

中山大学理学院 2023 年 本科生伽玛科创计划选题汇总表

1. 题目：便携式无标记定量相位显微镜的设计与构建

指导老师：蒋先涛

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1406562.htm>

摘要：定量相位成像（Quantitative phase imaging, QPI）技术是一类不仅可以表征出样品的强度信息，也可以定量的解析出样品的相位信息的成像技术统称。相较于荧光显微技术，QPI 技术由于其无需引入外源性的荧光标记物、成像速度快、光毒性低、以及可获得样品三维相位（或折射率）信息而成为了近年来光学显微成像技术的研究热点之一。QPI 的应用领域包括亚细胞结构和动态机理研究、芯片缺陷检测、智能细胞识别、实时体外受精观察、环境监测等。通常，QPI 显微镜光路复杂，易受环境干扰，且构建成本较高，因此对于 QPI 显微镜的应用条件具有一定限制。在该项目中，通过优化光学设计，定制特殊光学和光机械元件，我们将设计和构建一套紧凑型、便携式的定量相位显微镜系统，并可进一步利用微流控芯片、无线图像信号传输和 AI 图像处理等技术，预期可实现对户外环境水质的远程和实时监测。

2. 题目：新型色散器件研制及其在飞秒激光器中的应用

指导老师：刘伟，超快光学

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1408308.htm>

课题简介：色散补偿器件一如啁啾光纤光栅、衍射光栅等是超快飞秒激光器不可缺少的单元。通常锁模激光器腔内色散补偿是由啁啾光纤光栅来完成，但是它存在很多问题：1、反射率低，因此激光器损耗大进而导致激光噪声大；2、反射波长及色散量不易调节；3、目前只有一家国外商业公司能供应。高反射率、反射波长及色散量任意调节的自主可控技术或工艺，亟需我们来攻克。项目小巧，意义重大，存在风险，可行性强，欢迎来挑战。

3. 题目：多种探测器上的长寿命粒子性质分析

指导老师：苏伟，粒子物理方向

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1402438.htm>

课题简介：基础粒子物理已建立“完美”的标准模型，四大相互作用的三种已经很好的统一。但是，多种理论和实验结果预示着新物理的存在。其中相比于重型夸克等短寿命粒子，长寿命粒子由于其特殊物理性质会容易逃脱当前多类实验探测。在前沿领域，设计各种寻找它的量子探测器发展迅速。本课题意在通过该基本粒子性质，探索其探测方式形成报告，并进行相关实验模拟和设计。

4. 题目：真空破缺与广义相对论时空观的关联；

指导老师：黄永盛

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher01/1395136.htm>

根据量子力学的不确定性原理，真空中正反物质从虚态到实态的相互演化不停不息，这种状态表明真空并非空无一物。但是要从真空中将能量转化为物质又非常困难，要突破 Schwinger 极限。同样的，真空的另一面又对应三维空间和一维时间，质量和能

量都能够引起时空的弯曲。对于真空的性质如何理解？两种理论之间是否有冲突，如何理解。是否可以结合起来进一步探讨真空的本质。

5. 题目：超远距离或极暗光场下激光雷达的研制和测试；

指导老师：黄永盛

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher01/1395136.htm>

已有的激光雷达大都是基于 CCD 和 CMOS 等成像器件，由于 CCD 和 CMOS 的背景噪声很大，需要较强的光场才能够正常成像，获得高的信噪比。目前基于 SiPM 的单光子灵敏的芯片，可在极暗光场和超远距离实现成像和测量。如果将 SiPM 类似的器件应用到激光雷达中，将可以实现在极暗光场和超远距离实现探测，将具有重要的意义。本课题期望能够在现有的激光雷达中，替换使用单光子灵敏器件实现在超远距离和极暗光场条件下实现高灵敏的激光雷达，并进行相应的测试。

