



中国科学院国家天文台

NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORIES, CAS

SKA Pulsar Science Symposium 2023

# “脉冲星理论研究支撑” 项目进展报告



北京大学

PEKING UNIVERSITY

报告人：邵立晶

单位：北京大学

## 1、项目概要

## 2、科学亮点举例

2.1 物态测量

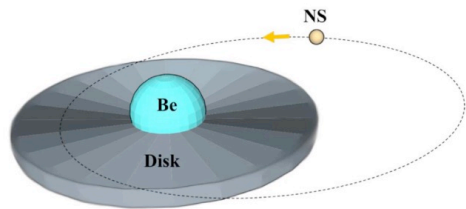
2.2 引力检验

2.3 磁层建模

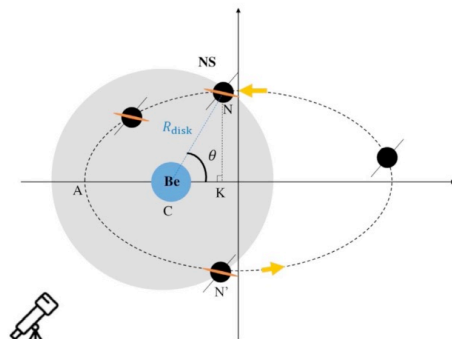
2.4 中子星天体物理

2.5 数值相对论

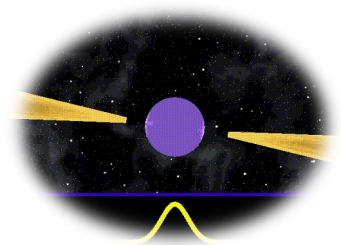
## 3、学术会议与科学普及



(a)

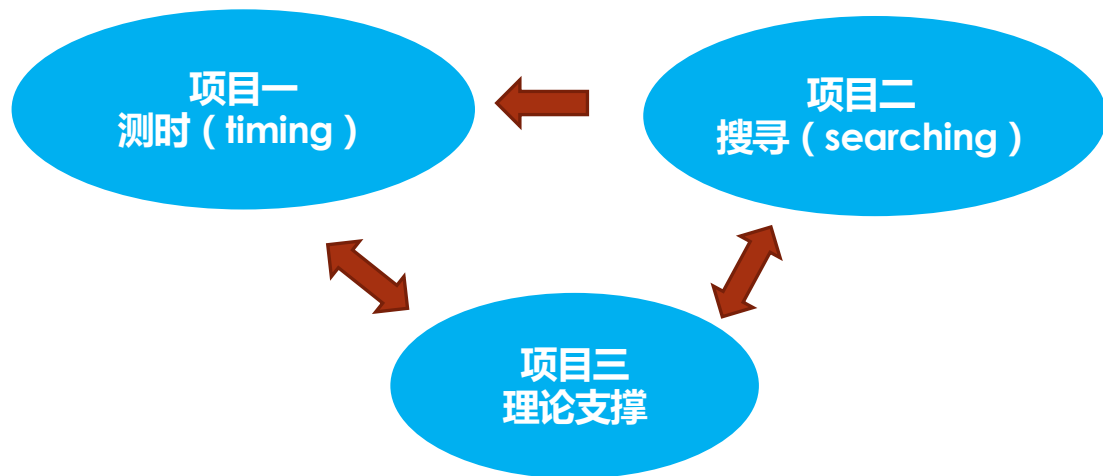


(b)



# 项目概要

- 项目三 “脉冲星理论研究支撑” 与项目一、项目二的科学研究内容紧密配套、相互绑定
- 对项目一、项目二将得到的科学观测数据做理论支撑，为SKA搜寻到的脉冲星的测时数据实现最大化的科学产出做好全面的准备



## 一、脉冲星中的**基本物理**理论研究（7人）

- **北京大学（邵立晶）**，**华中科技大学（龚碧平、周恩平）**，**中国科学技术大学（袁业飞）**，**上海交通大学（陈列文）**，**厦门大学（李昂）**，**湖北第二师范学院（来小禹）**

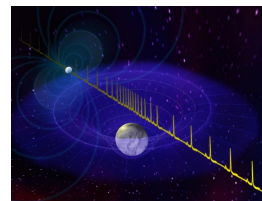
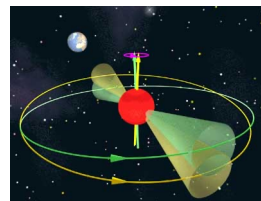
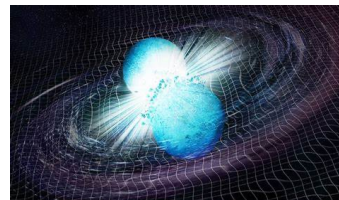
## 二、脉冲星中的**天体物理**理论研究（6人）

