

2025 年度太极实验室"大学生创新实践训练计划"

2025 年度太极实验室的本科生"科创计划"启动啦!

引力波宇宙太极实验室(北京)诚邀热爱科研的本科生加入!

不限专业背景! 只要你热爱编程、自驱力强、对引力波数据分析与人工智能技术有浓厚兴趣,我们都欢迎你的加入! 科研之路充满挑战,我们期待有热情、不怕挫折的朋友来一起探索宇宙奥秘!

【申请要求】

- 大二/大三在读学生(或其他各阶段感兴趣的同学), 不限专业
- 有强自驱力和自学能力, 热爱编程, 愿意学习 Linux 或 Python 等编程语言
- 能够在课余时间投入项目研究

【研究方向】

- 引力波天文学
- 引力波数据分析
- 机器学习

【优秀者福利】

- 参加国科大"暑期学生"夏令营、引力波国际学术研讨会等项目
- 继续在国科大进行本科毕业设计、攻读研究生, 或推荐至国内外其他高校的研究生项目
- 发表 SCI 等学术期刊论文

【项目周期】

- 6-12 个月, 提供相应交通和住宿补贴

【报名截止日期】

- 请于 2025 年 4 月 30 日前在 <https://ictp-ap.org/form/95> 提交报名表, 并附上简短个人简历和选拔题目结果的链接。提交结果后或截止日期后我们将对申请人进行遴选和考核, 通知获得资助的申请人。
- 热爱科学, 勇于挑战, 期待与你一起探索引力波的奥秘!
- 详情请点击链接: [太极实验室科创计划详情](#)

(2025 版, 2025.4.1, 18:00)

选拔目标:

- 强自驱力和自学能力
- 愿意通过动手编程来解决问题
- 充分利用搜索引擎快速学习相关概念和知识点, 以及查找相关的代码解决方案

选拔要求:

根据个人兴趣和技能偏好, 以下九个任务中至少选其一完成即可, 限时 2 周 (可根据学生的完成情况申请是否需要酌情放宽期限)。

任务说明:

前两个题目 (一、二) 是关于深度学习方法实现信号搜索和参数估计的, 分别又分为两个子任务, 完成其中的一个子任务也算完成了该对应的题目。

第三个题目 (三) 是关于 PyCWB 的一个应用 case, 算是最简单的了, 主要考察基本的动手能力。而且会科学上网对于科研是必不可少的。

中间三个题目 (四、五、六) 中大部分是关于空间引力波探测数据分析的内容, 个别题目对贝叶斯推断的基本原理有一定的要求, 也有的题目需要一定的推导。其中题目 (四) 完成其中一个子任务也算完成了题目。

最后三个题目 (七、八、九) 涉及数值相对论, 重点考察学生的计算机能力, 尤其是对阅读并理解陌生代码的能力是一种考验。这三个题目原则上均需在高性能计算机 (HPC) 上完成, 但考虑到学生具体的工作环境, 也可以在个人电脑上完成。我们对学生提交结果的精度没有特别严格的要求, 因此学生无需担心个人电脑性能所带来的误差, 相比于结果, 我们更加重视学生探索的过程。

我们建议学生在遇到困难时可以寻求 LLM 模型的帮助。此外, 与题目涉及的全部参考资料均为英文, 我们认为英语能力对于科研是必不可少的。

通过选拔的学生可以根据个人兴趣或选拔作业的完成情况, 在指导老师的辅助下自主选择研究课题方向。

我们准备的所有选拔题目没有“保姆式”地将所有可能的论文或代码链接全部给到学生, 仅提供了必要的关键词和说明细节, 这对学生来说是一种基本研究素养的考验, 也算是模拟了与你的未来研究生导师交流时最常见到的一种场景, 即面对大量陌生的概念、知识和有限的参考资料, 能否“顺藤摸瓜”在 Github/Baidu/Google 等互联网上迅速查找到相关资料和程序代码, 并且“快速吸收”且“为己所用”。

总之, 请按照你自己的理解, 尽你最大的可能和努力来完成。

(一) 基于机器学习的致密双星并合引力波信号搜寻

- 关键词：信号搜寻、深度学习、PyTorch

子任务一

- 任务难度：☑□□□□

- 任务描述：

请自学并阅读《引力波数据探索：编程与分析实战训练营》里 Kaggle Data Science Competition (Hackathon) 的数据挑战任务：

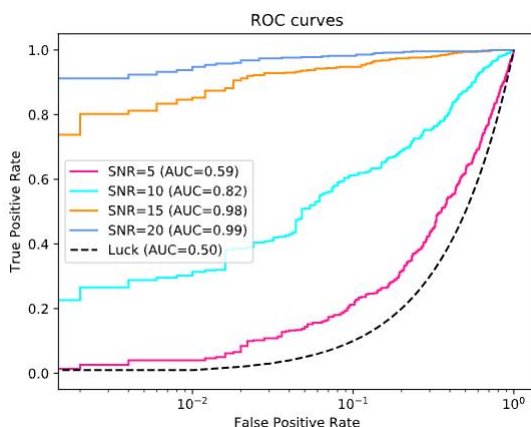
- <https://github.com/iphysresearch/GWData-Bootcamp/?tab=readme-ov-file#kaggle-data-science-competition-hackathon>