6. 题目：利用机器学习方法寻找寻找新物理迹象

指导老师：刘洋

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher03/1402437.htm>

课题简介：随着希格斯粒子在大型强子对撞机上的发现，标准模型理论被视为目前对世界组成描述最为准确的理论。然而，在实验上仍存在许多超出标准模型的现象，如暗物质起源、希格斯粒子质量以及正反物质不对称等问题。这些现象的解释意味着新物理的存在，因此寻找新物理理论预言的迹象成为人类进一步理解世界的重要研究方向。与此同时，随着科技的进步，机器学习在各个领域都带来了质的飞跃。将机器学习方法与粒子物理相结合，以寻找新物理迹象，将为该研究方向带来新的可能性和机遇。通过利用机器学习的强大能力，我们可以更加高效地分析和处理大量的数据，并发现其中隐藏的规律和模式。这将加速我们对新物理的探索，并有助于揭示世界的更深层次的奥秘。

7. 题目：基于 FDTD 方法研究生物特征结构的光散射特性与应用

指导老师：葛昕

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1404923.htm>

课题简介：本课题计划应用有限差分时域（FDTD）仿真方法，对特定生物结构（如细胞、组织等）的光散射特性进行详细研究。通过模拟生物结构在不同波长和角度的光照下的散射特性，计划探究这些特性如何与生物结构的形状、大小、以及组成成分关联。将通过理论计算和仿真实验对比验证模型的准确性和应用潜力。

8. 题目：X 射线与中子三维数据的配准融合

指导老师：葛昕

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1404923.htm>

课题简介：在科学研究和医学诊断中，三维图像数据的精确配准是至关重要的。特别是在多模态成像情况下，如 X 射线和中子成像，各自提供了不同层次和类型的信息。本大创项目旨在开发一个基于算法或深度学习的配准融合系统，能够准确、高效地将 X 射线和中子的三维数据进行配准。通过传统算法和深度神经网络，该系统不仅能实现高精度的图像配准，还能自动识别和剔除噪声和异常值，从而极大提高多模态成像数据的数据质量。

9. 题目：北京谱仪的实验上新物理的探索和分析：

指导老师：张晋

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1398492.htm>

课题简介：北京正负电子对撞机和北京谱仪实验（BESIII）是我国最早的国际合作大科学装置，已经在陶-粲能区采集了世界上最大的数据样本。基于这些高质量的海量数据，粒子物理学家可以精确研究粒子物理的基本机制，还可以通过寻找新形态物质（如胶球、四夸克态、分子态等）来深入理解微观世界悬而未决的问题。本课题以北京谱仪实验的数据分析为例，逐步熟悉和掌握科学分析方法，深入理解物理研究中的统计学方法。

目标：参与 BESIII 新物理的实验数据分析，参加国际学术会议作口头报告，并主导完成一个物理分析的课题。

10 题目：粒子物理典型模型求解和可视化

指导老师：苏伟，粒子物理理论方向

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1402438.htm>

课题简介：20 世纪初叶，量子力学和广义相对论的建立过程，涌现了非常多的新思想。其中部分物理研究对象，微观如氢原子，宏观如星系运行，都有诸多物理方程严格或者近似地描述。本课题拟深入学习、理解若干具体粒子物理/宇宙学问题基础上，尝试严格或者近似求解相关物理演化过程，逐步锻炼基础分析和解决物理问题的逻辑。在此基础上，拟尝试通过视觉艺术等方式，科普相关结果，例如氢原子电子云的可视化、宇宙真空涨落、引力相变等。

11. 题目：粒子物理软件若干关键问题的研究：

指导老师：张晋，粒子物理实验方向

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1398492.htm>

课题简介：数据重建是粒子物理学实验中的一项重要任务，旨在通过探测器中的测量数据恢复“粒子”在探测器中的信息。传统方法通常基于物理模型和几何准则，在复杂的实验环境下，这些方法将面临挑战。近年来，机器学习和深度学习方法在径迹重建中的应用成为热点，并有解决部分复杂问题的潜力。课题将涵盖以下内容：

- 1) 研究 GBDT 等机器学习方法处理粒子物理数据重建中的难题。
- 2) 优化传统的重建方法，提升现有大科学装置上的算法性能。

目标：理解粒子物理数据重建的主要研究内容，了解机器学习在数据重建中的应用，具备设计和实现相关算法的能力，完成 1-2 个相关的任务，期望可以在 ACAT（Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research）等国际会议上作口头报告。需要一定的 C/C++ 语言能力。

