodynamic motions, thermomagnetic effects, and anisotropy of the electrical conductivity, the magnetic stream function  $S = S(r, t)$  follows

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{c^2}{4\pi\sigma} \left( \frac{\partial^2 S}{\partial r^2} - \frac{\partial S}{r^2} \right). \quad (1)$$

At the surface ( $r = R$ ), the standard boundary condition is imposed that the buried fields merge continuously with an external vacuum field. This boundary condition reads

$$R \frac{\partial S}{\partial r} + S = 0 \quad (2)$$

for a dipole component. At the crust-core boundary, it is assumed that the magnetic stream is conserved. In such cases, the surface field  $B_d$  is increasing with a power-law form,

$$B_d(t) = B_d(0) \times \left( \frac{t}{1 \text{ yr}} \right)^\varepsilon, \quad (3)$$

where  $\varepsilon > 0$  is the magnetic field index.



### 3 Numerical results

According to Blandford & Romani (1988), the braking law of the pulsar is reformulated as

$$\dot{\nu}(t) = -\frac{8\pi^2 R^6 \sin^2 \alpha}{3Ic^3} B_d^2(t) \nu^3. \quad (4)$$

Integrating Eq.(4) gives the spin frequency,

$$\nu^{-2} = \nu_0^{-2} + 2 \int_0^t \frac{8\pi^2 R^6 \sin^2 \alpha}{3Ic^3} B_d^2(t') dt', \quad (5)$$

where  $\nu_0$  is the initial spin frequency of the pulsar. Here and following, we adopt  $\alpha = 90^\circ$  and  $I = 10^{45}$  g cm<sup>2</sup> for PSR J1734–3333. Then, we get the spin period,

$$P(t) = \left[ P_0^2 + \frac{16\pi^2 R^6 B_d^2(0)}{3Ic^3} \frac{(t/1\text{yr})^{2\varepsilon+1}}{2\varepsilon+1} 1\text{yr} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Then we can represent the characteristic age of the star as

$$\tau_c = \frac{-\nu}{2\dot{\nu}} = \frac{P}{2\dot{P}} = \frac{K}{B_d^2(t)} \int_0^t B_d^2(t') dt', \quad (7)$$

where  $K = [1 - (P_0/P)^2]^{-1}$ . Since we have assumed  $B_d \propto t^\varepsilon$ , then we obtain  $\tau_c \sim \frac{K}{2\varepsilon+1} \cdot t$ , and the braking index  $n \sim 3 - \frac{2\varepsilon K}{2\varepsilon+1}$ .

The initial spin period  $P_0$  can be estimated by

$$P_0 = P \left(1 + \frac{1}{K}\right)^{1/2}, \quad K = \frac{3-n}{2} + \frac{\tau_c}{t}. \quad (8)$$

In the same way, the index  $\varepsilon$  is determined by

$$\varepsilon = \frac{3-n}{2(n-3+2K)}. \quad (9)$$

Inserting the values of  $\tau_c$ ,  $n$  and  $B_d$  at the current age  $t_{\text{age}} = 20 - 23$  kyrs (Gao et al. 2017) into Eqs.(8-9), we obtain  $P_0 = 65 - 62$  ms,  $B_d(0) = (1.6 - 1.4) \times 10^8$  G and  $\varepsilon \sim (1.4 - 1.28)$ .

Our results show that this pulsar will become a magnetar with the surface dipole magnetic field  $B_d \sim 2.6(1) \times 10^{14}$  G,  $B_d \sim 5.3(2) \times 10^{14}$  G,  $B_d \sim 1.2(1) \times 10^{15}$  G, after the next 50 kyrs, 100 kys, and 200 kyrs, respectively. In addition, we show the long term rotational evolution of the pulsar in Fig 1



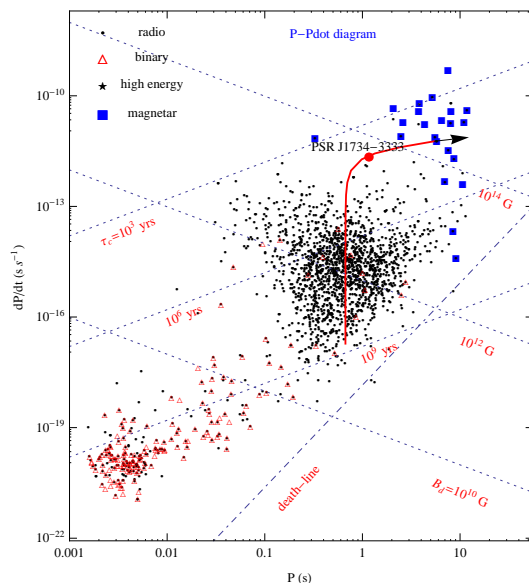


Figure 1: Long term rotational evolution of PSR J1734–3333.

## 4 Conclusions

In this work, we present a possible interpretation for very small braking index of PSR J1734–3333, which challenges the current theories of braking mechanisms in pulsars, and estimate some spin parameters. Keeping the current field-growth index, the surface dipole field would reach magnetar-like strength in tens of millenniums, which implies that this pulsar is a potential magnetar.

I am grateful to Prof. Ren-Xin Xu for arranging and conducting of FPS6 conference. This work was supported by National Basic Research Program of China grants 973 Programs 2015CB857100.

## References

- [1] R. D. Blandford, R. W. Romani, MNRAS, **234**, 57 (1988)
- [2] Zhi-Fu Gao, et al., 2017, AN, eprint arXiv:1709.02734
- [3] C.M. Espinoza, & et al., 2011, ApJL, **741**, L13 (2011).



## 在脉冲星周围搜寻奇异夸克行星

黄永锋  
南京大学天文学系 中国南京 210023  
Email: [hyf@nju.edu.cn](mailto:hyf@nju.edu.cn)

### 1 引言

重子物质的真正基态有可能是奇异夸克物质，而不是普通的中子物质，这被称为Bodmer-Witten假说。然而，如何检验这一假说，或者说如何通过天文观测区分中子星和奇异星，却是一个没有解决的难题。人们曾寄希望于借助中子星和奇异星的质量半径关系的差别来区分它们，但是脉冲星的质量和半径（尤其是半径）难以精确测定，使得这一方法难以实施。中子星和奇异星在冷却速度方面的差异同样比较小，难以通过观测区分。也有学者提出奇异星的自转周期可以小于1毫秒，也许是不同于中子星的一个重要特征，但是理论上考虑一些细致因素后，中子星也是可以周期短于1毫秒的。而且如此短周期的中子星，要去发现它们也是极其困难的。人们还曾尝试通过中子星和奇异星的最大质量差别进行区分，但同样它们的差别比较微小且具有很大的不确定性。

在近几年的研究工作中，我们提出，由于奇异夸克行星与普通重子物质行星的半径差别巨大，我们可以通过观测奇异夸克行星来检验奇异夸克物质的存在，从而检验Bodmer-Witten假说。

### 2 奇异夸克行星

非常有趣的是，根据Bodmer-Witten假说，在奇异星稳定存在的情况下，奇异夸克矮星和奇异夸克行星也是可以稳定存在的。奇异夸克矮星是和白矮星相对应的天体，而奇异夸克行星（简称奇异行星）则和普通行星相对应。奇异行星具有行星量级的总质量，但它们的密度可以数倍于核密度，因此非常致密，半径远远小于普通行星，见下面的表1。

奇异行星质量 (太阳质量)	奇异行星半径 (米)
$10^{-6}$	80
$10^{-5}$	170
$10^{-4}$	370

Table 1: 典型奇异夸克行星的质量和半径，可以看出它们是极其致密的天体。



与高密度相对应，奇异行星具有很强的自引力，因此不容易受到主星的潮汐力作用。因此，奇异行星的潮汐瓦解半径很小，即：

$$r_{\text{td}}(\text{SQM}) \approx 1.5 \times 10^6 \left( \frac{M}{1.4 M_{\odot}} \right)^{1/3} \left( \frac{\rho}{4 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3} \right)^{-1/3} \text{ cm}. \quad (1)$$

与之形成强烈反差的是，普通行星的潮汐瓦解半径则很大，约为 $\sim 10^{11}$  cm量级。这提示我们，我们可以通过搜寻脉冲星附近的行星，看它们是否位于普通行星的潮汐瓦解半径之内，从而判断它们是否是奇异行星。

实际上，如果我们取普通行星的密度上限为 $30 \text{ g/cm}^3$ ，则潮汐瓦解半径为 $\sim 5.6 \times 10^{10}$  cm，对应的轨道周期约为6100秒。可以说，在此轨道半径以内，是不可能普通行星围绕脉冲星公转的。如果观测到行星，则只能是奇异行星。我们在目前发现的数千颗系外行星中进行了核查，暂时没有发现奇异行星存在的确切证据 [1]。我们呼吁射电天文学家关注这种可能性，搜寻脉冲星周围的密近行星。

另外，当密近的奇异星-奇异行星系统最终碰撞合并的时候，会产生强烈的引力波爆发事件 [2]。发生在我们银河系内的这种引力波事件，完全能被升级后的LIGO探测器观测到。而发生在3Mpc范围内的近邻星系中的类似事件，也可被下一代的引力波探测器如爱因斯坦望远镜观测到。

### 3 讨论

奇异行星的形成途径有多种可能性 [2]。例如，奇异星刚形成时，一部分行星级质量的团块可能被抛出来，直接形成奇异行星 [3]。奇异行星还可通过普通行星被奇异夸克种子污染形成，甚至也可在宇宙极早期的夸克胶子时代直接形成。另外，值得注意的是，普通行星与脉冲星产生碰撞时，也能产生很多有趣的现象，例如产生glitch或者anti-glitch [4]，还可能产生快速射电暴 [5]。因此，脉冲星的行星系统是非常值得关注的课题。