- **中国科学技术大学（戴子高）**，**南京大学（黄永锋）**，**华中师范大学（郑小平、俞云伟、夏铨君）**，**广州大学（仝号）**

# 项目概要

- **研究目标**：提供**脉冲星理论**多维度的支撑（+人才培养）
- **研究内容**：
  - 检验爱因斯坦的广义相对论
  - 研究脉冲星的辐射，探讨脉冲星辐射的几何、磁场与机制
  - 测量中子星的超核密度的物态方程
  - 通过数值相对论模拟，研究中子星的内部结构
  - 理解前沿热点中的若干物理过程中特殊类别中子星的作用

**文章发表情况**：62篇（第一标注；10篇为本土杂志）



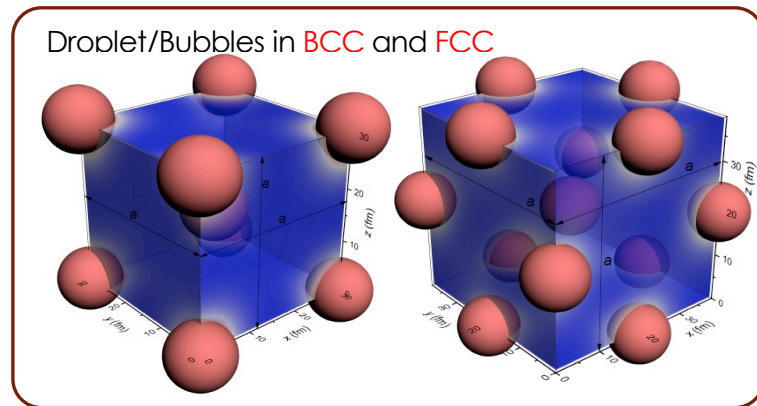
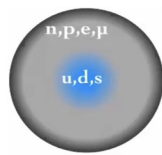
## ■ 厦门大学李昂组和华师夏铨君组：夸克星和中子星的物态异同以及观测

### 1. 三维格点求解核物质pasta相结构

Xia et al. 2021, PRC

### 2. ud夸克物质团及夸克星

Wang, Hu, Xia, et al. 2021, Galaxies



### 3. 中子星 r-模流体不稳定性

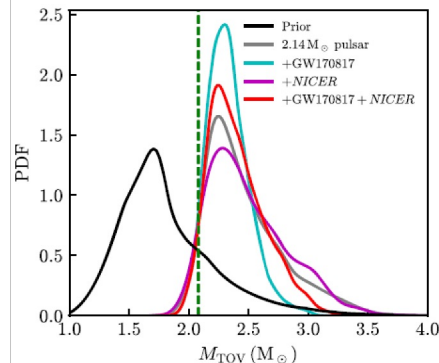
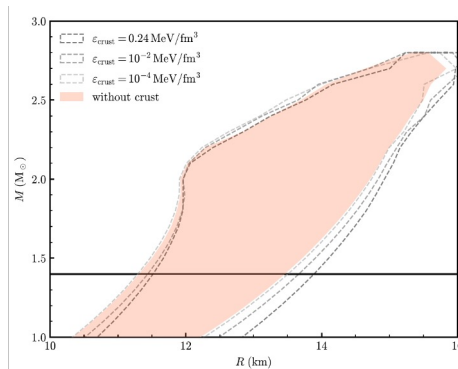
Zhou, Li, Li 2021, ApJ

### 4. 中子星（混杂星）最大质量

Li et al. 2021, ApJ

### 5. 夸克超流和壳层的影响

Li et al. 2021, MNRAS



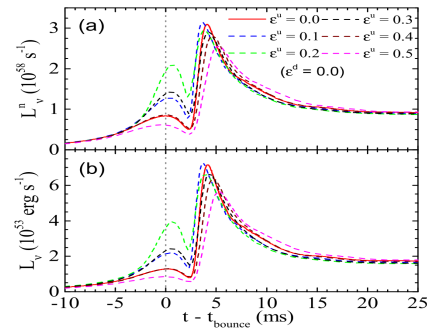
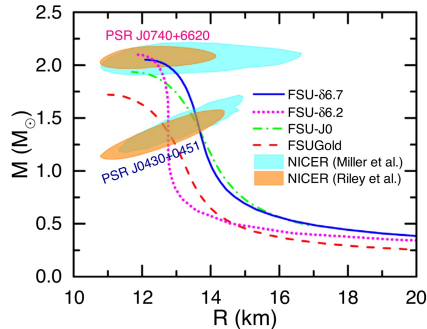
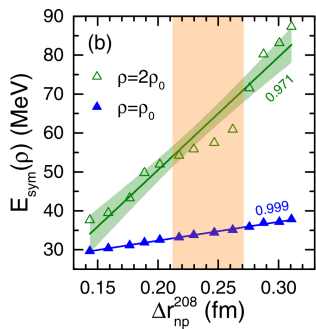
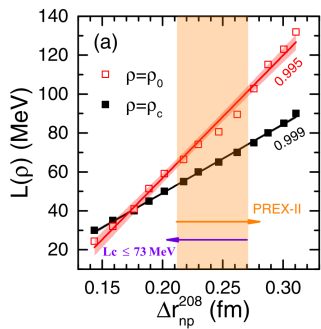
# 科学亮点举例1：物态测量

