附件2

项目编号： 密级：

**国家重点研发计划课题中期 执行情况报告**

项目名称：基于惰性气体探测器的直接暗物质探测实验

课题名称：吨级液氩暗物质探测器技术研发

课题负责人：（签字） 课题牵头单位：（盖章） 执行期限： 2016年 7月 至 2021年 06月

中华人民共和国科学技术部

20 年 月 日

# **编 报 要 求**

**一、内容说明**

课题中期执行情况报告着重围绕课题任务书的内容，报告课题中期重要进展情况，具体包括课题的总体目标及考核指标实现程度，人员、资金等支撑条件落实情况，课题经费使用情况等，并报告中期执行过程中的重大事项及突出进展。

**二、格式要求**

文字简练；报告的密级一般与任务书规定的密级相同；报告文本统一用 A4 幅面纸，文字内容一律通过“国家科技管理信息系统公共服务平台”在线填报；报告文本第一次出现外文名称时要写清全称和缩写，再出现时可以使用缩写。

**三、编制程序及时间要求**

项目中期总结前，由课题承担单位组织课题参与单位编制课题中期执行情况报告，经课题负责人及课题牵头单位审核后，提交项目牵头单位。

# **编 写 大 纲**

**一、总体进展情况**

1.课题中期总体进展情况

对照课题任务书的计划目标和各项主要指标要求，简要阐明课题中期进展情况，评述课题中期任务的实施进展状态。

本课题按照任务书所定的进度开展研究。目前已经完成吨级液氩探测器杜瓦的设计、加工。经检验，漏气率及漏热功率超过设计要求；研制了TPB镀膜装置，掌握并制定了该装置的操作流程，取得了很好的镀膜样品；完成了电-液氩混合制冷机系统的设计、加工，初步的测试表明该设备性能符合设计要求；完成了低温光电倍增管的单管测试工作，正在进行低温光电倍增管批量测试系统搭建；通过小模型实验研究了液氩纯度的量化测量，通过两相液氩探测器模型测量，获得约166微秒的电子漂移寿命，此项测量结果已经超过任务书规定的目标值20微秒；建立了 GEANT4探测器模拟程序，优化探测器设计。

2. 课题调整情况

如课题出现超前/迟滞等情况，请详细说明原因、措施及履行相关审批管理制度的情况。

本课题基本按照计划进度推进。由于设备加工延误，略有延迟，未完成液氩大杜瓦和制冷机的联合测试，课题不需要做出调整。主要的硬件设备已经加工完成，即将即将运输到货，探测器系统关键工艺和技术验证已经成功完成，后续主要是系统的安装和测试工作。

**二、取得的重要进展及成果**

1.课题中期重要进展及成果

简要介绍课题研究工作的重要进展、阶段性成果（一般不超过3项）及前景。

1. 吨级液氩探测器杜瓦

吨级液氩杜瓦需要兼顾机械强度高和漏热低两个设计指标，为此采用了内罐通过顶部钢管硬连接悬挂于外罐顶部的结构方式。通过与厂商合作完成受力分析和漏热分析，确定了各部分详细尺寸，及多层绝热层的使用。基于液氩探测器对高洁净度的需求，内罐采用1.4米直径的铟丝密封法兰密封，另外，内罐内表面进行了抛光处理。

加工完成后，我方人员和厂方人员共同完成了吨级液氩杜瓦的验收测试。测试分为检漏和漏热测量两部分。其间完成了液氩杜瓦的装配操作。通过氦检，确定系统漏气率小于10-10Pa m3/s；通过2.7吨液氩（90%总容积）的实际充装，检验了系统的承重能力，并通过连续五天的液氩蒸发率测量，确定了系统漏热介于24瓦至32瓦之间，优于设计计算的35瓦漏热的指标。

通过验收测试，我们确认吨级液氩杜瓦的设计和加工完全符合预期，能够满足吨级液氩探测器的使用。

1. 液氩纯度的量化表征

液氩纯度是液氩探测器的重要指标，任务书中探测器的研制目标是达到20微秒的漂移电子寿命。为此我们使用小模型实验详细研究了液氩纯度的量化问题。液氩探测器使用的氩气气源是商业可购买的99.999%的高纯氩气，液氩探测器系统中配备循环纯化系统对氩气进行纯化，最终达到需要的纯度。通过文献调研及开展实际测量，确定杂质浓度在0.1ppm量级，可以通过测量液氩闪烁光慢成分发光衰减时间常数实现在线表征液氩纯度，作为对照，商业高纯氩气对应的慢成分发光衰减时间常数约为700ns，而最终测量到的液氩慢成分发光衰减时间常数为1200ns以上。

对于更高的氩气纯度，则需要借助测量液氩中漂移电子的寿命来确定，为此我们搭建了两相液氩TPC（Time Projection Chamber）。通过对液氩TPC的液氩闪烁光信号S1及随后电离电子漂移到气相中的场致发光信号S2的测量，可以获得S2/S1和电离电子漂移时间的关系曲线，拟合这个曲线得到漂移电子的寿命。小模型实验通过使用我们遴选的一款国产的氩气纯化器，获得了约166微秒的电子漂移寿命，这个值超过了任务书设定的研制目标。

通过小模型实验，我们确认在使用国产关键设备的基础上掌握了液氩探测器的核心技术，氩气纯度的控制。为此可以确认，将类似于小模型实验的实验技术应用于吨级液氩探测器的氩气纯化及纯度监控，有理由可以成功。