本研究受国家自然科学基金和科技部973项目资助。非常感谢本次会议组委会的会务组织工作。

### References

- [1] Y.F. Huang, & Y.B. Yu, arXiv:1702.07978, ApJ submitted (2017)
- [2] J.J. Geng, Y.F. Huang, & T. Lu, ApJ, **804**, 21 (2015)
- [3] R.X. Xu, & F. Wu, 2003, Chin. Phys. Lett., **20**, 806 (2003)
- [4] Y.F. Huang, & J.J. Geng, ApJ, **782**, L20(2014)
- [5] J.J. Geng, & Y.F. Huang, ApJ, **809**, 24 (2015)



## GW170817产生于双奇子星并合吗？

来小禹

湖北第二师范学院

武汉 430205

Email: laixy@pku.edu.cn

引力波事件GW170817及其电磁对应体的观测无疑为研究脉冲星类天体的内部结构带来了前所未有的机遇。尽管LIGO研究组声称引力波观测结果并没有排除此次并合事件来自夸克星、黑洞或者更奇特的物体 (Abbott et al. 2017)，但是随后的关于电磁对应体 (紫外-光学-红外) 的众多观测文章都认为这次并合事件来自双中子星系统，原因是用基于Li-Paczynski (1998) 的图像发展而来的千新星模型 (例如Metzger et al. 2010) 可以解释此次观测到的光变曲线。诚然，脉冲星类致密天体的理论模型中，中子星模型是主流，所以对于中子星并合之后的电磁信号观测后果已经有了很多细致的建模和计算；相比之下，夸克星并合的电磁辐射特征的研究就少得多；而奇子星并合的详细研究甚至还没有。事实上，结合此次引力波和电磁信号的观测，目前并没有排除奇子星存在的可能 (arXiv:1710.04964)：

(1) 虽然电磁信号支持中子星的想法，但是引力波信号给中子星带来了一些挑战。在双星旋近过程中，星体由于潮汐力会发生形变，形变量的大小既由物态方程决定，又直接影响并合频率，所以引力波观测可以对潮汐形变给出限制，进而对物态方程给出限制。GW170817的观测排除了很多中子星的物态模型，而没有被排除的中子星物态模型都具有比较“软”的物态方程，最大质量不超过 $2.21M_{\odot}$ 。相反，最大质量超过 $3M_{\odot}$ 的奇子星没有被GW170817的引力波信号排除。

(2) 双奇子星并合也可能产生类似千新星的现象，其电磁辐射过程涉及两个阶段。1、奇子星并合过程中会抛射出奇子物质块，如果体积过小，它们是不稳定的 (Witten猜想认为大块的奇异物质是稳定的，而小块的奇异物质是不稳定的)，在短时间内会在强作用和弱作用下发生衰变。这可能可以解释在一天时标上的光度峰值；2、因为奇子星的极限质量可以大于 $3M_{\odot}$ ，所以两个质量为 $1.4M_{\odot}$ 的奇子星并合之后，会生成一个稳定的大质量奇子星而不会塌缩为黑洞，这个大质量奇子星的自转减速可能为光变曲线提供一个缓慢衰减的成分。在合理的参数范围内，这两个过程可以很好地拟合观测到的光变曲线。

(3) GW170817到底是双中子星并合还是双奇子星并合？如果观测上给出了生成大量丰中子元素的直接证据，那么双奇子星并合这一图像就可以被排除了。

我们完全有理由期待，在不远的将来，结合引力波信号和电磁信号，对于脉冲星类天体到底是中子星还是奇子星这一问题，可以给出确定的答案。



## Calvera: 一颗死亡的奇子星

李云扬

北京大学物理学院

中国 北京 100871

Email: liyunyang@pku.edu.cn

Calvera 是近年观测到的一颗特别的X射线脉冲星(Rutledge et al. 2008). 从辐射特征上来看, 它没有射电, 光学和伽马射线波段的辐射, 其X射线的光谱也几乎只有热成分, 而没有非热的部分, 说明其磁层是不活动的. 这些特点和一类被称为X射电暗的孤立中子星(XDINS)的源非常相似, 后者的自转周期都比较大(约有10秒), 且离我们非常近. Calvera的不同在于其较小的自转周期, 只有59毫秒, 而自转减慢的速率和XDINS差不多, 约为 $10^{-15} \text{ s s}^{-1}$ . 这表明它离传统中子星的死亡线非常远, 也就是说它应该有显著的磁层活动.

在传统的中子星框架下, 能谱拟合的结果显示其辐射半径和距离的比值约为2 – 5 km/kpc. 如果认为这是一颗典型的中子星, 那么它的距离应该至少有2 kpc. 鉴于其较高的银纬( $b = 37^\circ$ ), 如果认为其距离较大, 那么它将是一颗距离银盘非常远的脉冲星. 以其目前比较小的自行( $\approx 69 \text{ mas yr}^{-1}$ )来看, 这颗年轻的脉冲星不太可能是在银盘附近诞生的, 这和我们关于恒星形成的知识是不相符的.

面对以上的困难, 我们认为Calvera很可能是一颗距离我们比较近的奇子星. 奇子的物态方程允许较小半径的奇子星存在, 并且由于小半径的星体的磁矩较小, 其在表面产生的电势差也较小, 更不容易满足放电条件, 从而磁层活动很弱, 这也就解释了Calvera处于(中子星的)死亡线之上却没有磁层活动的疑难. 另一方面, 奇子星的X射线辐射来自于大气层的韧致辐射过程. 奇子星的大气辐射可以很好的拟合Calvera的X射线能谱, 只是由于其X射线光学薄的特点, 其辐射半径不能很好地限制. 通过光学波段的上限, 我们给出了辐射半径和距离比值的范围在0.4 – 10 km/kpc.

奇子星的大气层由吸积维持, 这一吸积过程同时也会影响中心天体的转动特征. Calvera的吸积率显著地大于星际介质的吸积率, 因此我们认为这一吸积是由回落盘实现的(见图示). 在回落吸积过程中, Calvera处于螺旋桨相, 大部分的物质在回落盘进入磁层处被甩出, 带走星体的角动量, 而少部分的物质通过不稳定性过程吸积到星体表面补充大气层并产生了观测到的X射线辐射. 应用上述模型, 我们对Calvera的半径和磁场给出了进一步的限制, 发现Calvera是一颗磁场较弱 $B < 10^{11} \text{ G}$ , 半径较小 $R < 4 \text{ km}$ 的奇子星. 随着时间的演化, 在约 $10^7$ 年后, Calvera的周期和周期导数会演化到和现在的XDINS非常接近的区域. 这说明Calvera很可能是已知的X射电孤立脉冲星早期的形态.



## FPS有感

刘成祺 (Chengqi Liu)

华中科技大学

武汉 430074

Email: 1003110975@qq.com

我作为一名大二学生，有幸参与了FPS6会议，首先感谢龚碧平老师对我的栽培。下面是我的一些感想。

FPS6会议的召开促进了中部地区天文学科的发展，对我个人而言觉得非常有意义。我看到了很多也学到了很多。首先我看到了目前的现状是蓬勃发展，各个专家学者对于天文的喜爱和贡献我深受感动，与会学生对天文的热情以及投入，我也是深深敬佩的，天文学科的人才结构是合理的。天文学作为一门古老的学科，但是天文仍然是有强大的生命力。主要体现在以下几点。1.天文因为与人类生活的地球有这遥远的距离，人们在特定时间看到的距离是有限的，只有等待其他学科的更新，天文才能紧随其后。2.天文与人类的命运息息相关，比如太阳的活动对地球的影响，其他天体会不会撞上地球，更大些比如地球寿命，地外殖民，地外探矿等等。3.天文与航天有密切联系。航天能力是一个国家强大与否的硬指标。而天文在深空探测方面有着得天独厚的优势。如果要做个比喻，那么把航海时代需要对大海进行探测，比喻为深空探测时代需要对太空进行探测一样。在这其中脉冲星又起着罗盘的作用，所以对脉冲星进行研究是非常有必要的。4. 脉冲星在深空探测方面，不仅可以起到指明方向的作用，也可以在相当长一段时间内作为时钟使用。5.脉冲星有着强大的磁场和极高的密度，这都是极端环境。可以对物理的适用边界进行研究，并提供了良好的天然实验室。

对于我而言，我学到了各位导师做研究的孜孜不倦和严谨的治学态度，当然还有一些研究方法。也让我近距离感受了最前沿的科学。听到了以前没听到过的新想法。对我的思想和未来的发展无疑具有巨大的帮助。在此谢谢各位前辈。最后我觉得这样的交流应该多多进行，大家在此可以进行思想上的碰撞，这样才有火花。火花可以燎原。谢谢。



## FPS6会议浅悟

刘芃妤 (Pengyu Liu)

北京大学物理学院

北京 100871

Email: [liupy@pku.edu.cn](mailto:liupy@pku.edu.cn)

2017年盛夏，FPS6如约在武汉召开，国内脉冲星研究者都会聚于此交流自己的学术进展。作为一名刚接触脉冲星没多久的本科生，非常感谢徐仁新老师让我有幸参加此次会议。演讲者讲述内容非常专业精湛，我虽然想听懂全部报告有些困难，但还是通过此次会议了解了目前国内脉冲星的研究进展。因为学识有限，可能不能准确领悟到演讲者的研究精髓，只能在此分享一些粗浅的感悟。