- 上交大**陈列文**组从**微观粒子**的角度，揭示了**同位旋矢量-标量 $\delta$ 介子**对**中子星结构的重要影响** Li et al. 2022, ApJ

- 提出多信使时代 **PREX-II 中子皮实验**对**对称能**的约束 Yue et al. 2022, PRResearch

- 提出利用**超新星中微子**来精确确定原子核的**中子皮** Huang et al. 2022, PRD

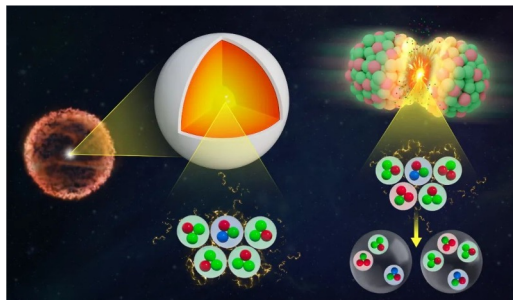
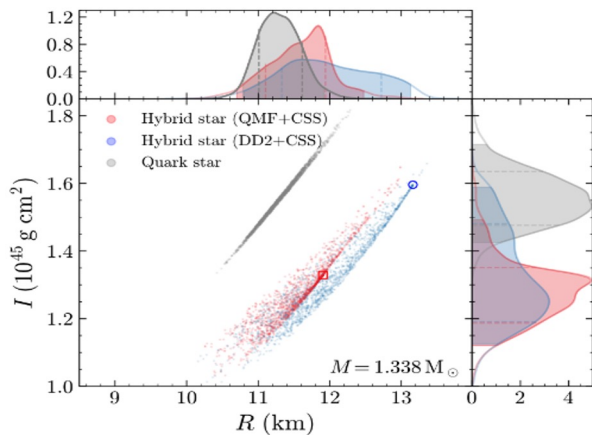
- 提出使用**超新星中微子**探测超标准模型相互作用新方法 Huang et al. 2021, ApJL



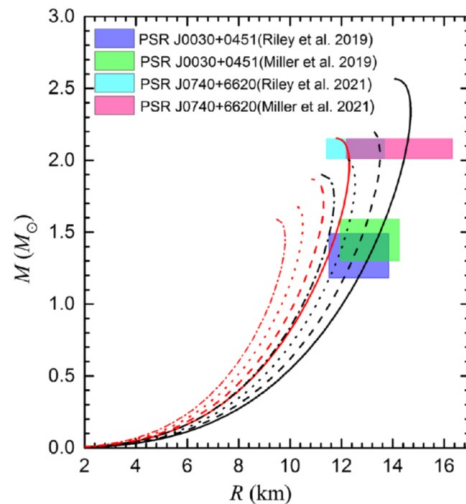
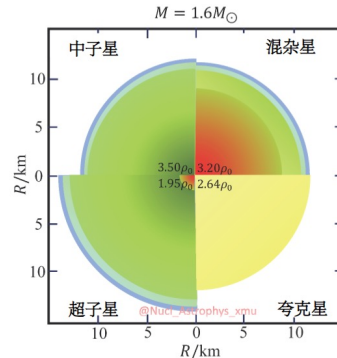
# 科学亮点举例1：物态测量