- <https://www.kaggle.com/competitions/2023-gwdata-bootcamp>

1. 跑通如下 notebook 链接中的代码：

https://github.com/iphysresearch/GWData-Bootcamp/blob/main/2023/deep_learning/baseline/baseline_sugon.ipynb

2. 将跑通的 notebook 上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中，报名回复该仓库 repo 链接即为上传作业成功。类似 ROC 结果如下图：



子任务二

- 任务难度：☑☑□□□

- 任务描述：

1. 完成上述前置“子任务一”。

重构并修改源代码：将双黑洞系统修改为双中子星旋近系统的信号搜寻目标。

2. 重构并修改源代码：将 CNN 模型替换为 ResNet (任意版本皆可)模型，绘制双中子星旋近引力波信号搜寻任务的 ROC 图。

3. 将修改的代码和跑通的 notebook 上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中，报名回复 repo 链接即为成功。

（二）基于机器学习的快速参数推断

关键词：参数估计，深度学习，Pytorch，DINGO，SBI

子任务一：调通并跑通 DINGO 程序

- 任务难度：☑☑☑□□
- 任务描述：先在本地跑通 `tutorial-dingo-introduction`，再基于 `dingo` 程序并且基于 FMPE 模型跑通一个 GW150914 的 toy case 结果，最终实验结果应该是跑完后反演参数后验分布的 corner 图像。

参考链接：<https://github.com/annalena-k/tutorial-dingo-introduction>

参考链接：<https://github.com/dingo-gw/dingo>

子任务二：LISA 频段下基于 SBI 的 SGWB 参数反演

- 任务难度：☑☑☑□□
- 任务描述：基于 2309.07954 文章，仔细阅读并理解 `template-powerlaw` 分支下的 SAQQARA 程序，并且成功在本地跑通示例 notebook 的代码：
https://github.com/PEREGRINE-GW/saqqara/blob/template-powerlaw/saqqara/Example_notebook.ipynb
- 将训练的模型进一步在指定的 new injection（即 `new_obs`）中的物理参数取定为 `amplitude = -12`，`tilt = 0`，同样地给出测试后对应的两套图像。

参考链接：<https://github.com/peregrine-gw/saqqara>

（三）基于 PycWB 的真实引力波事件信号的时频分析

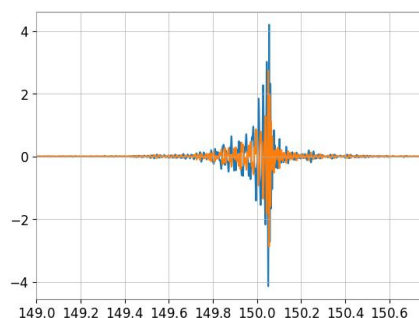
- 关键词：时频分析、科学上网

- 任务难度：☑☑□□□

- 作业描述：

1. 请自学并实现 PycWB 的时频分析, 完成 GW190521_074359 引力波信号的 PycWB 时频分析和波形重构。

2. 将跑通的 notebook 上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中, 报名回复该仓库 repo 链接即为上传作业成功。波形重构后的结果如下图：



PycWB 仓库链接: <https://github.com/PycWB/pycwb>

可以参考的相关文档: <https://yumeng.xu.docs.ligo.org/pycwb>

可以参考的相关文章: <https://arxiv.org/abs/2308.08639>

可以参考的引力波 event list: <https://gwosc.org/eventapi/html/allevnts/>

Hint: 修改下面 notebook 的 GPS 时间即可完成分析

(https://colab.research.google.com/drive/11WK8LPL9sf0Jb1OaM_gYD0tX03FIDvIQ?usp=sharing)

（四）基于 LISA Analysis Tools 的数据分析技术

子任务一：

关键词：LISA、Python、TDI、EMRI、参数估计

任务难度：☑☑☑□□

作业描述：

1. 按照要求安装并部署环境 LISA Analysis Tools Workshop (LATW)
2. 仔细阅读代码仓库里提供的六个教程代码 notebooks (tutorials/Tutorial1-6.ipynb), 完成其中所有的代码作业。
3. 参考 Bilby-MCMC 中定义的各类提案分布, 在 Eryn 中通过自定义提案分布 (从 Bilby-MCMC 中可任选其一即可) 重新完成 Tutorial6.ipynb 的代码任务。
4. 将修改后的 Eryn 源码 (标注修改位置) +完成的 notebooks 与结果分析上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中, 报名回复 repo 链接即为成功。