虽然脉冲星从1967年发现到2017年已经过去整整50年，但仍有许多未知的方面等着人们去研究。一如天文研究的特点，此次会议的演讲可分为观测和理论两个方面。观测上有讲脉冲星搜索和观测方法的，也有讲单个或多个脉冲星的观测结果的。理论上，有各种模型解释脉冲星的辐射机制，也有奇异物质之说解释脉冲星的组成。但不论观测还是理论，都离不开脉冲星的Timing特性，这也是脉冲星区别于其他天体的一大特点，更具有实用性，可用于计时和辅助导航。为了获得更好的脉冲星的Timing特性，大口径和多波段的望远镜是必需的。会议上提出的许多的理论就需要精确的观测结果来检验，关于观测的报告也需要更好的观测结果来改进。随着FAST的建成，希望能在2018年听到关于FAST观测结果的报告。

脉冲星研究涉及的领域不止天文，也有射电、工程等领域。在FPS6上就来自各领域的思维碰撞，交流脉冲星各方面的研究。不同视角观点的提出，可能会给研究者以启发，这也是学术交流的意义所在。在此次会议上，各研究者交流一年来的研究发现，其中有一些听起来新颖独到甚至有些奇怪，但说不定就是更符合事实的，毕竟许多科学新进展就是这样突破的。



# The timing irregularity of PSR J1705–1906

*Y. L. Liu*

*School of Physics, China West Normal University, Nanchong, Sichuan, China, 637002*

*Xinjiang Astronomical Observatory, CAS, 150 Science 1-Street, Urumqi, Xinjiang, China, 830011*

Email: [liuyulan@xao.ac.cn](mailto:liuyulan@xao.ac.cn)

## 1 Introduction

PSR J1705–1906, discovered in the second Molonglo pulsar survey in 1970s [1], is a rotation-powered radio and  $\gamma$ -ray pulsar with a period of 0.299 s and period derivative of  $4.1 \times 10^{-15} \text{ s s}^{-1}$ . This pulsar has a characteristic age  $\tau_c \sim 1.16 \times 10^6 \text{ yr}$ , and it is energetic with the spin-down energy loss rate of  $6.11 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$ . Assuming magnetic dipolar braking, PSR J1705–1906 has a dipole magnetic field  $B_s \sim 1.12 \times 10^{12} \text{ G}$ .

## 2 Observations and data reduction

The timing irregularity of PSR J1705–1906 have been determined with fourteen year pulse arrival time measurements using the Nanshan 25-m and the Parkes 64-m radio telescopes. The timing model [2, 3] for barycentric pulse phase,  $\phi$ , as a function of time  $t$  is,

$$\phi(t) = \phi_0 + \nu(t - t_0) + \frac{1}{2}\dot{\nu}(t - t_0)^2 + \frac{1}{6}\ddot{\nu}(t - t_0)^3. \quad (1)$$

A glitch will result in an additional pulse phase modeled by the equation:

$$\phi_g = \Delta\phi + \Delta\nu_p(t - t_g) + \frac{1}{2}\Delta\dot{\nu}_p(t - t_g)^2 + [1 - e^{-(t-t_g)/\tau_d}]\Delta\nu_d\tau_d. \quad (2)$$

## 3 Results

Figure 1 and Figure 2 show that PSR J1705–1906 exhibited significant red timing noise between MJD 51600 and MJD 55200, and it underwent two small glitches on MJD 55199 and MJD 55953. In order to determine the “amount of timing noise”, we calculate the  $\Delta_8$  value,  $\Delta_8 = \log(\frac{\dot{\nu}}{6\nu}t^3)$ . As this pulsar’s pre-glitch data-sets span at least 10yr, we obtained the  $\Delta_8$  value of  $-2.17(11)$ ,  $-2.65(22)$ ,  $-2.77(14)$  by fitting



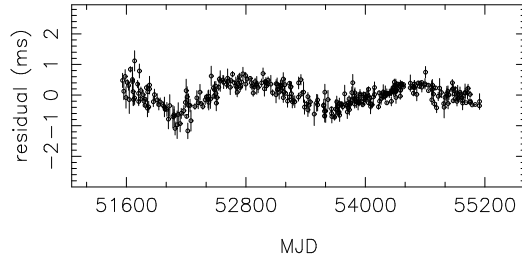


Figure 1: The timing residual of PSR J1705–1906 between MJD 51600 to MJD 55199.

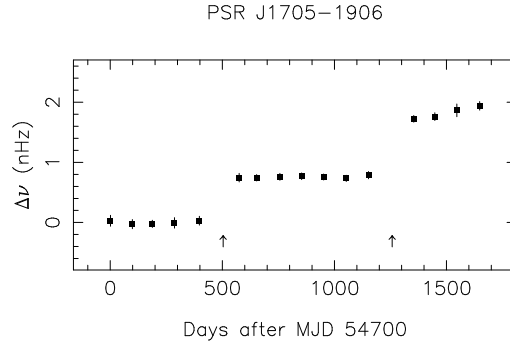


Figure 2: The variations of the spin-frequency residuals  $\nu$  shown two glitches occur around MJD 55199 and MJD 55953

for  $\nu$  and  $\ddot{\nu}$  in unique  $\sim 3$ yr segments. And, we use the Cholesky method [4] for the analysis of correlated timing noise, which has a power-law spectra with spectral index of  $\sim -3.4$ . The size of two glitches are  $\Delta\nu/\nu \sim 2.9 \times 10^{-10}$  and  $\Delta\nu/\nu \sim 2.7 \times 10^{-10}$ , these values are obtained by fitting for the glitch parameters using TEMPO2.

## References

- [1] Manchester, R. N., Lyne, A. G., Taylor, J. H., et al. **185**, 409 (1978)
- [2] Hobbs, G. B., Edwards, R. T., & Manchester, R. N. **369**, 655 (2006)
- [3] Edwards, R. T., Hobbs, G. B., & Manchester, R. N. **372**, 1549 (2006)
- [4] Coles, W., Hobbs, G., Champion, D. J., Manchester, R. N., & Verbiest, J. P. W. **418**, 561 (2011)

## 奇子物质中声速“超光速”现象的解释

卢吉光

中国科学院国家天文台

中国 北京 100012

Email: [lujig@pku.edu.cn](mailto:lujig@pku.edu.cn)

### 1 引言

构成脉冲星的物质的物态到目前为止还没有公认的结论，一方面是由于低能状态下非微扰QCD难以计算，另一方面在观测上目前也没有得到决定性的证据。但毫无疑问，脉冲星的最大质量能够非常有效地限制脉冲星的物态。两倍太阳质量的脉冲星的发现宣告了一大批脉冲星物态模型的死亡，其中也包括奇异夸克星模型。如果认为在中子星的核心处，中子物质会在高压下超子化，那么中子物质的物态变软同样会使得中子星的极限质量难以到达两倍太阳质量[1]。另一方面，尽管目前观测到的最大质量的脉冲星在两倍太阳质量左右，但是这也意味着脉冲星有着更大的极限质量。为了支撑起更大质量的脉冲星，需要更硬的物质。而奇子物质就是我们想要引入的足够硬的物质。

所谓奇子，是指带有奇异性的夸克数大于等于6的 $u$ ,  $d$ ,  $s$ 三味对称强子的统称。基于Witten猜想，在致密状态下物质倾向于奇异化，由 $u$ ,  $d$ 两味对称变为 $u$ ,  $d$ ,  $s$ 三味对称的。最轻的三味对称的粒子是 $\Lambda$ 粒子，但是两个 $\Lambda$ 粒子之间存在吸引势[2]，因此可以认为在致密物质中的基本组成单元是由两个或两个以上 $\Lambda$ 粒子组成的粒子，我们称呼它为奇子。比起核子，奇子有着更大的质量，因此有着更小的量子波包。这导致在致密物质中，奇子的粒子性比波动性更显著。当然，奇子物质的另一个特性就是它的硬度了。奇子之间的相互作用类似于核子之间的相互作用，长程吸引，短程排斥，且存在一个硬核。这意味着，在超核物质密度下，依然能够维持粒子性的奇子组成的物质将比表现出波动性的核子组成的物质更硬。

所谓更硬，是指在使得物质的密度发生同样程度的变化时，需要增加更大的压强。反映在物态方程里，即是 $\partial P/\partial\rho$ 的值更大。从经典力学的角度看， $\partial P/\partial\rho = c_s^2$ （其中 $c_s$ 是物质中的声速），因此为了保证因果律， $\partial P/\partial\rho$ 的值应当小于 $c^2$ （其中 $c$ 是真空中光速）。这样的判断看似合理，实则不然。事实上，经典的声速公式并不能够直接运用到致密物质中。Caporaso & Brecher (1979) 指出实际上能够构造满足 $\partial P/\partial\rho > c^2$ 的物态，而使其中的声速是亚光速的。可惜的是，他们没能给出光速的表达式。在我们的工作中，我们根据奇子物质的性质，采用了点粒子假设，在一维离散链中求解了奇子物质中的声速。



## 2 计算

起初，我们试图使用经典声速的计算方法，假定声波在介质中存在一个稳定状态，然后通过求解该稳态下声波的相位移动来计算声速。然而，计算结果给出的声速是可以超过光速的。显然这种计算方法是有问题的。问题在于在离散介质中，声波的反射会影响其相位。因此在这种情况下，通过相位移动计算出的声速是不对的。所以，必须在时域中求解信号在奇子物质中的传播速度。