■ 华师郑小平组和厦门大学李昂组结合射电脉冲星、引力波、NICER X射线观测，对中子星、夸克星、混杂星的物态方程进行了新的限制

■ 提出对**最大质量**和**r模流体不稳定性**的预言



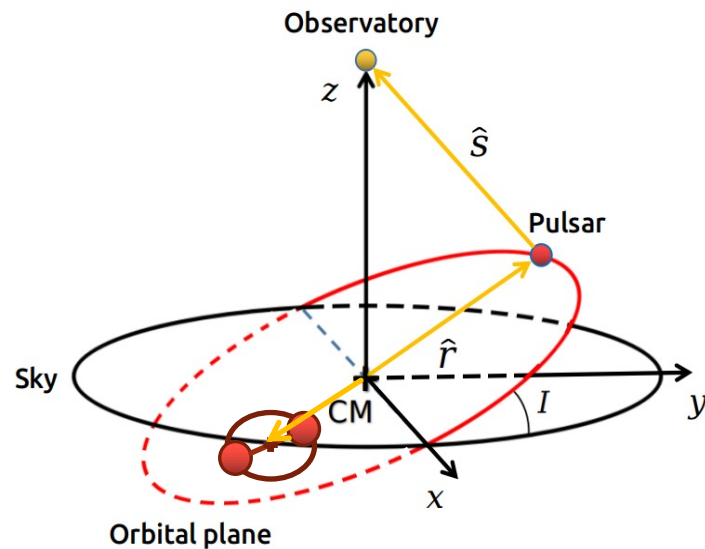
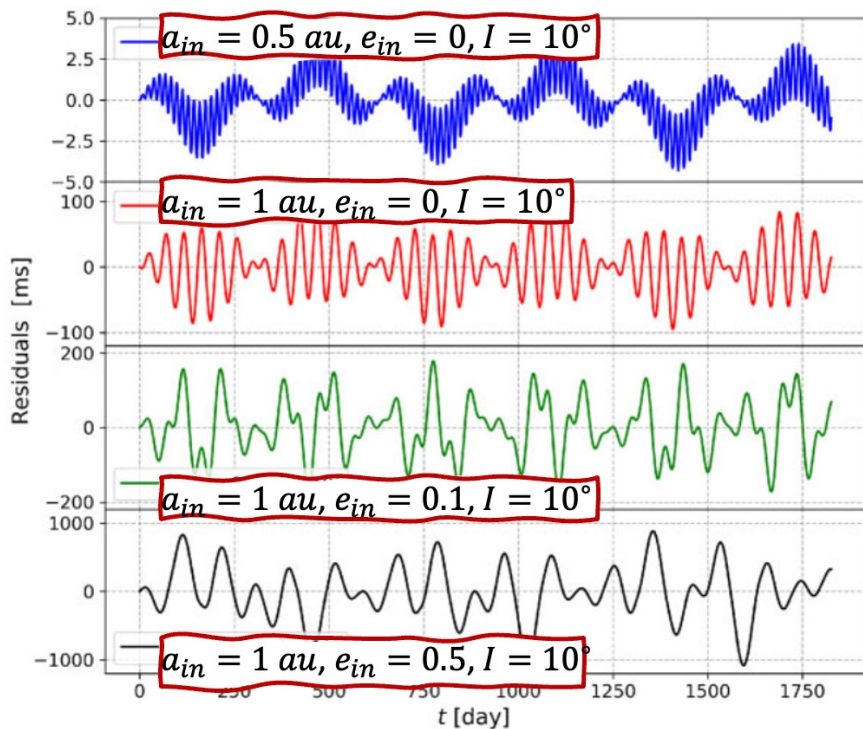
Miao et al. 2022, MNRAS; Miao et al. 2022, ApJ



Yang et al. 2021, PRD



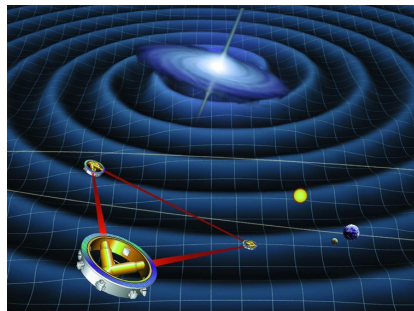
## ■ 中科大袁业飞组构建了在SKA时代，BBH-MSP 三星系统的测时模型



Wu, Yuan et al. 2022 MNRAS

## 科学亮点举例2：引力检验

- 北京大学邵立晶组研究了在SKA时代，空间引力波探测器LISA与SKA配合搜寻与观测脉冲星在引力检验方面的优势 → 多信使观测
  - LISA：提供银河系内双中子星的（粗糙的）定位、轨道信息
  - 大大增强了SKA搜寻短轨道周期双中子星系统的能力
  - 数值模拟：SKA测时能够给出严格的引力检验

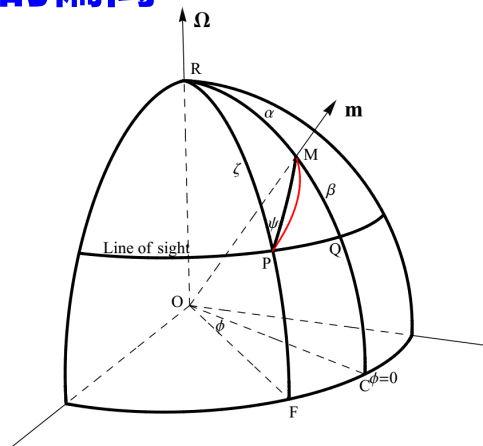


- 变化的引力“常”数  $G$
- 引力子质量：Fierz-Pauli
- 宇宙学：cubic Galileon
- 偶极辐射：标量-张量引力

Miao, Xu, Shao, Liu, Ma 2021, ApJ

# 科学亮点举例3：磁层建模







- 广州大学全号组研究了磁星极化的射电辐射机制
- 观测上，磁星的流量、脉冲形状、测时、极化和极化角等高度变化
  - 高度变化的极化角  $\rightarrow$  变化的磁场  $\rightarrow$  untwisting picture
- 用 FAST、SKA 测量脉冲星偏振位置角对偶极磁场的偏离
  - $\rightarrow$  确定磁层的转动效应、磁场的位型等
- 提出 **twisted dipole 图像**
- 可用于精确研究脉冲星磁层物理