12. 题目：伽马对撞机的模拟研究

指导老师：毕远杰（主导），张晋

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher01/1404588.htm>
<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1398492.htm>

课题简介：基于伽马对撞机基本设计，完成从对撞模拟到数据处理的完整过程，优化探测器设计、对撞区设计，对模拟软件和数据处理的方法进行完善。

本课题是《科学实践方法》中 Geant4 探测器模拟的延申，旨在让学生课堂学习探测器模拟后，从物理目标提出，整体实验设计，探测器优化，数据处理和分析的

流程上理解理学院大科学装置的预研，从整体上了解粒子物理实验，并逐步参与对撞机的相关科研工作。需要一定的 C/C++ 语言能力。

13. 题目：量子计算的 Error Correcting Code (ECC)

指导老师：肖明磊

课题简介：量子通信和量子计算是物理学最前沿的科技，具有强大的实用价值。然而，由于量子力学的特性，量子比特——量子信息的最小单元——具有不可复制、测量即破坏的特点，而它与环境的纠缠会带来不可避免的噪声。传统通信采用 ECC 来降低噪声对信号的影响；量子通信和量子计算则需要更加精巧的方法来处理噪声。本课题期望探索量子信息科学中的 ECC 问题，加深对量子力学特性的理解。有余力的话还可以探索 ECC 在 AdS/CFT 中是如何对应时空几何的。

14. 题目：散射振幅的 Double Copy 理论

指导老师：肖明磊

课题简介：散射振幅是粒子物理乃至高能理论物理中的核心概念之一。近年来，散射振幅的普适性结构是一个研究热点，其中 Double Copy 理论引起了学界广泛的兴趣。它的一个著名范例就是 $GR = YM^2$ ，即引力（广义相对论）是规范理论（杨米尔斯理论）的平方，其背后与引力子自旋（2）是规范玻色子自旋（1）的两倍不无关系。本课题要求学习数论阶散射振幅的旋量表示，并理解 Double Copy 理论的几个经典范例，进而探究类似 Double Copy 的结构与自旋的内在联系。

15. 题目：EPR 研究电化学使役下碳纳米管缺陷

指导老师：张浩（纳米功能性材料晶体结构与谱学）

课题简介：1991 年，Iijima 通过透射电镜发现研究了碳纳米管。由于其独特的结构，在力学、电学、热学、光学、化学传感及作为载体等方面，碳纳米管展现出了丰富的物理特性。对于结构电子和声子的影响，碳纳米管表面的缺陷显著改变了上述种种特性。电子顺磁共振谱 (Electron Paramagnetic Resonance, EPR) 对于缺陷的表征能力极为突出。^[8] 碳纳米管在电化学使役过程中的剥蚀作用，将其表面缺陷位的碳原子与氢氧根结合，形成了不成对电子状态，为 EPR 表征提供了极为有利的场景。

16. 题目：AMS 的物理结果的实验现象学研究

指导老师：冯劼

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1404757.htm>

介绍：Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) 是国际空间站 (ISS) 上的第一个大型实验。它于 2011 年 5 月 16 日搭载“奋进号”航天飞机的最后一次飞行而发射，自 2011 年 5 月 19 日安装后一直在 ISS 上持续运行。AMS 的目的是搜索宇宙反物质，寻找暗物质的起源，并研究天体物理现象，如宇宙射线的起源、加速和传播。自安装以来的 11 多年时间里，AMS 通过提供带电宇宙射线和核粒子的 TeV 能区的准确测量，一直在实现这一目标。AMS 已经发布了基于 2200 亿带电宇宙射线事件的结果，包括正电子、电子、反质子、质子和核粒子的通量。这些结果提供了意想不到的信息，需要新的理论模型。