在时域中，我们计算了一维离散链系统的传递函数，给出了其冲击响应，从而得到了其中的信号传播速度，

$$c_{\text{signal}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_S}} + \frac{1}{c}}$$

根据这一表达式，信号的传播速度总是小于光速。可以看出，当 $\sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_S}$ 远小于光速时，声速的表达式与传统声速的表达式一致；当 $\sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_S}$ 远大于光速时，声速会逐渐接近于光速，但永远小于光速。

## 3 结论

奇子物质中的声速“超光速”现象只是误将经典声速公式应用到致密物质中的结果，真实的奇子物质中的声速永远是亚光速的。这使得我们可以放心地使用奇子物质来描述脉冲星的物态，而不必担心违反因果律的问题。

此外，在双脉冲星系统并合过程中，需要考虑双星并合过程中产生的激波在星体内的传播速度，我们的计算结果也为此提供了理论依据。

## References

- [1] Schaffner-Bielich, J. 2008, Nuclear Physics A, 804, 309
- [2] Inoue, T. et al. 2011, Phys. Rev. Lett., 106, 162002
- [3] Caporaso, G., & Brecher, K. 1979, Phys. Rev. D, 20, 1823

# 快速射电暴的光度函数

罗睿  
物理学院天文学系 & 科维理天文与天体物理研究所  
北京大学  
北京 100871  
Email: luorui1991@pku.edu

## 1 FRB简介

快速射电暴是一种短时的射电爆发 [1][2], 持续时间很短, 只有几毫秒, 但流量却很高, 可以从1-100个央斯基分布。如此短暂的射电暴最显著的特征是它具有很强的色散, 色散量(DM)从300到2000  $\text{cm}^{-3} \text{pc}$ 。目前已发现的FRB有23个, 信号遍及中频800 MHz, L波段1.4 GHz或S波段2.4 GHz, 其起源机制目前还不清楚, 是近十年射电天文领域最重要的发现。

## 2 FRB距离

在去年的FPS5会议文集中, 我们已经通过对FRB宿主星系进行模拟, 得到来自不同宿主星系DM的概率密度函数(PDF)。而FRB的距离可以通过总的色散量去估计, 其中需要扣除银河系的贡献, 这里我们用到的是两个不同的银河系电子模型 [3]和[4]。然后河外的色散量(包括星系际介质[5]和宿主星系两部分)就可以用来计算FRB样本的红移分布, 如下所示:

$$\text{DM}(z) = \frac{3cH_0\Omega_b f_{\text{IGM}}}{8\pi Gm_p} \int_0^z \frac{\left[\frac{3}{4}y_1\chi_{e,\text{H}}(z) + \frac{1}{8}y_2\chi_{e,\text{He}}(z)\right](1+z)dz}{[\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda]^{1/2}} + \frac{\int_0^\infty n_{e,\text{host}}dl}{1+z} \quad (1)$$

## 3 马尔科夫链蒙特卡洛

为了更好的估计FRB光度函数的误差, 我们这里使用贝叶斯框架下的马尔科夫链蒙特卡洛方法(MCMC), 假设FRB的光度函数满足谢克特函数(Schechter function)的形式, 经过MCMC方法的求解(见Figure 1), 最终我们得到不同星系情况下的FRB光度函数参数(见Table 1)



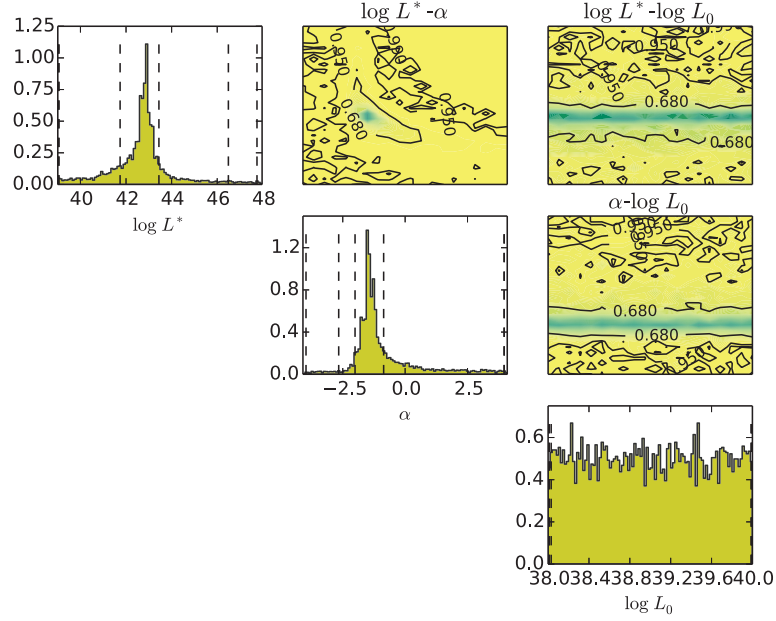


Figure 1: FRB光度函数参数限制(所有星系的情况)

## 4 结论

我们通过对FRB宿主星系的研究求解了FRB光度函数，发现现有的FRB样本的光度函数呈现幂指数为-1.5的衰减，其截止光度在 $10^{43}$  erg s $^{-1}$ 左右。这对FRB理论模型具有很强的限制，除此之外，还有助于我们去估计不同望远镜的FRB巡天效率。

参数	$\alpha$	$\log L^*$
早型星系 (基于NE2001)	-1.501 (-1.995, -0.932)	42.900 (41.651, 43.358)
早型星系 (基于YMW16)	-1.500 (-2.008, -0.778)	42.897 (41.653, 43.451)
晚型星系 (基于NE2001)	-1.498 (-1.926, -0.779)	42.900 (41.835, 43.453)
晚型星系 (基于YMW16)	-1.498 (-1.936, -1.046)	43.150 (42.197, 43.727)
所有星系 (基于NE2001)	-1.501 (-2.008, -0.861)	42.901 (41.740, 43.443)
所有星系 (基于YMW16)	-1.499 (-1.935, -0.963)	43.146 (42.105, 43.635)

Table 1: 光度函数参数估计

## References

- [1] Lorimer, D. R., Bailes, M., McLaughlin, M. A., Narkevic, D. J., & Crawford, F. 2007, *Science*, **318**, 777
- [2] Thornton, D., Stappers, B., Bailes, M., et al. 2013, *Science*, **341**, 53
- [3] Cordes, J. M., & Lazio, T. J. W. 2002, ArXiv Astrophysics e-prints, astro-ph/**0207156**
- [4] Yao J. M., Manchester R. N., Wang N., 2017, *ApJ*, **835**, 29
- [5] Deng, W., & Zhang, B. 2014, *ApJ*, **783**, L35.



## Measuring the Surface Temperature of High Magnetic Field Radio Pulsars

*C.-Y. Ng*  
*Department of Physics*  
*The University of Hong Kong*  
*Pokfulam Road*  
*Hong Kong*  
Email: [ncy@astro.physics.hku.hk](mailto:ncy@astro.physics.hku.hk)

Over the past decades, several pulsar classes among the population have been identified. The most extreme one is magnetars, which possess the strongest magnetic fields, have X-ray luminosities generally higher than their spin-down power, and occasionally exhibit violent outbursts. The birth and evolution of magnetars remain unknown. Recently, there is increasing evidence suggesting that they could belong to the same class as typical rotation-powered pulsars (aka “radio pulsars”) and be drawn from the same birth distribution.

In this scenario, high magnetic field ( $> 10^{13}$  G) radio pulsars offer an important transition class of objects to help understand the connection between magnetars and radio pulsars. High- $B$  radio pulsars occupy the same region in the  $P-\dot{P}$  diagram as some magnetars, but they behave like typical radio pulsars most of the time, including pulsations from radio to gamma-rays and power pulsar wind nebulae [1]. This implies that the dipole field is not the most critical parameter to distinguish these objects.

It was proposed that magnetars could have much stronger crustal  $B$ -fields, due to either toroidal or higher multipole components which are not observable from timing. The decay of the  $B$ -field would heat up the star, resulting in highest temperature for magnetars, followed by high- $B$  radio pulsars, and then typical radio pulsars [2]. To test this idea, it is the best to observe young, high- $B$  radio pulsars, since their surface temperature are generally high and not complicated by the cooling history and composition.

We analyzed the X-ray spectra of three youngest youngest high- $B$  pulsars, J1846–0258, J1119–6127, and B1509–58, using *Chandra* X-ray observations. We identified thermal emission from two of them. The results are listed in Table 1 and plotted in Figure 1. All the detections and limits are consistent with theoretical predictions [2], giving support to the unification picture of magnetars and radio pulsars.

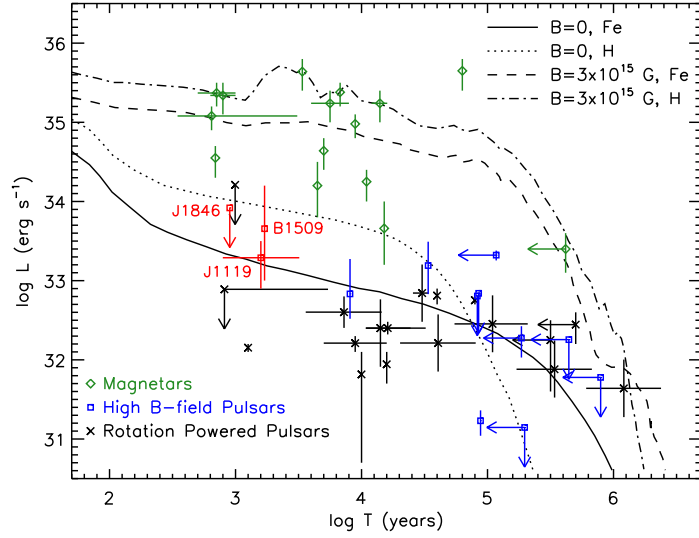


Figure 1: Thermal luminosity of high- $B$  radio pulsars compared with other pulsars [5]. The theoretical cooling curves are from [2].