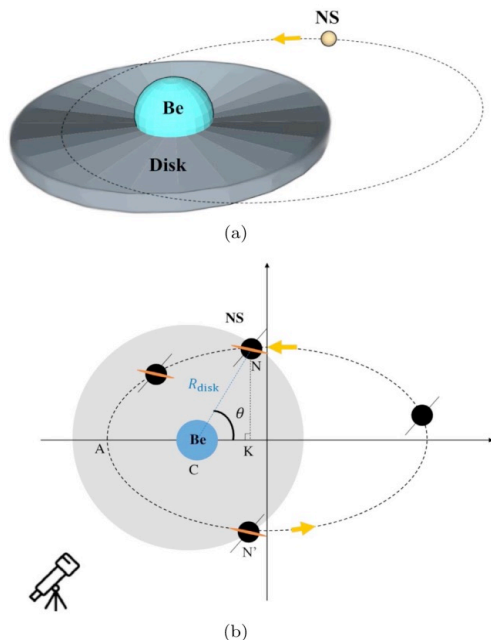


Tong, Wang, Wang, Yan 2021, MNRAS



## Periodic Activities of Repeating Fast Radio Bursts from Be/X-Ray Binary Systems

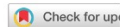
Qiao-Chu Li<sup>1,2</sup> , Yuan-Pei Yang<sup>3</sup> , F. Y. Wang<sup>1,2</sup> , Kun Xu<sup>4,5</sup> , Yong Shao<sup>1,2</sup> , Ze-Nan Liu<sup>1,2</sup>, and Zi-Gao Dai<sup>6,1</sup> 



中科大戴子高课题组用Be/X射线双星模型成功解释了重复快速射电暴的**周期性爆发**现象。在该模型中，脉冲星穿越Be恒星的周围盘，并通过吸积导致其自转减慢，引起星震，产生快速射电暴，解释了**频率依赖**的射电爆发活动



ARTICLE

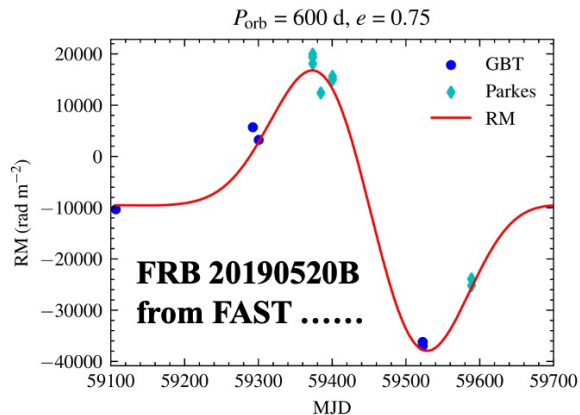
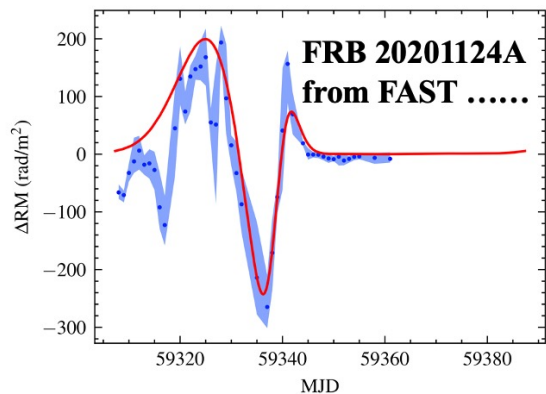


<https://doi.org/10.1038/s41467-022-31923-y>

OPEN

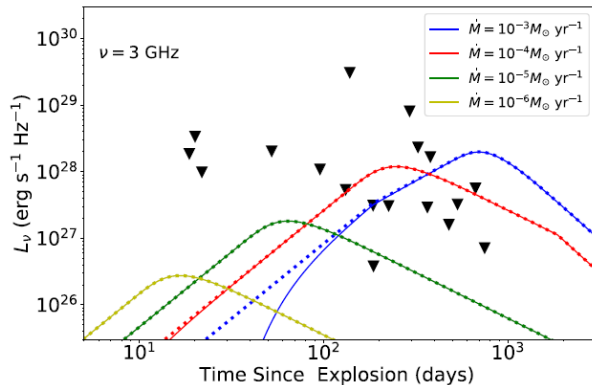
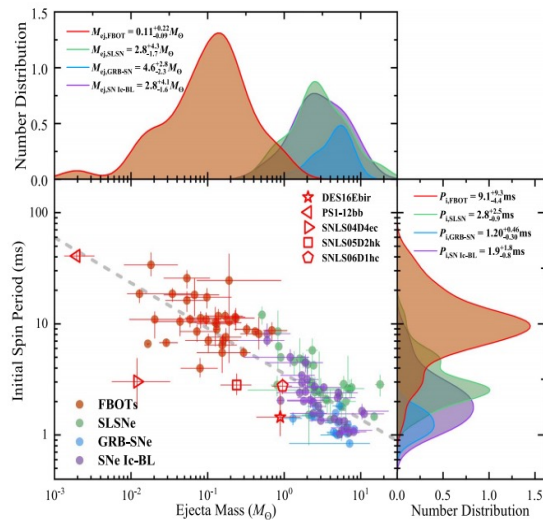
## Repeating fast radio burst 20201124A originates from a magnetar/Be star binary