17. 题目：基于硅光电倍增管的双端读出 PET 探测器性能影响因素研究

指导老师：冯劼

个人主页: <https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1404757.htm>

飞行时间正电子发射断层扫描 (TOF-PET) 正在逐渐成为临床全身 PET 系统的标准技术, 其通过飞行时间信息提高了重建图像的信噪比。近年来, 另一种用于 TOF-PET 的光电探测器——硅光电倍增管 (SiPM) 逐渐崭露头角。SiPM 相比传统 PMT 具有器件小、对磁场不敏感和所需工作电压低等优点, 已经被应用于 TOF-PET 商业系统。对于临床 PET 系统来说, 通常需要采用较长的闪烁晶体 (长于 15 mm), 以确保对 511 keV 能量的光子有良好的探测灵敏度。然而, 大多数临床 PET 系统并不测量 511 keV 光子沿轴向的相互作用位置 (即相互作用深度 (DOI))。这种 DOI 测量的不确定性降低了以轴向角度进入的湮灭光子的位置分辨率, 通常被称为视差误差。双端读出的 PET 探测器是一种常见的技术, 使用闪烁晶体阵列来提供深度测量能力, 具有良好的 DOI 分辨率 (约为 2mm)。与单端读出相比, 双端读出在长晶体使用时表现出更好的时间性能。为了优化 PET 探测器性能, 本项目将对基于 SiPM 的双端读出 PET 探测器性能的影响因素和相关机理进行深入研究, 从而优化 PET 探测器性能。此项目与中科院深圳先进院合作。

18. 题目: 等离子体中的非线性波。

指导老师: 赵耀

个人主页: <https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1402439.htm>

等离子体是由正负电荷构成的、表现出集体行为的多粒子宏观系统。在等离子体中存在各种波的模式, 这些模式之间也会发生各种非线性耦合, 从而导致各种非线性现象。比如孤立波、自聚焦、非线性朗缪尔波、非线性离子声波、非线性朗道阻尼等。这些非线性过程对于能量传输、粒子输运等都有着非常重要的作用, 并且成为了研究可控聚变中的重要课题。我们将对其中部分非线性现象进行学习、研究, 从理论上探索非线性波的特性。

19. 题目: 惯性约束聚变中的非线性光学应用

指导老师: 赵耀

个人主页: <https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1402439.htm>

课题简介: 惯性约束聚变通过内爆对氘氚燃料靶丸进行压缩, 当条件达到劳森判据时核燃料自持燃烧, 从而实现热核点火。惯性约束聚变对于高能量密度物理的研究以及清洁可持续能源的开发具有重要的作用。本课题将学习和研究非线性光学产生的特殊激光在惯性约束聚变中的应用, 这有利于更加深入地了解惯性约束聚变。

20. 题目: 基于 Chladni 板的粒子操控

指导老师: 郑立洋

个人主页: <https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher02/1398495.htm>

课题简介: Chladni 图案是在 18 世纪末德国物理学家和音乐家 Ernst Chladni 在研究板的共振时发现的。当板发生共振时, 不同区域具有相反的振动方向; 而区域的分界线称为结点线, 其振动为零。该课题将研究振动板中 Chladni 图案的振动模式, 探索实现微小颗粒精细操控的手段。

21. 题目: 放射性核素在医学诊治中的作用价值与进展

指导老师: 蒋宁一, 核医学专业 (中山大学第七附属医院)

个人主页: <https://szmed.sysu.edu.cn/zh-hans/teacher/2178>

课题简介：核技术在医学中的应用发展很快，而且国家非常重视。近年来多级医院都先后开展了核医学诊断与治疗项目，实践中也解决了许多临床问题。但是也存在着许多需要研究的课题，主要在核素选择、放射性药物的研究，核医学仪器的开发。本项目旨在探索相关进展，开发有关医工结合的项目。

校外合作专家题目：

22. 题目：基于极化方向可调微波偏转腔的束团高维相空间测量

指导老师：邵佳航（主导），毕远杰

个人主页：<https://science.sysu.edu.cn/teacher/teacher01/1404588.htm>

邵佳航研究员个人简介：邵佳航 2011 年本科毕业于清华大学电子工程系，2016 年博士毕业于清华大学工程物理系，2016-2021 年在美国阿贡国家实验室先后任博士后及助理研究员；2021 年加入深圳综合粒子设施研究院任研究员。邵佳航已获得国家及广东省青年海外高层次人才项目支持，目前主要从事深圳中能高重复频率 X 射线自由电子激光项目中电子枪、常温微波结构、尾场结构的研制工作。