LISA Analysis Tools Workshop: <https://indico.physics.auth.gr/event/17/>

Bilby-MCMC 的文档说明: <https://lscsoft.docs.ligo.org/bilby/bilby-mcmc-guide.html>

LATW 代码仓库地址: <https://github.com/mikekatz04/LATW/>

子任务二：

关键词：LISA、Python、参数估计, 高斯过程

任务难度：☑☑☑□□

作业描述：

1. 按照子任务一中的要求安装并部署环境 LISA Analysis Tools Workshop (LATW), 并且完成其中所有的 Tutorial1-6.ipynb 代码作业
2. 将 Tutorial6.ipynb 代码任务中把完成 MCMC 的 Eryn 程序换成 GPry 程序, 实现同样的后验分布推断的代码任务。
3. 将完成的 notebooks 与结果分析上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中, 报名回复 repo 链接即为成功。

<https://gpri.readthedocs.io/>

arXiv:2211.02045 for the core algorithm.

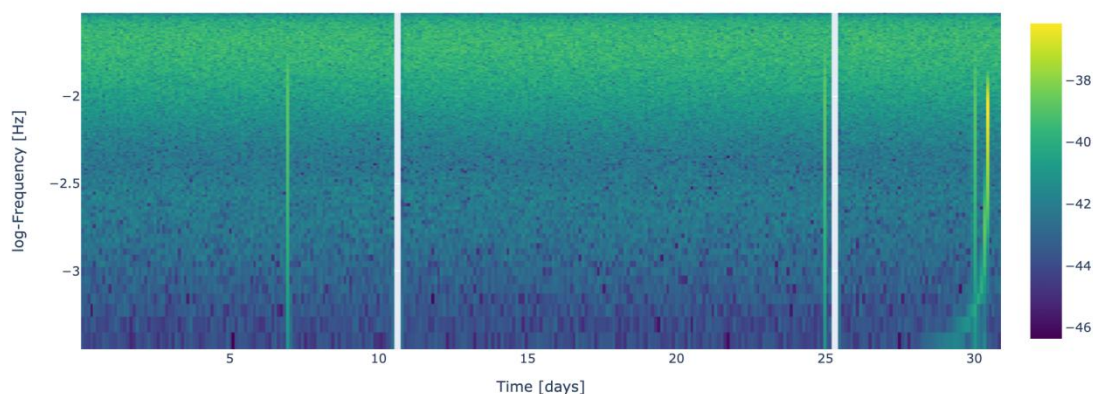
arXiv:2305.19267 for the NORA Nested-Sampling acquisition engine.

arXiv:2503.21871 for LISA inference

（五）LISA Data Challenge 引力波数据小波变换与数据可视化

- 关键词：Python、小波变换、数据可视化
- 任务难度：☑☑□□□
- 作业描述：
 1. 从 HDF5 文件中读取 LISA Data Challenge 引力波数据 (数据中的 NaN 值可设为 0)；
 2. 对数据进行 Wilson-Daubechies-Meyer (WDM) 小波变换；
 3. 利用 matplotlib 中的 pcolormesh 等工具对小波变换结果绘图，适当调节小波变换参数，尽量接近下图效果（不需要完全一致）。
 4. 将跑通的 Python 上传至自己账号下的 github 仓库 repo 中，报名回复该仓库 repo 链接即为上传作业成功。

TDI X: spectrogram



HDF5 下载链接: https://pan.baidu.com/s/18e_JS13WSOiVY8VKUo1E0Q?pwd=DATA
提取码: DATA

WDM 小波代码链接: [XGI-MSU/WDMWaveletTransforms \(github.com\)](https://github.com/XGI-MSU/WDMWaveletTransforms)
可能用到的函数: transform_wavelet_time 或 transform_wavelet_freq_time

参考资料: LISA Data Challenge-2b 数据说明 [LISA Data Challenge \(in2p3.fr\)](https://in2p3.fr/LISA/Data/Challenge/2b)

（六）LISA 探测器响应灵敏度

关键词：LISA、Python、TDI

任务难度：☑☑□□□

作业描述：

LISA 引力波探测器包含三颗卫星, 假设三颗卫星构成边长为 2.5×10^9 m 的等边三角形, 卫星的位置可视为固定, 按照文献 <https://arxiv.org/pdf/2108.01167> 中 P8 到 P14 页给出的方法 (数值或半解析), 计算 TDI-X2.0 的平均引力波响应(Average GW Response), 并用 python 语言画图。报名时可以提交: 推导过程 (手写或 word 或 latex) + python 代码 (.py 文件或.ipynb 文件) +提交运行结果 (灵敏度曲线图)