F. Y. Wang<sup>1,2</sup>, G. Q. Zhang<sup>1</sup>, Z. G. Dai<sup>1,3</sup> & K. S. Cheng<sup>4</sup>

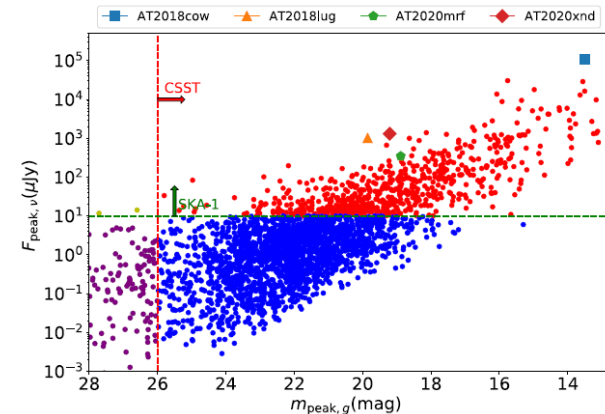
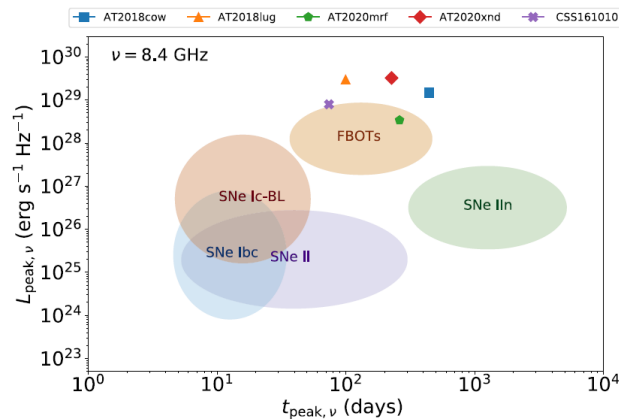


王发印和戴子高课题组利用Be/X射线双星模型进一步解释了两例重复快速射电暴源的**法拉第旋转量RM**变化，并期待将来被FAST等射电望远镜观测检验

# 科学亮点举例4：中子星天体物理



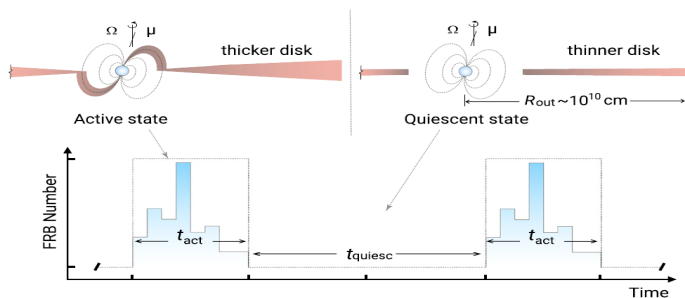
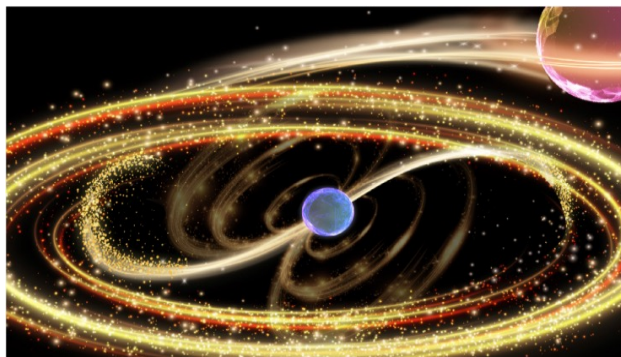
Liu et al. 2022, ApJ; Liu et al. 2023, ApJ



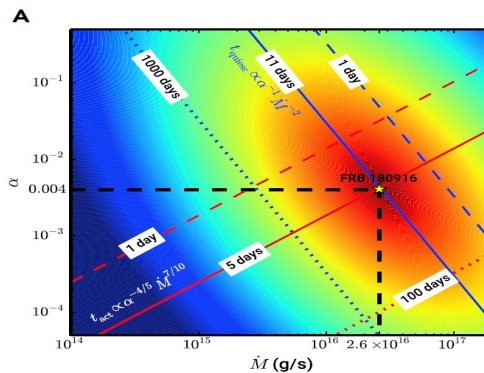
华师俞云伟课题组在磁星能源模型下研究了快  
 变蓝色光学暂现源 (FBOT) 起源及在SKA射  
 电观测灵敏度上的预期

