

用于南极古代冰层中磁单极子搜寻的专用 SQUID 磁力仪低温恒温器

仿真设计

一、 导师与团队基本信息	
导师姓名	李正伟
所在院所名称	中国科学院高能物理研究所
职称/职务	研究员
导师或课题组介绍网址:	https://people.ucas.edu.cn/~0038252
电子邮箱和联系电话	邮件: lizw@ihep.ac.cn 电话: 15210983070
一级学科	物理学
二级学科	粒子物理与原子核物理
主要研究方向	天文仪器与技术 高能天体物理/宇宙学实验
日常协助指导人	1. 博士后: 李楠 1. 博士后: 李楠、徐郁、廖国福 2. 博士: 陈潜、宋梦洁、袁双双(联培)、邓以娴、李乐芄、刘松青(外校)、匡唐冲(联培)、张梦弦(联培) 3. 硕士: 张子豪、钟万福(联培)、高灏轩(联培)、邹敦阳、张轲(联培)、邬博(联培)、程哲凯(联培)

二、 项目基本情况	
项目名称	用于南极古代冰层中磁单极子搜寻的专用 SQUID 磁力仪低温恒温器仿真设计
项目科学意义	<p>磁单极子是假设携带孤立磁荷的基本粒子, 其存在将使麦克斯韦方程对称化, 并通过狄拉克量子化条件自然导出电荷量子化。作为超越标准模型的重要理论预言, 磁单极子若被发现, 将从根本上变革现代物理学。</p> <p>现有研究表明, 低洛伦兹因子的磁单极子在地球大气中减速并沿地磁场线向极地汇聚, 此类磁单极子能量损失小, 难以被现有宇宙线实验捕获, 而地球极地可能在数千年间积累低质量、低能量的磁单极子。当这些磁单极子撞击冰层时, 会与质子结合, 释放出 15</p>

	<p>到 1000 keV 的结合能。目前，已有数吨古老的南极冰样本被提取并储存用于气候研究，为本项目提供了理想的探测介质。然而，现有商用直流超导量子干涉仪 (SQUID) 磁力仪通常仅支持室温样品测量，且样品腔尺寸有限 (一般 0.9-8 cm)，无法直接用于大尺寸南极冰样的低温探测。因此，必须开发一套定制化的 SQUID 磁力仪系统，以满足低温、大口径样品测试的特定需求。</p> <p>本项目拟研制国内首套磁单极子搜寻专用大尺寸超导磁力仪的低温恒温器仿真设计，为将来用于测试南极冰样以开展磁单极子搜索提供低温恒温器设计方案。该实验与基于 LHAASO 的宇宙射线磁单极子搜索形成互补，将在低质量、低能量参数空间提供全球领先的探测灵敏度，并实现在古老南极冰样中对磁单极子开展全球领先的搜索。</p>
使用的实验方法、仪器设备、数据软件	<p>超导量子干涉仪 (SQUID) 是一种对环境磁场噪声极其敏感的器件，典型测量灵敏度可达 10^{-15} Tesla 量级。本课题将结合 COMSOL 多物理场仿真与 Python 数值计算及数据分析方法，针对现有低温磁屏蔽材料在 SQUID 磁力仪系统中的作用进行建模仿真，旨在定量评估并降低系统环境磁噪声对 SQUID 测量的干扰，并完成低温恒温器如冷头、无磁杜瓦的仿真设计。</p>
本科生研究任务	<ol style="list-style-type: none"> 1. 文献搜集与综述 2. 参与 SQUID 磁力仪系统低温恒温器设计仿真
大致时间安排	<ol style="list-style-type: none"> 1. 5 月进行文献调研 2. 6-7 月参与系统设计和仿真代码编写 3. 7 月来高能所开展为期 2 周的实践 4. 8 月进行总结报告
预期目标和成果形式	<p>掌握超导量子干涉仪 (SQUID) 的基本原理与微弱磁信号检测方法，了解低温磁屏蔽材料在精密磁测量领域的前沿应用，培养围绕科研课题查阅中英文文献并进行归纳总结的习惯，熟练使用 COMSOL 多物理场仿真软件进行低温磁屏蔽结构建模，以及利用 Python 完成仿真数据的后处理与噪声分析，初步掌握在实验室工作站或服务器环境中运行数值计算任务的方法。如能利用寒暑假或课余时间短期到实验室参与实际工作，将有机会学习 SQUID 磁力仪系统调试与低温磁屏蔽材料性能测试的相关实验设备，参与磁屏蔽筒内部磁场分布模拟与降噪方案的优化研究。在研究过程中表现突出的同学，将有机会在本科毕业设计阶段获得署名发表文章的机会，并获得课题组出具的推荐信，用于申请国内外相关方向的研究生项目。如毕业后选择直接就业，则可积累在精密测量仪器、电磁兼容、多物理场仿真以及低温工程等相关工业领域的宝贵实践经验。</p>
实践地点	<p>中国科学院高能物理研究所</p>
三、对学生的要求与保障措施	
拟接收人数	<p>2-3 人</p>

专业知识要求	<p>本课题适合对高能物理实验技术、核物理测量方法、低温凝聚态物理或精密电磁测量等交叉方向感兴趣的物理学专业本科生。要求对待科研任务具备严谨细致、认真负责的态度。专业知识方面只需具备基本的普通物理、电磁学和量子力学基础，初步的计算机操作能力，初步了解 COMSOL 与 Python 软件使用方法。寒暑假期间可申请短期来实验室实习，届时将有机会接触 SQUID 实验测试平台，学习低温磁屏蔽系统与微弱磁信号测量的实验方法，并参与 SQUID 磁力仪环境噪声抑制的仿真优化与实验验证工作。</p>
工作时间要求	<p>寒暑假需全日制参与 4 周</p>
课题组支持条件	<p>提供住宿补贴、差旅以及日常生活补助，并支持参与相关学术会议，提供仿真所需的服务器</p>