Pulsar	$P$ (s)	$B$ (G)	Temp. (keV)	Ref.
J1119–6127	0.41	$4.9 \times 10^{13}$	0.21	[3]
J1846–0258	0.33	$4.1 \times 10^{13}$	$< 0.25$	[4]
B1509–58	0.15	$1.5 \times 10^{13}$	0.147	[5]

Table 1: Surface temperature of young High- $B$  radio pulsars.

## References

- [1] C.-Y Ng & V. M. Kaspi, in AIPC, **1379**, 60 (2011)
- [2] D. Viganò, N. Rea, J. A. Pons, et al. MNRAS, **434**, 12 (2013)
- [3] C.-Y Ng, et al. ApJ, **761**, 65 (2012)
- [4] M. A., Livingstone, C.-Y Ng, V. M. Kaspi, al. ApJ, **743**, 38 (2011)
- [5] C.-P. Hu, C.-Y. Ng, J. Takata, R. M. Shannon, & S. Johnston, ApJ, **838**, 156 (2017)



## 使用pyfits包操作PSRFITS文件

钱磊  
中国科学院国家天文台  
FAST工程  
中国 北京 100012  
Email: [lqian@nao.cas.cn](mailto:lqian@nao.cas.cn)

### 1 引言

PSRFITS文件是脉冲星观测的通用数据格式，有基本的规范，但是不同望远镜的PSRFITS文件可能有一些不同。对于FITS文件，NASA发布了cfitsio库<sup>1</sup>，包括fortran版和c语言版，后来有人对c语言版进行封装，做了python的fitsio包<sup>2</sup>。但是用python处理FITS文件常用pyfits包。pyfits包在计算机内存大于文件大小的情况下比较方便，在计算机内存小于文件大小时无法工作，因为pyfits会将文件整体读入内存。读入内存后，pyfits的操作就相对简单了。

### 2 PSRFITS文件头中的关键参数

不同望远镜产生的PSRFITS文件之间差别可以很大，但是头文件里有一些关键字是相同的，正是这些关键字让一个FITS文件成为PSRFITS文件。

首先，文件头扩展块中应该有一项

```
EXTNAME= 'SUBINT'
```

此外，还应该有类似于

```
NPOL = 1
```

```
TBIN = 0.1
```

```
NBITS = 16
```

```
NSBLK = 4096
```

```
POLTYPE = 'AA'
```

的项。其中NPOL和POLTYPE必须匹配，例如，POLTYPE可以有“AA”、“BB”、“AABB”、“AA+BB”等值，但对于NPOL=2，POLTYPE必须为“AABB”这样双偏振的值。

### 3 python实现

具体参见潘之辰的脉冲星数据处理程序包<sup>3</sup>，其中包含运行presto的脚本和一些处理psrfits文件的脚本。

---

<sup>1</sup><https://heasarc.gsfc.nasa.gov/fitsio/fitsio.html>

<sup>2</sup><https://pypi.python.org/pypi/fitsio/>

<sup>3</sup><https://github.com/qianlivan/RPPPS>

## Evolution of the pulsar braking index

*Hao TONG*

*School of physics and electronic engineering, Guangzhou University*  
*Guangzhou 510006, China*

Email: [htong\\_2005@163.com](mailto:htong_2005@163.com)

The braking index of pulsars may be a good diagnosis of the underlying spin-down mechanism. This is also true for magnetars. Previously, we developed our wind braking model for pulsars (Kou & Tong 2015, MNRAS, 450, 1990), and wind braking model for magnetars (Tong et al. 2013, ApJ, 746, 144). Recently, a pulsar with braking index larger than three is claimed (Archibald et al. 2016, ApJL, 819, L16). At the same time, more sources have braking index measured. The observational progress motivated us to consider the possible evolution of pulsar braking index.

By employing the evolution of pulsar inclination angle, the previous wind braking model can calculate the pulsar spin-down and inclination angle evolution simultaneously. The magnetic axis of a pulsar tends to align with its rotational axis. At the same time, the pulsar braking index is expected to evolve from larger than three to about one. This may explain pulsar braking index both larger than three and smaller than three. The general trend is for pulsar braking index to evolve from the Crab-like case to the Vela-like case. Details can be found in Tong & Kou, 2017, ApJ, 837, 117.

## 脉冲星射电辐射束观测检验的进展

王洪光

广州大学物理与电子工程学院

中国 广州 510006

Email: [hgwang@gzhu.edu.cn](mailto:hgwang@gzhu.edu.cn)

陈威威

广州大学物理与电子工程学院

中国 广州 510006

张颜荣

广州大学物理与电子工程学院

中国 广州 510006

### 1 引言

脉冲星的射电辐射束唯象模型有锥模型 (Conal-beam Model)、斑块模型 (Patchy-beam Model) 和扇形束模型 (Fan-beam model) 等 (见文献 [1]) 综述部分, 其中锥模型和扇形束模型能够给出明确的观测预言, 如就脉冲轮廓宽度和视线碰撞角的统计关系, 前者预言随着碰撞角增加, 脉冲轮廓宽度减小, 而后者则预言相反的趋势。我们的前期工作收集了余额70颗脉冲星的数据对上述预言进行了检验, 结果支持扇形束模型, 不过更进一步的检验需要更大的样本, 因此近年来我们着力于如何获得更大的样本, 其中关键的是如何从观测资料中提取碰撞角参数。

### 2 进展

脉冲星的磁倾角 (磁轴和自转轴的夹角) 和碰撞角 (视线和磁轴的夹角) 是两个重要的几何参量, 对研究脉冲星辐射模型、磁层结构、脉冲星演化、族群研究等都有重要价值。获得撞角以及磁倾角的途径十分有限, 目前主要是靠用旋转矢量模型 [3] (下称RVM) 拟合偏振位置角观测数据来限定。传统的基于格点搜寻或者基于Levenberg-Marquardt等算法的最小二乘法拟合方法存在着效率较低, 初始值敏感以及容易过拟合等问题, 此外和RVM模型预言的S型线偏振位置角曲线的脉冲星数量也有限, 使得能够得到这两个辐射几何参量的脉冲星样本较小, 只有六、七十颗。不过, 随着高质量观测数据的不断释放以及欧洲脉冲星轮廓数据库的完善, 可以用于拟合的脉冲星数目在增加, 其中有相当一部分还没有发表的拟合数据。

为了克服传统拟合方法的困难, 我们选择采用马尔科夫链蒙特卡洛 (MCMC) 方法, 并从欧洲EPN 数据库所有一千多颗脉冲星中选出300 多颗尚未有较可信的辐射几何参数发表、但有较高质量偏振位置角数据的脉冲星, 对它们的多频数据用了



新程序进行可拟合[2]., 对其中的123 颗脉冲星得到了较好的拟合结果。结合前人用传统方法给出的具有较可信辐射几何参数的64颗脉冲星, 构成了187 颗脉冲星的样本, 从而大大扩充了此类脉冲星样本, 这对开展后续多方面的工作提供了便利。

利用187颗脉冲星的辐射几何参数, 我们采用前期工作的方法, 考察了脉冲星累积脉冲轮廓宽度和碰撞角的关系, 发现观测数据的分布仍然与扇形辐射束的理论预言吻合, 而与锥辐射束模型有显著差异, 因而更大样本的数据仍然支持扇形束模型。

本工作受到国家自然科学基金的资助 (NSFC 11573008) 。

## References

- [1] Wang H. G., Pi F. P., Zheng X. P. et al., **789**, 73, (2014)
- [2] 陈威威, 王洪光, 张颜荣, 湖南文理学报, **28(4)**, 27, (2016)

## 平方公里阵列时代的脉冲星计时阵列

王炎 (Yan Wang)

华中科技大学物理学院

武汉 430074

Email: [ywang12@hust.edu.cn](mailto:ywang12@hust.edu.cn)

引力波是爱因斯坦广义相对论的预言，它是以光速传播的时空背景上的波动。与电磁波类似，引力波可以根据频率划分为不同的频段。2016年2月，美国LIGO科学合作组织宣布他们利用两个臂长4公里的L型地面激光干涉仪首次直接探测到了来自宇宙深处十三亿光年外两个恒星质量黑洞并合所发出的高频引力波。随后，LIGO又探测到了多个双黑洞并合产生的引力波以及双中子星并合产生的引力波。这些划时代的发现揭开了人类利用引力波探索基础物理，天文学和宇宙学的新纪元。与此同时，人们在尝试不同的方法探测低频，极低频和甚低频的引力波。目前提出的低频引力波探测计划有我国的天琴和欧洲的LISA等空间激光干涉仪。极低频引力波可通过大口径射电望远镜对一个阵列的毫秒脉冲星周期性射电脉冲的高精度计时来探测。国际上已有的脉冲星计时阵列 (pulsar timing array, 简称PTA) 合作组织包括 NANOGrav (北美), PPTA (澳大利亚) 和EPTA (欧洲)。我国在贵州建造的五百米口径FAST射电望远镜与国际合作的射电望远镜阵列平方公里阵列 (Square Kilometer Array, 简称SKA) 也将用于PTA 引力波的探测。