# 科学亮点举例4：中子星天体物理

- 南京大学黄永锋组研究了奇异星与快速射电暴的可能联系
- 提出了奇异夸克星通过吸积产生周期性重复 FRB 的模型



奇异星吸积  $\rightarrow$  壳层塌缩  $\rightarrow$  FRB  
吸积盘的热不稳定性  $\rightarrow$  周期性



FRB重复暴  
180916.J0158+65

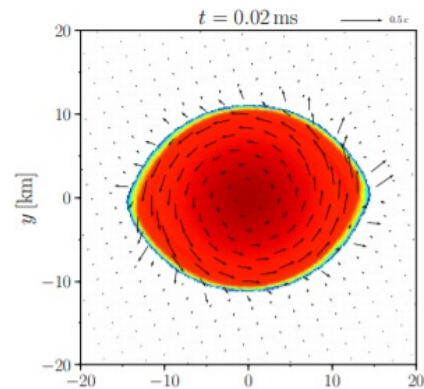
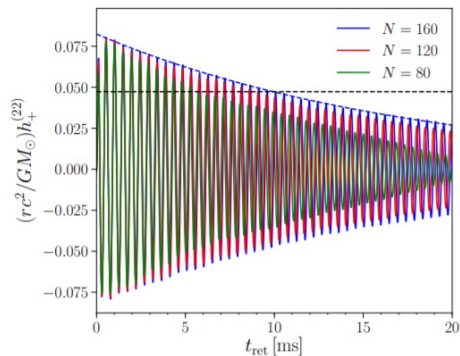
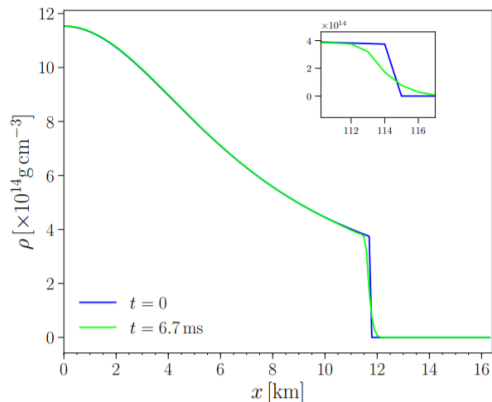
$P = 16.35 \pm 0.15$  days !

Geng, Li, Huang, 2021, Innovation

# 科学亮点举例5：数值相对论

- 华科**周恩平**组优化了**相对论流体力学**模拟里对于星体表面的处理，使得可以对具有**表面密度不连续的夸克星**进行动力学演化
- 这一进展使得能够获得**夸克星相关的并合过程**的引力波信号、电磁对应体特征，并通过未来观测加以限制和区分

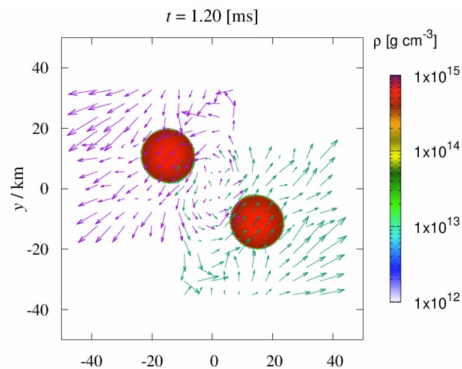
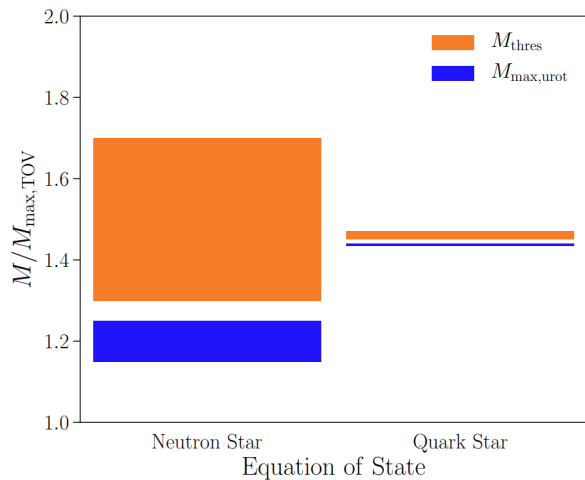
Zhou et al. 2021, PRD



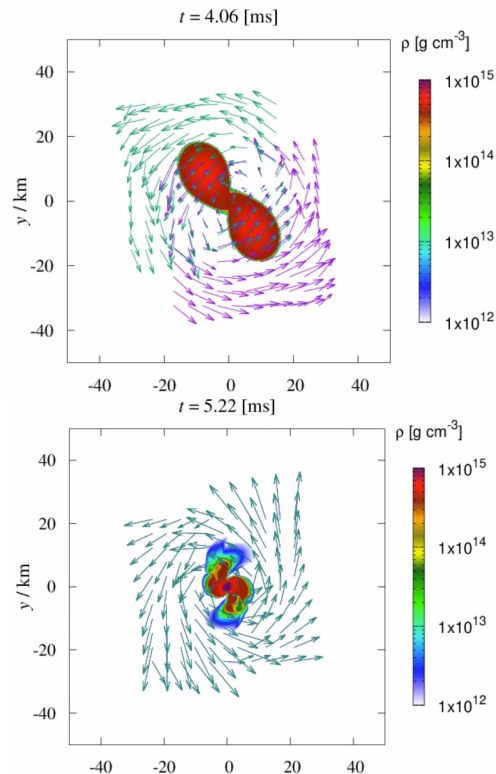


# 科学亮点举例5：数值相对论

- 华科**周恩平**组利用自主开发的基于 SACRA-MPI 的**夸克星演化程序**来演化初值计算程序 COCAL 得到的**双夸克星**
- 研究了**夸克星并合的无延迟坍缩临界质量**