(七) 基于 Docker+GRChombo 的双黑洞数值相对论模拟

- 关键词：数值相对论、GRChombo、Docker、科学上网
- 任务难度：☑□□□□
- 任务描述：基于 Docker 容器化技术与数值相对论软件 GRChombo，构建等质量双黑洞正面碰撞的数值模拟模型。具体参数配置如下：黑洞质量均设为 0.5，初始间距为 20，初始速度可自行视情况而定，采用正面碰撞（head-on collision）模型。
- 关键提示：
 - 在 GRChombo 官方网站（<https://www.grchombo.org/>）阅读关于 GRChombo 的基础内容。
 - 参考视频（https://www.youtube.com/watch?v=6xOZxA_Oz-I）中关于在 Docker 中运行 GRChombo 的具体方法（注意：该方法仅适用于 Intel 芯片）。
 - 本题的核心任务在于修改 GRChombo/Examples/BinaryBH 目录下 params.txt 文件中的参数。这不仅涉及物理参数（如黑洞质量、初始间距等），还涉及到演化中分辨率的合理选取。该任务主要考查学生的自主学习能力与代码阅读能力，并不严格要求结果的精确性。因此，学生应根据自身电脑的配置，合理选取演化精度与演化步长。
 - GRChombo 每一步演化的结果均保存在 hdf5 格式文件中，这些文件可以通过 Visit 软件进行查看（<https://visit-dav.github.io/visit-website/>）。
- 结果提交
 1. 实际运行使用的参数文件 params.txt（请勿提交默认文件）。
 2. 提交/GRChombo/Examples/BinaryBH/data 文件夹中的全部内容。

（八）利用个人电脑或 HPC 编译 Chombo 与 GRChombo

- 关键词：环境搭建、Chombo/GRChombo 代码编译
- 任务难度：☑☑☑□□
- 作业描述：
 1. 搭建 GRChombo 所需的计算环境。
 2. 编译 Chombo 与 GRChombo 中的双黑洞代码。
- 关键提示：
 - 在 GRChombo 官方网站 (<https://www.grchombo.org/>) 阅读关于 GRChombo 的基础内容。
 - 仔细阅读 GRChombo 编译所需库的详细说明：
<https://github.com/GRTLCollaboration/GRChombo/wiki>。
 - 本题的核心任务在于修改 Make.defs.local 文件，以适配个人电脑的配置。
- 结果提交
 1. 实际编译过程中使用的 Make.defs.local 文件（请勿提交默认文件）。
 2. 提交 GRChombo/Examples/BinaryBH 目录下的可执行文件（文件名类似于 Main_BinaryBH3d.Linux.64.CC.ftn.OPTHIGH.MPI.OPENMPCC.ex）。

（九）利用个人电脑或 HPC 进行双黑洞模拟并提取引力波

- 关键词：双黑洞演化、GRChombo、引力波
- 任务难度：☑☑☑☑☑
- 作业描述：
 1. 在个人电脑或 HPC 上编译基于 GRChombo 的双黑洞代码。
 2. 构建等质量双黑洞正面碰撞的数值模拟模型。具体参数配置如下：双黑洞质量均设为 0.5，初始间距为 20，初始速度可自行视情况而定，采用正面碰撞（head-on collision）模型。
 3. 提取引力波模式（mode）为 $l=2, m=0$ 的信号并作图。
 4. 将整个演化过程制作成视频（视频中的演化变量可任选）。
- 关键提示：
 - 在 GRChombo 官方网站（<https://www.grchombo.org/>）阅读关于 GRChombo 的基础内容。
 - 仔细阅读 GRChombo 编译所需库的详细说明：
<https://github.com/GRTLCollaboration/GRChombo/wiki>。
 - 编译 Chombo 以及 GRChombo/Examples/BinaryBH 目录下的代码。
 - 按照要求设置恰当的参数，并运行可执行文件。
 - GRChombo 已内置引力波提取功能，关键提示词：“WeylExtraction”。
 - GRChombo 每一步演化的结果均保存在 hdf5 格式文件中，这些文件可以通过 Visit 软件进行查看（<https://visit-dav.github.io/visit-website/>）。
- 结果提交
 1. 引力波模式 $l=2, m=0$ 的信号提取结果图。
 2. 利用 hdf5 生成的演化过程视频。
 3. 提交 GRChombo/Examples/BinaryBH/data 文件夹中的全部内容。