早期宇宙中频繁的星系并合可能产生超大质量双黑洞系统，其质量高达百万到十亿太阳质量。这些系统辐射出来的极低频引力波如果被PTA探测到，将成为它们存在的最直接证据，继而用于研究早期宇宙层级结构形成和演化的过程。我们近期的工作 (PRL **118**, 151104 (2017)) 通过逼真的数值模拟和定量的数据分析，预测基于SKA的PTA的灵敏度将比现有的PTA提高近三个数量级，几乎可以保证能够探测到超大质量双黑洞系统所发出的引力波信号。这个提升得益于SKA能够发现数以千计的新的毫秒脉冲星并对其开展高精度的计时，以及我们之前提出的克服大型脉冲星计时阵列数据处理中大参数空间困难的方法。此外，从SKA时代PTA的数据中可以获取引力波波源较为精确的空间位置信息 (见下图)，这使得未来对超大质量双黑洞下一代光学望远镜 (如LSST) 的联合多波段天文观测成为现实。

目前我们正在把这一工作推广到FAST，以及如何最优的设计观测策略。期间我们得到了FAST多位老师和同学的帮助。希望在下一次FPS会议中能够向大家介绍我们的工作。

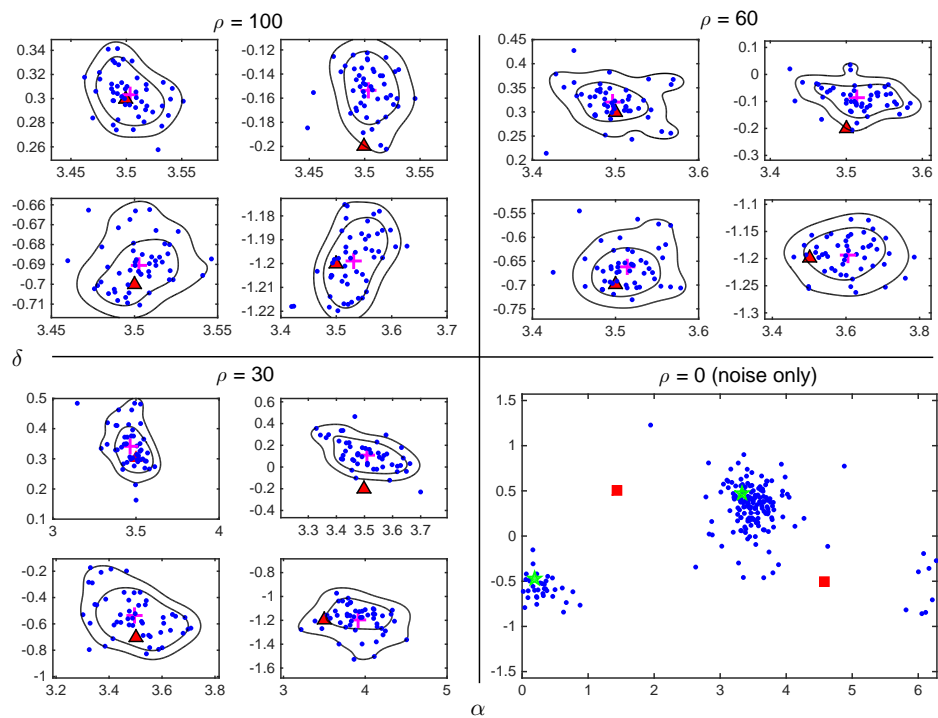


Figure 1: 本图展示了SKA时代PTA对引力波源空间方位的估计。 $\rho$ 代表不同的引力波强度。散点代表了不同噪音实现下对波源位置的估计。



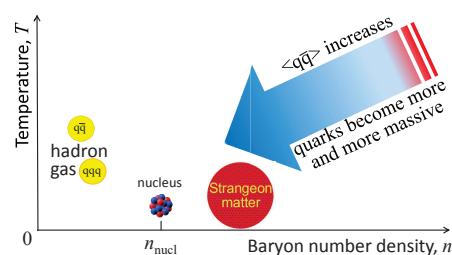
## 夸克禁闭否？

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

围着五百米望远镜晨练时，意识到拧紧一颗螺钉、记录一比特数据等琐碎对于认识自然界若干基本问题都是关键的，总会由衷地感到欣慰和神圣。这里我想说说夸克“色禁闭”；它据信是正确的（尽管未被证明），也跟FAST有因缘。

发现Higgs粒子后的粒子物理标准模型（特别是容纳中微子非零质量的推广）以及发现引力波后的广义相对论，如今越来越得到人们的信任。在这个框架内存在三种基本作用：广义相对论描述引力、WSG理论描述电弱作用、QCD描述强力，其中仅后两者为量子化理论。相应地，自然界也普遍存在三类凝聚态物质：**引力物质**（如星系、星系团，因引力而束缚）、**电物质**（如白矮星、砸牛顿的苹果以及牛顿本人）、**强物质**（原子核、中子/奇子星<sup>1</sup>）。脉冲星由强物质组成，它们是FAST关键观测目标之一。依靠FAST来拓展人类对强物质的认识，值得期待！

下面谈谈夸克禁闭。鉴于QCD的反屏蔽性，夸克在低能标（温度和密度都较低）时耦合较强、局域于某些系统（如强子、奇子）内，而在高能标（温度或密度较高）时因较弱耦合而非局域。后者是渐近自由的体现，在QCD范畴内被证明。这里似看不到“色禁闭”之必要。Qiu & Xu (2006) 也认为天体尺度下可能更易于出现带色的客体。有别于Xu (2003) 的**奇子相**（那里手征破缺），McLerran & Pisarski (2007, Nucl. Phys. A796, 83) 推测：当手征恢复但夸克还禁闭时将显**quarkyonic相**。这一看法笃信色禁闭。诚然，脉冲星是奇子物质还是quarkyonic物质所构成，都有迥异的天文观测后果。换言之，天体物理或可回答“夸克色禁闭否”。下图为我们猜测的QCD相图，这里不存在夸克色禁闭。



<sup>1</sup>鉴于这两种粒子（奇子和中子）都是近电中性，奇子星亦可看作广义的中子星，只是实现电中性的途径有异。前者基于三味夸克、后者则基于两味，目的都是“吃”掉常规重子物质被引力压缩时而不得不变得“高能”的众多电子（因受Pauli原理所约束）。参见FPS5文集22页。

# 上海天马射电望远镜脉冲星观测研究进展

闫振\*, 沈志强, 赵汝双, 刘杰, 黄志鹏

中国科学院上海天文台, 上海 200030

\*Email: [yanzhen@shao.ac.cn](mailto:yanzhen@shao.ac.cn)

## 1 上海天马射电望远镜简介

上海天马射电望远镜（简称TMRT）是中国科学院和上海市于2008年底联合立项，由中国科学院、上海市政府和我国探月工程专项共同出资建造的65米口径全方位可动的大型射电望远镜。经过一期和二期工程建造，成功实现了1.25–50 GHz观测频率覆盖。通过采用主动反射面技术，保证了各波段不同仰角观测天线效率均优于50%。脉冲星是TMRT重要科学目标之一。综合考虑脉冲星流量低和幂律谱特点，脉冲星观测一般在相对低频进行。TMRT在L（1.25-1.75 GHz）、S（2.2-2.4 GHz）、C（4-8 GHz）和X（8.2-9.0 GHz）观测时，其系统等效流量密度分别为39、46、40和48 Jy。和国际上同类型射电望远镜相比，TMRT具有一定比较优势（尤其在C波段）[1]。同时，该望远镜配备的数字化终端系统（DIBAS）具有优异的脉冲星观测性能。DIBAS具备相干消色散和非相干消色散功能，支持在线周期叠加和搜寻观测模式，其最高时间分辨率可达40.96微秒。

## 2 TMRT脉冲星研究阶段性成果

在TMRT建设过程中，我们有计划地穿插系统调试和科学观测。先后收到了并支持了多份脉冲星观测研究申请。研究者来自国内多个研究院所和大学，包括国家天文台、上海天文台，新疆天文台、航天五院、北京大学、广州大学、贵州师范大学，等。到目前为止，TMRT取得一些脉冲星研究阶段性成果。

### 2.1 银心磁星J1745-2900观测研究

TMRT对银心磁星J1745-2900 在X波段进行监测研究，成功捕捉到其射电爆发。根据观测结果，得到了该磁星积分轮廓以及流量随相位和时间的变化情况，发现其积分轮廓和流量均表现出剧烈变化，其中流量变化幅度可达10倍以上。同时，还发现每次观测中该磁星辐射也表现出非常短时标的单脉冲爆发现象（见Figure 1）。为深入了解该磁星单个脉冲特性，研究人员对脉冲宽度和峰值又进行量化分析，并发现了由银心周围星际介质散射引起的脉冲“拖尾”[2]。该项观测研究表明磁星辐射的多变性和复杂性，对揭示磁星辐射机制，探测银心黑洞周围物理环境均具有重要意义。

