

PandaX-四吨级暗物质直接探测

周宁 (PandaX合作组)

第十二届全国粒子物理学术会议 ・ 合肥 2016年8月



- 暗物质是当今物理学天空中的两朵"乌云"之一
- 探测到暗物质会带来物理学的重大革新
- 在太阳系附近, 暗物质密度 0.3(0.1) GeV/cm3
- Goodman & Witten, 1985





太阳系附近暗物质相对于地球有一定速度周空

暗物质直接探测



- 美国 LUX 实验 (370公斤液氙)正在取数
- 中国 PandaX-II 实验(500公斤液氙) 正 在取数
- 意大利 Xenon1T 实验(3.5吨液氙)实验 开始运行
- 意大利 XenonNT 实验(7.5吨液氙)正在 设计
- 美国 LZ 实验(10吨液氙)计划2020年建 成运行





PandaX合作组

- PandaX = Particle and Astrophysical Xenon Experiments
- 2009年成立,大约50人
 - 上海交通大学,北京大学,山东大学,中科院上海应用物理研究所,中国科学技术大学,中山大学,中国原子能科学研究院,,雅砻江流域水电开发有限公司,MarylandUniversity等









Phase I: 120 kg DM 2009-2014



PandaX-xT: multi-ton DM 2016-

PandaX-III: 200 kg to 1 ton ¹³⁶Xe 0vDBD 2016-

PandaX 实验结果

- Latest result of 3.3x10⁴ kg-day released on July 21st
- Minimum upper limit for SI elastic cross section at 2.5x10⁻⁴⁶ cm², more than a factor of 2 improvement compared to the LUX 2015 results
- Accepted by PRL on Aug 16th



PandaX 四吨级实验计划

- PandaX合作组计划建造4吨级暗物质探测实验,保持世界前沿,为进一步终极暗物质计划进行技术准备。
- 2016年底四吨级实验设计定型
- 2017年底完成实验各个部分建造
- 2018年初在锦屏深地实验室安装投入运行
- 2018-2020年世界上最大的暗物质探测器,散射截面灵敏度达到10⁻⁴⁷cm²

锦屏二期PandaX实验洞

- 高14米, 宽14米 •
- 长65米 •
- 13米深高纯水池 •



isêmi clean room

实验采用方案

周宁

- 气液两相型氙暗物质探测
 - 国际成熟技术,
 - PandaX 一期, 二期成功建造运行
 - 氙对中高质量的暗物质信号灵敏
 - 液氙对本底有自屏蔽效应
 - 两相型有助于信号本底的区分
 - 液氙提纯技术成熟
 - 液氙易于扩大体量

2009-2014: 120公斤液氙 PandaX一期



2014-2017: 500公斤 液氙 PandaX二期



- 暗物质探测原理
 - 入射暗物质和氙原子碰撞
 - 通过光电倍增管测量碰撞信号
 - S1信号:液氙中产生闪烁光
 - S2信号:电离电子在气氙中发光
 - 重建碰撞能量和三维位置

实验设计

- 整体实验布局示意图
 - 13米深纯水屏蔽体
 - 外罐真空容器, 內罐压力容器
 - 探测器:时间投影室
 - 氙气提纯系统
 - 液氙制冷及存储系统
 - 电子学系统



氙气提纯系统

探测器设计

周宁

- 圆柱形时间投影室探测器
 - 有效直径:~1.2米
 - 有效高度:~1.2米
 - 液氙使用总量:5.5吨
 - 敏感区域液氙总量:4吨
 - 信号区域液氙总量:3吨

- 组成部分:
 - 漂移室(特氟龙反射板)
 - 高压电极 (漂移电场, 萃取电场)
 - 光电倍增管(信号采集)



光电倍增管阵列

- 滨松公司提供3吋光电管
 - 高采集效率
 - 低本底, 低暗电流
- 阵列设计
 - 优化位置重建和能量重建
 - 位置重建精度~5mm





底部光电管 199个



顶部光电管 169个

top pmt



电场设计

周宁

- 四个电极:屏蔽极,阴极,栅极,阳极
 - 确保>90%的透光率, 网状结构

•

- 漂移电场强度:~400伏/厘米
- 萃取电场强度:~5000伏/厘米
- 60个整形环确保探测器内部匀强电场





电场模拟

0.12

0.1

0.08

- 静电场模拟
- 优化电场的均匀度



gatewire7.5mm

cathodewire15mm

cathodewire40mm

cathodewire80mm

线图: es.Er/es.Ez(1) 线图: es.Er/es.Ez(1) 线图: es.Er/es.Ez(1) 线图: es.Er/es.Ez(1)

Er/Ez

探测器本底

- 探测器本身材料的辐射引起的电子反冲和中子本底
- 选取干净材料
 - Teflon反射板, 内外罐等
 - 目标两年背景事例数小于2个
- 调整信号区域,去除液氙表面
 信号区域达到3吨









- 太阳中微子、大气中微子、弥散超新星 中微子
- 中微子引起的背景 (2-years 3ton FV)
 - 电子反冲 0.3 events
 - 核反冲 0.1 events







原子核整体散射

10²

电子学和数据获取系统

- 400-道电子学,类似PandaX二期设计
- 优化设计,降低触发阈值(x2)和提高带宽(x10)



制冷系统和氙存储系统

- 制冷采用类似PandaX二期的设计
 - 在线提纯





周宁



(b) 制冷总线实物装置

- 氙存储系统
 - 6组 4x4 (50kg, 40L)
 - 满足五吨氙存储
 - 氙的充放速度: 600 1000kg/day



Kr提纯测量和低本底测量系统

周宁

- Kr⁸⁵ 放射性本底
 - 精馏塔精馏目标: 0.1-0.01 ppt
 - 测量系统精度目标: 0.1-0.01 ppt



- 伽马低放材料检测站
 - 检测放射性元素
 - 两套, 地面与地下相结合



(b) 精馏塔实际装置



实验预期

- 计划2018年建成并运行
- 找到暗物质或很大程度上排除WIMPs 这类最可能的暗物质
- 目标两年运行的背景事例数约2个,从而探测灵敏度达到10-47 cm²



小结

- 暗物质探测是新物理寻找的重大课题
- 中国PandaX实验最新结果给出了世界上最强的暗物质限制
- 为了保持世界领先地位,进一步探测暗物质信号,PandaX正在发展四吨级暗 物质探测计划,预计2018年初开始运行
- PandaX合作组进一步探索终极暗物质计划