1. 大尺寸TPB镀膜机的研制成功

液氩发光波长中心值为128nm，为真空深紫外波段。目前在此波段并没有可靠的商用的光电倍增管产品，通用的做法是使用一种名为TPB (Tetraphenyl butadiene)的固体荧光材料作为波长位移剂将液氩发光转化为420nm的光电倍增管灵敏的探测波长。为此，需要建造大尺寸的TPB镀膜设备将TPB镀膜于光电倍增管光阴极表面及液氩探测器内部反射材料表面。

我们采用的是TPB真空镀膜技术。由于TPB材料并不是常用的真空镀膜材料，商用产品并不能很好地适用，我们采取了分部分采购设备自己集成的方式建造TPB镀膜装置。该设备最重要的部分是直径1.2米高1.2米的真空室，为保证系统的高洁净度和高真空度，我们调研了多家国内的电抛光工艺工厂，最终选定了沈科仪公司来加工这个大真空室。为了控制镀膜进度，购买了国产的膜厚仪，真空泵抽系统包括国产的涡轮分子泵和涡旋干泵。最后我们在高能所集成了这套全国产的大尺寸TPB真空镀膜系统。

经过不断的镀膜测试，获得了持续的10-6Pa的真空度、良好的加热温度控制精度、均匀的TPB膜覆盖层，掌握并制定了该装置的操作流程，实现并确定了TPB镀膜的工艺技术。

2.预期社会经济效益

重点阐明对学科/行业产生的重要影响，对社会民生、生态环境、国家安全等的作用，以及研究成果的合作交流、转移转化和示范推广情况，人才、专利、技术标准战略在课题中的实施情况等。

1. 科学价值和应用前景

本课题研究的液氩探测器技术着眼于低本底暗物质直接探测物理实验前沿。此外，液氩探测器技术在中微子测量、加速器的量能器等领域也有很好的应用前景。本课题对吨级液氩探测器的研究在国内属于首次，具有开创性的意义，将有利于未来我国液氩探测器技术在粒子物理实验上应用。

另外，借助本课题的开展，我们尝试在国内获取低本底氩气。低本底氩气是开展大型暗物质直接探测所必需的探测器材料。

1. 论文成果及学术交流情况

i)，魏玉婷，中国科学院大学硕士毕业论文，“液氩探测器纯度的测量及研究”，2018.6。

ii)，Yu-ting Wei, et al, Consistency test of PMT SPE spectrum from dark-noise pulses and LED low-intensity light, Radiation Detection Technology and Methods (2018) 2:11。

iii),关梦云，“暗物质实验中液氩闪烁体探测技术研究”，中国物理学会高能物理分会第十届全国会员代表大会暨学术年会，2018.6，上海（口头报告）。

1. 人才培养情况

通过本项目的支持，已经培养硕士研究生一名，在读博士研究生两名。其中硕士毕业生论文如下：

i)，魏玉婷，“液氩探测器纯度的测量及研究”，中国科学院大学硕士毕业论文，2018.6。

**三、课题人员及经费投入使用情况**

1.人员及经费投入情况

对照课题任务书阐述课题及课题资金（包括专项经费、自筹经费等）到位情况、课题资金单独核算情况、预算调剂情况、支出情况和经费使用监督管理情况、人员投入情况等。

本课题人员包括课题组长及两名副研究员，以及三名研究生。共申请批复专项经费847.78万元，目前已经到位611.64万元。无自筹经费。课题资金严格按照中科院高能所的相关规章制度单独核算、监督管理。目前无预算调剂情况。

课题经费合计已支出60.2万元。由于审批和采购流程繁琐，时间提前量不够，预算200多万元的光电倍增管采购即将进行评标工作，预计今年完成这笔资金支出。

2.课题经费拨付情况

课题牵头单位向课题承担单位、课题承担单位向课题参与单位拨付中央财政资金情况。

本课题无参与单位。

3.人员及经费实际调整情况

如出现课题人员的调整，以及经费未及时到位、停拨、迟拨等特殊情况，请详细说明原因、措施、履行相关审批管理制度以及整改等情况。

本课题无人员调整情况，经费按时拨付。

**四、课题配套支撑条件情况**

阐述各主要研究任务的配套支撑条件落实及调整变化情况。 如有调整变化，请说明调整变化对完成课题目标的影响和作用。

课题配套的高能所可利用的资源包括足量的液氮供应、纯净水供应，以及与高能所相关低温、高真空同行的交流合作，保证研究及技术实施的可靠性。同时，多方紧密的国际合作也能对关键技术的实现提供咨询和评估作用，加强整体目标的合理性和把控性。以上支撑条件一直存在，没有调整变化。

**五、组织实施风险及应对情况**

阐述课题在组织实施过程中，面对外部政策、组织管理、研发变化和知识产权等方面的风险以及应对措施。

课题由中科院高能所独立承担，主要依托高能所已经建立的液氩探测器实验室，在课题组长的领导下完成国家重点专项课题的研究。

课题中使用的已有技术属于基础研究中所公开的技术或者自行研发的技术，不存在侵犯技术发明人知识产权的问题。项目研发当中使用的软件都为正版软件及开源软件，保证不出现任何侵犯第三方知识产权的行为。

**六、课题组织实施中的重大问题及建议**

无。

**七、任务书中有特殊约定或其他需要说明的事项**

无。