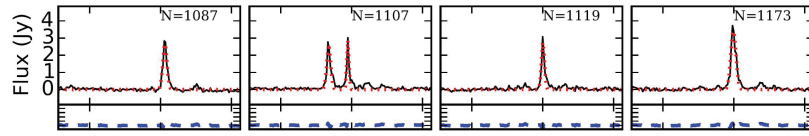


Figure 1: 磁星J1745-2900单脉冲爆发

## 2.2 脉冲星多波段积分轮廓及其辐射特性

由于脉冲星流量随频率升高而迅速降低，因此高频观测对望远镜灵敏度提出了更高要求。然而，高频辐射更靠近脉冲星表面，其高频辐射观测对研究其辐射机制具有更重要意义。TMRT在8.6 GHz新获得了11颗脉冲星的积分轮廓，将整个8-9 GHz已知脉冲星积分轮廓样本扩大了20%。结合低频观测结果，研究发现中心核成分比外围成分谱指数更陡[3]。TMRT观测获得脉冲星PSR B1133+16目前已知最高频（8.6 GHz）积分脉冲轮廓。结合其它望远镜低频观测数据，发现平方双曲正割函数更能拟合其桥辐射。通过计算不同模型下粒子加速的洛伦兹因子，提出其辐射很可能来自环区域，而非核区域[4]。利用TMRT及其它望远镜对PSR B0329+54和PSR B1642-03的多频观测结果，对射电辐射的粒子加速区位置、辐射束的形式、辐射高度等信息进行限定。通过模拟其辐射高度随频率的演化，进一步验证了ICS理论模型[5]。

## 2.3 脉冲星VLBI观测研究

脉冲星的VLBI观测研究是近些年兴起的新的研究热点。多历元VLBI观测可精确测定脉冲星速度和距离。该测量不依赖于任何模型，是真正意义的直接测量。上述参数的测定对研究脉冲星形成与演化、揭示其辐射机制、建立银河系电子密度模型等都具有重要意义。对于高纬度脉冲星，仅仅使用美国VLBA网进行观测，受到其东西方向基线投影长度的限制，测量精度受到较大限制。TMRT加入不仅使得整个VLBI网基线长度从8600 km增加至11600 km，还显著改善了观测UV覆盖情况。经过技术攻关，目前TMRT和美国VLBA网成功开展脉冲星联合观测，数据记录速率从512 Mbit/s提高到2 Gbit/s，脉冲星位置测量精度提高了3倍左右。

## 2.4 射电脉冲爆发的自动识别

为满足TMRT开展脉冲爆发类天体研究的需要，我们开发了检测射电脉冲爆发的数据处理软件。该软件主要包括零色散滤波、DM搜寻、阈值设定及匹配滤波、效果图检验等功能模块。利用该软件处理TMRT对Crab脉冲星的试观测数据，成功地探测到其巨脉冲辐射（见Figure 2）[6]。

此外，脉冲星到达时间监测以及脉冲星搜寻都作为TMRT的重要脉冲星观测课题。这些课题都将耗费大量的观测时间。TMRT将对300颗左右的脉冲星进行常规



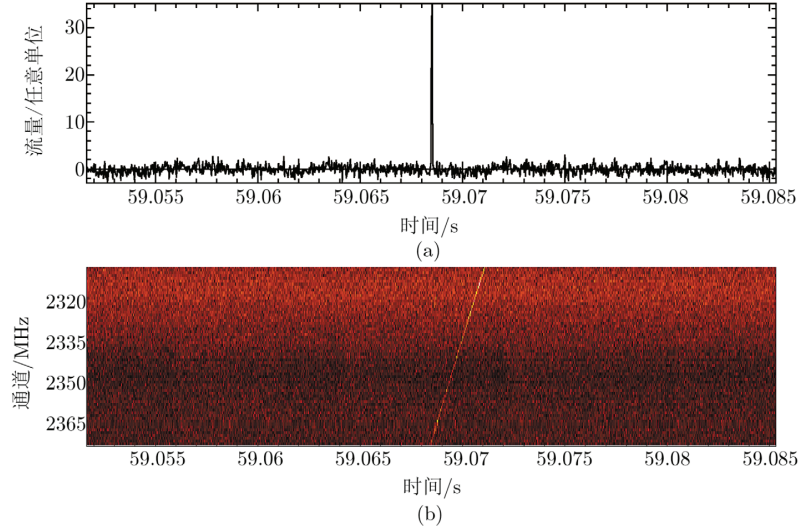


Figure 2: Crab脉冲星的巨脉冲探测实例

到达时间监测，其中包括毫秒脉冲星，年轻脉冲星等各种类型脉冲星。在脉冲星搜寻方面，我们选择银心、球状星团以及无对应体的费米点源进行有的放矢的搜寻。TMRT还将对FAST新发现脉冲星及候选体进行观测认证和后续研究。

### 3 总结和展望

总之，脉冲星是TMRT重要科学目标之一。目前已取得了一些阶段性成果。随着观测系统进一步提升及数据积累，一系列脉冲星研究成果是完全可期待的。

## References

- [1] 闫振, 沈志强, 吴鑫基, FPSII, 2013, 48: 50
- [2] Yan, Z., Shen, Z.-Q., Wu, X.-J., et al. 2015, ApJ, 814, 5
- [3] Zhao, R.-S., Wu, X.-J., Yan, Z., et al. 2017, ApJ, 845, 156
- [4] Lu, J. G., Du, Y. J., Hao, L. F., et al. 2016, ApJ, 816, 76
- [5] Shang, L.-H., Lu, J.-G., Du, Y.-J., et al. 2017, MNRAS, 468, 4389
- [6] 龚奥博, 闫振, 沈志强, 等, 上海天文台年刊, 2015, 36, 72

## FPS心得

易疏序

香港大学

香港特别行政区薄扶林道

中国 香港

Email: [shuxuyi@gmail.com](mailto:shuxuyi@gmail.com)

今次FPS是我博士毕业以来参加的首个会议，也是我最开心的一次会议。这开心有三重，第一是我报告了作为博士后的第一个工作，也是我在脉冲星高能辐射模型的初次尝试的成果。如果说毕业答辩是我正式告别学生身份的仪式，那么这次报告就是我正式拥抱博士后身份的仪式；第二是我的报告被各位脉冲星领域的前辈中意，评上了 Crab 奖。这给了我莫大的鼓励；第三是最重要的，这次会议给我的收获比以往其他会议都大：

知识方面：这些报告的内容紧紧围绕着脉冲星，又内容十分丰富。从timing, profile evolution, 高能观测与模型, 到中子星（夸克星）内部结构、磁层模型、引力波观测，又到射电望远镜介绍、数据处理方法、脉冲星观测历史综述，以前还没有一次报告让我感觉如此既包罗万象，又环环相扣联系紧密。（当然也许我之前博士生阶段的知识积累不够，每次只能听懂一小部分的报告）。

脉冲星天文学是一个由特殊天体目标定义的学科，诚然是个“小学科”；然而它集中了强磁场、强引力、极端高速、极端高密度的环境，因此用它可以研究许多基础物理学的最精妙前沿的部分：引力理论（检验相对论和 alternative gravity）、凝聚态物理（中子超流 Glitch）、粒子物理（QCD、测量光子质量）、等离子体物理（磁层结构、辐射机制、pulsar wind 加速机制）；除此之外，它又可以作为工具研究许多基础的天文学问题：恒星演化、伴星质量（用 timing 方法在双星系统中得到的质量精度是其他场合无法比拟的）、星系并和历史（纳赫兹引力波探测）、星系暗物质分布（旋转曲线和 Dynamical friction），此外还可以用作脉冲星导航（以上提到的方方面面，在这次会议中的报告都有提及）。如此“窥一斑而知全豹”的小学科，真是不多见。

其他方面：在香港呆了快一年了，回到内地见到久违的同学和老师：佳能、罗睿、汉城、全号、王炎、珂伽、高老师、徐老师，谈了些灵感，交换了些八卦；还有第一次见到了邮件联系很久的张力教授和“网友”啊鸣同学。又吃了热干面、满载鸭脖而归，能不高兴乎？（不能）

## 三轴转动致密星

周恩平 (Enping Zhou)

北京大学物理学院

北京 100871

Email: [epzhou@pku.edu.cn](mailto:epzhou@pku.edu.cn)

随着advLIGO/VIRGO测到双中子星并合的引力波事件以及其他70多家天文台对其电磁对应体的观测，多信使天文学的时代终于来临，把引力波观测和电磁辐射结合起来以深入了解致密星的物态方程也成为了可能。除了并合的双致密星系统，快速转动的致密星也是可被地基激光干涉仪引力波天文台所探测到的重要引力波源。在过去的数十年里，旋转星体的平衡位型已经被研究过很多，从牛顿引力下不可压缩流体的转动位型，到广义相对论描述下致密星的快速刚性转动乃至较差转动位型都有相关研究。尤其是，当星体转动能与势能之比超过一个临界值时，无论在牛顿引力下还是广义相对论框架中，星体的最稳定位型都从轴对称椭球变为了三轴椭球。具有三轴形变的快速转动星体不但可以辐射引力波，还可能与脉冲星的极限转动周期有关，为了更深入得了解这种位型与物态的关系，我们在广义相对论框架里构建了三轴转动夸克星的准平衡位型（如图1所示）。

与三轴转动中子星相比（Huang et al. 2007），我们发现三轴转动夸克星主要具有如下三个特点：第一，夸克星在达到三轴转动的开普勒极限之前，可以具有更大的三轴形变；第二，对于中子星而言，当致密度（ $M/R$ ）变大时，三轴转动解的序列会变得越来越短直至三轴转动解彻底消失，而夸克星则不然，夸克星甚至可以具有超过TOV极限质量的三轴转动解，这两点不同都来自于夸克星的自束缚特性使得夸克星可以具有更大的动能势能比。第三，对于具有类型形变程度的中子星和夸克星，夸克星辐射引力波的能力会略强一些（大约3倍左右），这点不同也是由于夸克星具有一个有限密度的表面，从而使得几何形状类似的一个中子星的质量四极矩比夸克星要小得多。

