**“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”专项项目指南**

中微子物理是当前粒子物理和核物理领域基础科学前沿，是可能突破粒子物理标准模型的重要研究方向。中微子物理的前沿科学目标之一是确定中微子和反中微子粒子是否是同一种粒子。如果它们是同一种粒子，则中微子是马约拉纳（Majorana）粒子，反之则是狄拉克（Dirac）粒子。实验测量无中微子双贝塔衰变（0νββ）是确定中微子Majorana属性的唯一途径。国际上多个国家正在竞相开展0νββ实验研究，采用的技术方案包括高纯锗探测器，低温晶体量热器，液氙时间投影室，高压气体时间投影室，液体闪烁体等。国家自然科学基金委数学物理科学部现启动“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”专项项目，将利用中国锦屏地下实验室和江门中微子实验“得天独厚”的平台优势，开展无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究。

**一、科学目标**

本专项项目重点针对未来无中微子双贝塔衰变实验，对具有普适性的关键技术问题和理论课题开展深入研究，争取在富集100Mo原料提纯、基于富集100Mo原料研发钼酸锂晶体探测技术及配套极低温光电信号读出电子学技术、低能区粒子鉴别和能量刻度技术、掺碲液体闪烁体探测技术等方向取得重要突破，掌握下一代实验实现10meV甚至meV量级中微子有效质量测量灵敏度的关键技术，为建设具有国际竞争力的无中微子双贝塔衰变大型实验装置提供技术支撑和培养科研队伍。

**二、核心科学问题**

无中微子双贝塔衰变物理的理论研究；高纯度富集钼酸锂晶体研制和富集原料提纯技术；新型TES光热探测读出系统研制和压低双中微子双贝塔衰变的本底效应；能量刻度技术研发和新物理探索；掺碲液体闪烁体探测技术。

**三、拟资助研究方向和研究内容**

**（一）无中微子双贝塔衰变物理的理论研究（申请代码1选择A27下属代码）**

配合中国锦屏地下实验室和江门中微子实验的无中微子双贝塔衰变实验规划，建立和发展相对论多体理论等微观核物理模型，研究无中微子双贝塔衰变相关的多体关联效应、相对论效应、形变效应、夸克层次的物理机制以及中微子混合效应等，探索机器学习等新技术在核矩阵元计算中的应用，提升无中微子双贝塔衰变核矩阵元的计算精度，针对国际国内重点研究的无中微子双贝塔衰变候选原子核，给出可靠的无中微子双贝塔衰变核矩阵元及其不确定度，结合中微子实验结果限制新物理贡献的参数空间，为实验研究提供理论支持。

**（二）高纯度富集钼酸锂晶体研制和富集原料提纯技术（申请代码1选择A28下属代码）**

低温晶体量热器是探索无中微子双贝塔衰变的具有优异性能的探测器。高纯钼酸锂晶体是新型光热双读出晶体量热器的核心靶材料。针对制备高纯度富集钼酸锂晶体的要求，研发基于离心机同位素分离获得的富集100Mo原料提纯和样品检测技术，探索富集晶体生长过程中保持双贝塔衰变有效同位素丰度和分布均一性方法，探索富集原料在晶体生长过程中的利用率提高方法，研发基于区熔法技术的富集原料回收和再利用技术。确立满足大型无中微子双贝塔衰变实验要求的高纯富集钼酸锂晶体生长的核心技术，并能够有效控制探测器所需晶体的成本。

**（三）新型TES光热探测读出系统研制和压低双中微子双贝塔衰变的本底效应（申请代码1选择A28下属代码）**

在新一代无中微子双贝塔衰变大型钼酸锂闪烁晶体量热器实验中，由双中微子双贝塔衰变形成的本底将成为灵敏度的极限，需要提升温度传感器的时间响应来压低。超导转变边沿传感器（TES）读出时间响应较快，已经在前沿天体物理和宇宙学实验的光热测量中得到广泛应用，有可能成为新一代晶体量热器实验的温度传感器的理想技术。研究具有高能量分辨率、高时间分辨率和易于大规模读出的光信号和热信号探测技术是关键。探索热信号在探测器内部以及探测器与晶体靶和冷端耦合间的传导规律、动态稳定性和噪声性能，研究刻蚀形成的半导体基底支撑结构在探测器工作温度的导热规律，研制应用于闪烁晶体量热实验的，能够工作在10-20mK温度区的基于TES的热信号探测器和光信号探测器，表征探测器性能并研究优化0νββ信号与本底的鉴别方法。针对未来0νββ实验需求，以总体本底区分水平为评价标准，确定可实施的技术方案。