简介：微波偏转腔是工作于类 TM₁₁ 模式的圆柱形微波器件，可以对束团施加特定方向的时变横向动量。束团沿零相位通过微波偏转腔并漂移一段距离后，其难以测量的纵向信息将转为便于测量的横向信息。因此，微波偏转腔可测量束团纵向分布、纵向相空间、切片发射度等关键信息，是大型直线加速器中重要的束测器件。传统微波偏转腔仅能提供固定方向的横向动量，而近年来发展的新型微波偏转腔则可提供方向连续可调的横向动量。此类新型偏转腔将束团诊断能力拓展至高维相空间，如三维束团分布、正交横向方向相空间耦合等。本课题意在研究高维相空间测量原理及重建算法，进行束流模拟仿真，并探索极化方向可调微波偏转腔在束团诊断方向的更多应用。

23. 题目：伽马光子和 PET 探测器

指导老师：彭旗宇，生物医学工程及核医学方向

个人主页：<https://www.szbl.ac.cn/scientificresearch/researchteam/389.html>

简介：正电子发射成像（PET）是一种先进的分子影像技术，广泛应用于肿瘤、脑疾病和心血管疾病的临床诊断。PET 设备的性能很大程度上取决于 PET 探测器的性能。目前主流的 PET 探测器采用间接方式设计，由闪烁晶体和光电传感器构成。正电子湮灭后产生的伽马光子对被闪烁晶体拦截后，产生闪烁光子群并被光电传感器检测到。然后通过后继电路和信号处理，实现对伽马光子作用的位置、时间和能量的测量。本课题意在通过蒙特卡罗仿真和光学仿真，设计和优化 PET 探测器，并进行实验验证，从而达到提高 PET 显像性能的目的。

24. 题目：染色质层面的 DNA 的损伤修复

指导老师：申雪桐，生物学

个人主页：<https://www.szbl.ac.cn/scientificresearch/researchteam/2277.html>

简介：放射生物学是研究电离辐射在集体、个体、组织、细胞、分子等各种水平上对生物作用的科学，其中 DNA 的损伤修复是放射生物学的核心。经典 DNA 的损伤修复研究立足于 DNA 本身，而染色质才是 DNA 的损伤修复的天然靶点。我们利用多学科交叉

的优势，例如放射物理，分子生物学等手段开创了染色质层面的 DNA 损伤修复新领域。本课题将探索相关 DNA 损伤修复新通路及新分子机制。

25. 题目：锥束 CT 散射建模、测量与校正方法

指导老师：牛田野，医学物理方向

个人主页：<https://www.me.gatech.edu/faculty/niu>

简介：锥束 CT 成像速度快、分辨率高，穿透性强，广泛用于医学临床诊断和工业无损检测、逆向设计等领域。但是，由于 X 射线和物体的相互作用，散射光子会偏离原来路径并被探测器一同接收，并在投影图上形成散射伪影，造成图像质量恶化。从根本上校正散射伪影对提高锥束 CT 的性能具有重要的意义。针对锥束 CT 散射伪影校正问题，本课题根据不同种类成像物体的特点，建立仿真模型，在实验上定量测量散射光子分布并校正散射伪影，提升物理知识应用能力、动手能力和协作能力。

26. 题目：探测器能谱仿真估计与精准测量

指导老师：牛田野，医学物理方向

个人主页：<https://www.me.gatech.edu/faculty/niu>

简介：多能谱能够充分利用 X 射线的能谱信息，有效地提高图像质量，获得物质成分信息，增强软组织对比度，全方位提升 CT 的成像质量，是 X 射线成像发展的趋势。多能探测器是多能谱 CT 的关键部件，具有更大的动态范围、更快的读出速率和能量分辨能力。多能探测器对硬件和软件开发环境要求较高，本课题围绕多能谱探测，重点解决能谱仿真、多能数据校正等瓶颈问题，提升物理知识应用能力、动手能力和协作能力。