三轴形变的转动致密星的另一个特点是，在限定星体质量的情况下，当角动量增加时候，星体的转动角速度反而会减小，这是因为在角动量增加的时候，星体会发生更大的三轴形变，从而使得转动惯量增大的幅度超过了角动量的增加，使得转动角速度不增反降，这与轴对称转动星体是相反的。这也就意味着，从轴对称像三轴形变转变的临界点的角速度，实际上就决定了一颗脉冲星能够达到的最大的角速度，因为在此临界点，无论获得角动量还是损失角动量，都不能达到更大的角速度了。通过对比夸克星和中子星的轴对称到三轴对称的临界点的性质，我们发现了，在同样的质量下，夸克星（无论是传统的MIT Bag model还是奇子星模型）可以达到比中子星更快的转动角速度。

通过以上几点不同，如果未来可以探测到三轴形变转动致密星的引力波辐射，或者通过FAST等射电望远镜找到更快转动的脉冲星（比如亚毫秒脉冲星），都可以帮助我们更好得认识致密星到底是中子星还是夸克星又或者奇子星这个问题。



## 致密星相对论潮汐Love数的计算与测量

周恩平 (Enping Zhou)

北京大学物理学院

北京 100871

Email: epzhou@pku.edu.cn

GW170817的信号中, 蕴含了大量可能帮助我们理解致密星物态的观测数据。一方面, 通过引力波的信号, 我们可以精确测量双星系统的总质量, 再结合并合后的引力波特征或者电磁对应体的一些特征, 就有可能对致密星的极限质量做出限制。当然, 由于GW170817的信号中并没有并合后的信号, 故而只能通过电磁对应体来做出一些间接限制, 通过这一方法做出的限制相对来说是模型依赖的。另一方面, 旋进阶段当双星系统较为靠近(尤其是引力波频率大于500赫兹之后)时, 有可能通过引力波的波形限制致密星的潮汐形变能力。GW170817的观测给出了致密星潮汐形变能力的上限, 由于这一测量只依赖于系统的动力学行为而且仅仅通过引力波波形即可得到, 因而可信度更高, 更适合用来限制致密星物态。

限制潮汐形变能力的原理也非常简单, 正如同地球和月球这个双星系统由于潮汐作用而导致地球的自转角动量持续转移给轨道角动量从而使得轨道间距渐渐变大, 地球的自转角动量渐渐变小一样, 两个致密星在旋进的最后阶段, 由于彼此的引力场, 也会发生潮汐形变, 并导致自转角动量和轨道角动量的交换。只是与地月系(地球的自转角速度远大于公转角速度)不同, 由于致密星在并合前经过数百万年甚至更久的磁偶极制动以及接近于没有自转, 故而双致密星系统中潮汐作用的效果是轨道角动量转移给自转角动量, 从而加速并合的发生。通过比对实际引力波信号与两个质点的并合信号的区别, 便可给出对两颗星潮汐形变能力的限制。

那么如何利用这个测量来对物态进行限制呢? 我们可以对于特定的物态, 去从理论上计算它所对应的潮汐形变能力, 再去与观测进行对比, 便可知道一个物态是否能满足GW170817的观测。我们首先需要对于这种物态建立一个静态球对称时空解, 即TOV解。得到这个时空的度规之后, 我们需要对这个时空进行一个扰动, 来实现“外潮汐场”的效果, 扰动后的时空的爱因斯坦张量和星体的能动量张量会跟TOV的解发生一个偏离。联系这两个偏离量即可得到一个微扰后的爱因斯坦场方程, 这是一个关于时空扰动的二阶微分方程。我们在星体内部和外部选取合适的初条件和边界条件即可求解这一方程, 确定出星体的潮汐形变能力。

GW170817的观测结果表明发生并合的两个致密星具有较小的潮汐形变能力(1.4太阳质量的星体对应的 $\Lambda$ 小于800), 包括APR4以及MIT bag模型和奇子星在内的许多模型都满足这一限制。

## Scientific Program of FAST/Future Pulsar Symposium 6

June 28-30, 2017, Hetian Hotel/Hubei University of Education, Wuhan

(Language: *English or Chinese*; but the presentation is suggested to be written in English)

### ===== Wednesday, June 28 =====

10:00 -- 12:00 Registration (*the lobby of Hetian Hotel, 荷田酒店大厅*)

13:30 To assemble at the lobby of Hetian Hotel and to leave for HUE

13:30 -- 14:00 Registration (*湖北二师行政楼 5 号会议室*)

**Conference Opening (*in the No. 5 meeting room of Hubei University of Education*)**

14:00 -- 14:10 Taking a photograph of participants

14:10 -- 14:20 Welcome address

**Chair: Renxin Xu** (20min = 15+5)

14:20 -- 14:40 Hsiang-Kuang Chang: *A next-generation Compton telescope: Compton Spectrometer & Imager*

\*14:40 -- 15:00 Hsiung-Tseng Chao: *Observation of the Crab in the COSI 2016 flight*

15:00 -- 15:20 Yuanjie Du: *Long-term variations of X-ray pulse profiles for the Crab pulsar*

\*15:20 -- 15:40 Hancheng Li: *POLAR: Crab Pulsar Detection*

15:40 -- 16:00 *Coffee Break*

**Chair: Li Zhang** (20min = 15+5)

16:00 -- 16:20 Stephen Ng: *Measuring the Surface Temperature of High Magnetic Field Radio Pulsars*

\*16:20 -- 16:40 Rushuang Zhao: *TMRT observations of 26 pulsars at 8.6 GHz*

\*16:40 -- 17:00 Jie Liu: *H maser residual correction for TMRT Timing*

\*17:00 -- 17:20 Zhichen Pan: *并行运行PRESTO 搜索流程的尝试和结果*

**Banquet, 18:00 – 20:00 (*in the dinning room of Hetian Hotel*)**

### ===== Thursday, July 29 =====

**No.7 meeting room of Hetian Hotel**

**Chair: Stephen Ng** (20min = 15+5)

08:30 -- 08:50 Li Zhang: *TBD*

\*08:50 -- 09:10 Jing Zhao: *Mode Change of the gamma-ray pulsar PSR J2021+4026*

\*09:10 -- 09:30 Yulan Liu: *Astrometry, timing irregularities and pulse profile of the PSR J1705–1906*

\*09:30 -- 09:50 Enping Zhou: *The properties of Hyper-/Supra-massive compact stars in BNS mergers*

09:50 -- 10:20 *Coffee Break*

**Chair: Biping Gong** (20min = 15+5)

10:20 -- 10:40 Xiaoping Zheng: *Neutron Stars Surrounded by Dark Matter*

10:40 -- 11:00 Yongfeng Huang: *Searching for strange quark planets around pulsars*

\*11:00 -- 11:20 Shuxu Yi: *A new approach to the GeV flare of PSR B1259-63/LS2883*

\*11:20 -- 11:40 Mao Yuan: *Supernova Neutrino in a Strangeon Star Model*

\*11:40 -- 12:00 Jiguang Lu: *Why strangeon matter be “superluminal”?*

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

**Chair: Yongfeng Huang** (20min = 15+5)

14:00 -- 14:20 Chengmin Zhang: *脉冲星发现 50 年, 那些往事与重要进展*

\*14:20 -- 14:40 Yuanpei Yang: *Pulsars as Probes of Fundamental Physics*

\*14:40 -- 15:00 Zheng Wang: *A Liquid Drop Model of Strangeon Matter*

15:00 -- 15:20 Xiaofeng Cao: *Modeling the Redshift and Energy Distributions of Fast Radio Bursts*

\*15:20 -- 15:40 Rui Luo: *Simulating dispersion measure of FRB host galaxies to derive luminosity function*

15:40 -- 16:10 *Coffee Break*

**Chair: Hongguang Wang** (20min = 15+5)

16:10 -- 16:30 Yunwei Yu: *Constraining the Age of a Magnetar Possibly Associated with FRB 121102*

16:30 -- 16:50 Hao Tong: *Wind braking of pulsars: evolution of the braking index*

16:50 -- 17:10 Lin Lin: *Recent Research Achievements of Magnetars*

17:10 -- 17:30 Hao Shan: *Compressed sensing based Pulsar profiles denoising and de-dispersion*

===== Friday, June 30 =====

**No.7 meeting room of Hetian Hotel**

**Chair: Hsiang-Kuang Chang** (20min = 15+5)

08:30 -- 08:50 Xia Zhou: *Dependence of pulsar death line on the equation of state*

08:50 -- 09:10 Zhifu Gao: *The spin-down and magnetic field evolutions of PSR J1734-3333*

09:10 -- 09:50 **Announcement of Crab and Vela Prizes**

09:50 -- 10:20 *Coffee Break*

**Chair: Xiaoping Zheng** (20min = 15+5)

10:20 -- 10:40 Youling Yue: *FAST: Recent Progress*

10:40 -- 11:00 Zheng Yan: *Pulsar Studies with Shanghai Tian Ma Radio Telescope*

11:00 -- 11:20 Yan Wang: *PTA-Based Search for Supermassive BH Binaries in Square Kilometer Array Era*

11:20 -- 11:40 Weiwei Zhu: *Testing Gravitational Symmetries with Pulsars*

11:40 -- 12:00 Renxin Xu: *Strangeness in Compact Stars*

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

=====

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

The chair would **remind** the speaker “**3 min**” after talking for 12 minutes.

**NOTE** for *Dining Service*: at the first floor of Hetian Hotel (荷田酒店一楼芙蓉阁)

Buffet Breakfast: 07:00—08:30

Buffet Lunch: 12:00—13:00

Buffet Dinner: 18:00—19:00

**Score suggested for the members in ad hoc committee**

Crab: 85~95, Vela: 75~85