**（四）能量刻度技术研发和新物理探索（申请代码1选择A28下属代码）**

确定无中微子双贝塔衰变实验的灵敏度需要探测器在信号搜索阈值附近具有非常精准的能量刻度。为了压低天然放射性本底的影响，选择衰变能（Qββ）远高于2615keV（208Tl特征伽马线）的双贝塔衰变元素是非常有效的压低本底途径。通常使用的长寿命放射源无法提供刻度所需的高能区伽马线。针对实验高精度低本底的要求，建立钼酸锂晶体探测器无中微子双贝塔衰变信号（Qββ～3034keV）能区的刻度系统，研制基于放射线束流产生的56Co的收集和制备刻度源，同时发展应用于光探测器刻度的高强度伽马源激发材料X射线荧光刻度技术。在实现整个能区精准刻度的基础上，充分发挥低温闪烁晶体量热器的粒子鉴别能力，优化光-热双读出系统，实现低能区核反冲信号和β/γ本底区分，压低低能区本底，对低质量暗物质粒子和轴子开展高灵敏度探索。

**（五）掺碲液体闪烁体探测技术（申请代码1选择A28下属代码）**

依托江门中微子探测器，液体闪烁体技术能使0νββ核素的靶质量达到百吨量级，有望将中微子有效质量灵敏度提高到meV量级，研究高掺杂量、高光产额、高透明度、极低放射性的掺碲液闪是关键。研究可掺入液闪的含碲化合物的合成方法，研究和表征含碲化合物结构对液闪吸光性能、发光性能及长期稳定性的影响规律，优化掺杂物结构实现高光产额，研究光学纯化方法实现高透明度，发展放射性纯化方法达到极低本底，研究掺碲液闪中0νββ信号与本底的鉴别方法。针对未来0νββ实验需求，综合能量分辨率和本底水平，以有效质量灵敏度为评价标准，确定可实施的技术方案。

**四、资助计划**

本专项项目资助期限为4年，申请书中研究期限应填写“2022年1月1日-2025年12月31日”。计划资助5项左右，平均资助强度为200-300万元/项，资助经费总强度约为1200万元。

**五、申请要求及注意事项**

（一）申请资格

1.具有承担基础研究课题的经历；

2.具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

1.本专项项目申请时计入高级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数2项的范围。

2.申请人同年只能申请1项专项项目中的研究项目。

3.应符合《2021年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的限制。

（三）申请注意事项

1.**申请书报送日期为2021年11月1日-11月7日16时**。

2.本专项项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2021年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

（2）本专项项目旨在紧密围绕**“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”**，集中国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

（3）申请人登录科学基金网络信息系统https://isisn.nsfc.gov.cn/（没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户），按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

（4）申请书中的资助类别选择“专项项目”，亚类说明选择“研究项目”，附注说明选择“科学部综合研究项目”,申请代码1应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。**以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。**

（5）请按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时，**请在申请书正文开头注明“基于无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究之研究方向：**XXX（按照上述5个研究方向之一填写）”。

申请书应突出有限目标和重点突破，明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

3.申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要求，按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则，认真编制《国家自然科学基金项目预算表》。

4.本专项项目采用无纸化申请，申请人完成申请书撰写后，在线提交电子申请书及附件材料。依托单位只需在线确认电子申请书及附件材料，无须报送纸质申请书，但应对本单位申请人所提交申请材料的真实性和完整性进行认真审核，在项目申请接收截止时间前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料；**在申请截止时间后24小时内在线提交项目申请清单。**项目获批准后，依托单位将申请书的纸质签字盖章页装订在《资助项目计划书》最后，在规定的时间内按要求一并提交。

5.本专项项目咨询方式：

国家自然科学基金委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人：陈国长、张攀峰

联系电话：010-62326910、6911

（四）其他注意事项

1.为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2.为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。