Zhou et al. 2022



## SKA Pulsar Science Symposium系列会议

2022年8月：湘潭大学

2022年SKA脉冲星科学研讨会 (SPSS 2022)

2022.08.02 于湖南湘潭

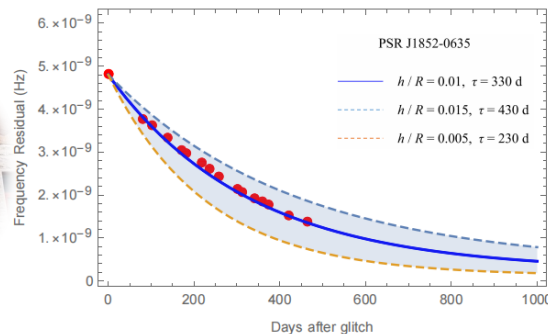
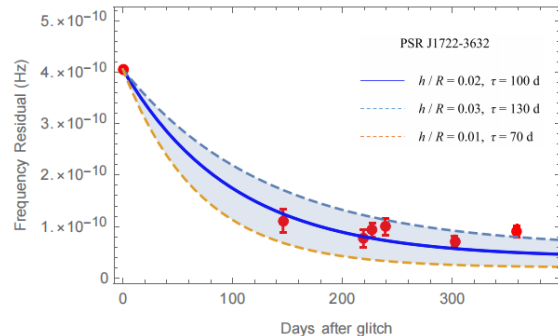


2023年7月2-4日：河南省南阳师范学院

- 致密星的**星震**可能是众多极端天体物理事件的诱因，包括脉冲星周期跃变、快速射电暴、中子星暴发或耀发
- 为了推动这方面的研究、加强地球物理和天体物理的交流和合作，关注致密星的地震过程，举办“**从地震到星震**”研讨会
- 时间：2023年5月20-23日
- 地点：贵州省平塘县



## 湖北二师来小禹组



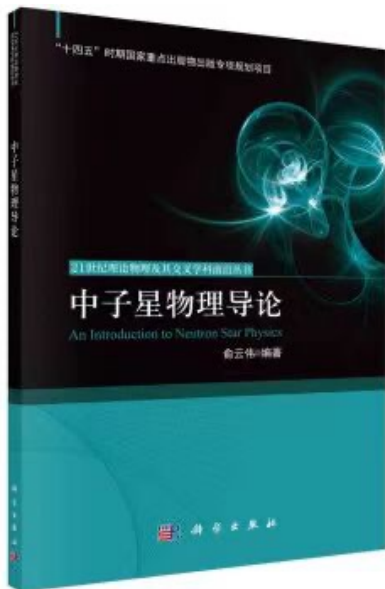
举办单位：中国科学院国家天文台、湖北第二师范学院、北京大学



**华科龚碧平教授在十堰市8所中学（郧阳中学，十堰市一中，东风高中，丹江口市一中，郧西一中，竹山一中，竹溪一中，房县一中）和新疆兵团二中做了多场科普报告**



南京大学**黄永锋**教授积极在大中学生中开展科普活动，共作科普报告20余场，听众**近万人次**，取得了良好的效果。江苏省天文学会授予黄永锋教授“**2021年度科普工作先进个人**”称号



## 热力学与统计物理导论

袁业飞 编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

图书在版编目(CIP)数据

热力学与统计物理导论/袁业飞编著.—2版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2023.8  
(中国科学技术大学交叉学科基础物理教程)  
中国科学技术大学精品教材  
“十二五”国家重点出版物出版规划项目  
安徽省高等学校“十三五”省级规划教材  
ISBN 978-7-312-

I. 热… II. 袁… III. 热力学—高等学校—教材 IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2023)第 号

出版 中国科学技术大学出版社  
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026  
<http://press.ustc.edu.cn>  
<https://zgkxjdsjcs.tmall.com>

印刷  
发行 中国科学技术大学出版社  
经销 全国新华书店  
开本 880 mm×1230 mm 1/16  
印张  
字数 千  
版次 2023 年 8 月第 1 版  
印次 2023 年 8 月第 1 次印刷  
定价 .00 元

《中子星物理导论》，俞云伟，科学出版社（2022）  
《热力学与统计物理导论》，袁业飞，中科大出版社（2023）



- 总体来说，需要加强差旅、会议等执行情况 → 疫情情况
- SKA专项“脉冲星理论研究支撑”系列会议：湘潭大学、南阳师范学院
- 继续依据《任务书》，深入推进SKA科学中脉冲星在**引力、物态、天体物理**等方面的理论研究
  - 如何能够完整、有效地**使用SKA数据**？
  - 如何最大可能性地**提取有用的物理信息**？
  - 如何反推出脉冲星的**天体物理环境参量**与基本过程所对应的**物理规律**？
- 继续在脉冲星的理论研究前沿培养青年主力军**人才队伍**



**请各位专家领导  
批评指正！**