

水桶中的宇宙线

高能物理研究所
徐吉磊

2023年8月26日@成都

目录

➤ 水桶中的宇宙线

- 实验原理
- 现有大型高能物理实验上的探测器
- 水桶实验
- 数据分析

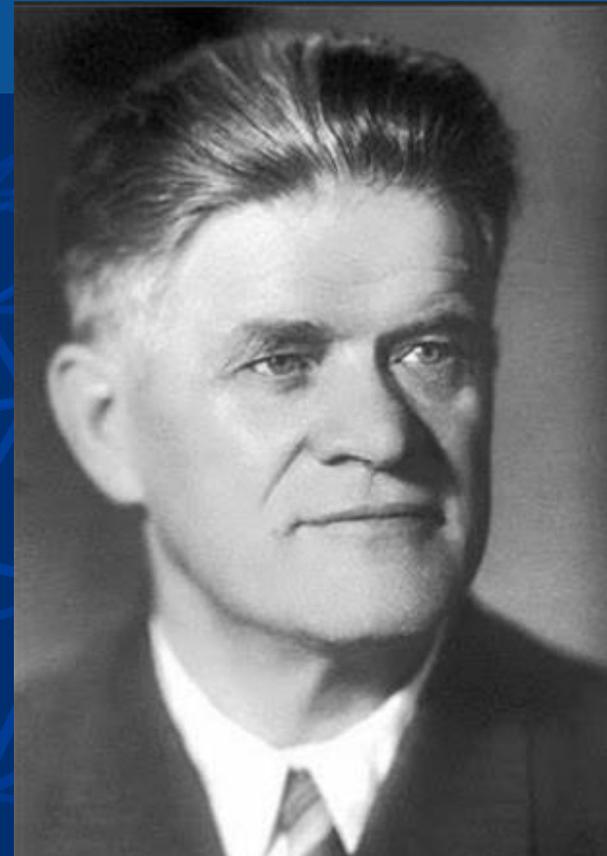
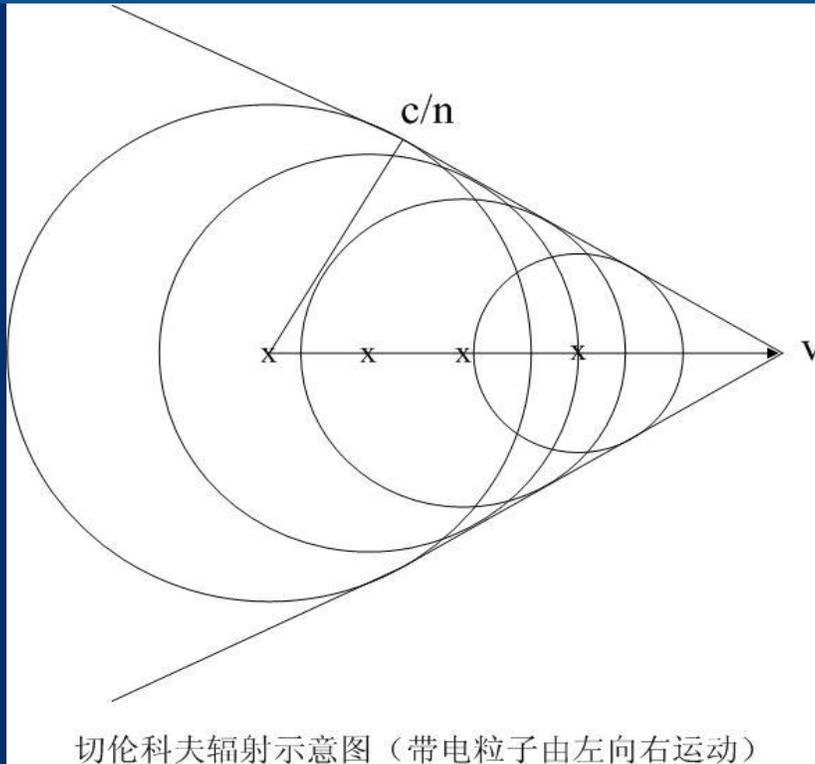
➤ 延伸实验和思考

- SiPM+水可否看到宇宙线?
- SiPM+液闪?
- SiPM+塑闪?

➤ 总结

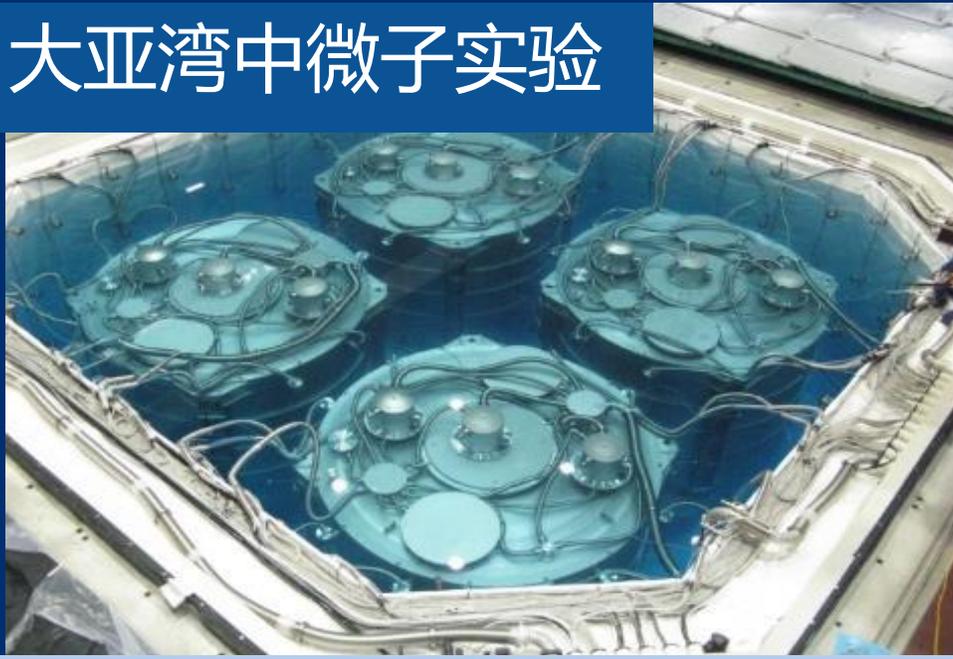
契伦科夫辐射原理

- 当带电粒子在透明介质中的传播速度大于光在该介质中的速度时,会发出一种以短波长为主的电磁辐射, 表现为微弱的蓝色可见光, 这种光被称为契伦科夫光, 这种辐射被称为**契伦科夫辐射**(Cherenkov radiation).
- **1934年**, 苏联物理学家帕维尔·阿列克谢耶维奇·**契伦科夫**发现, 因此以他的名字命名。1958年获得诺贝尔奖。

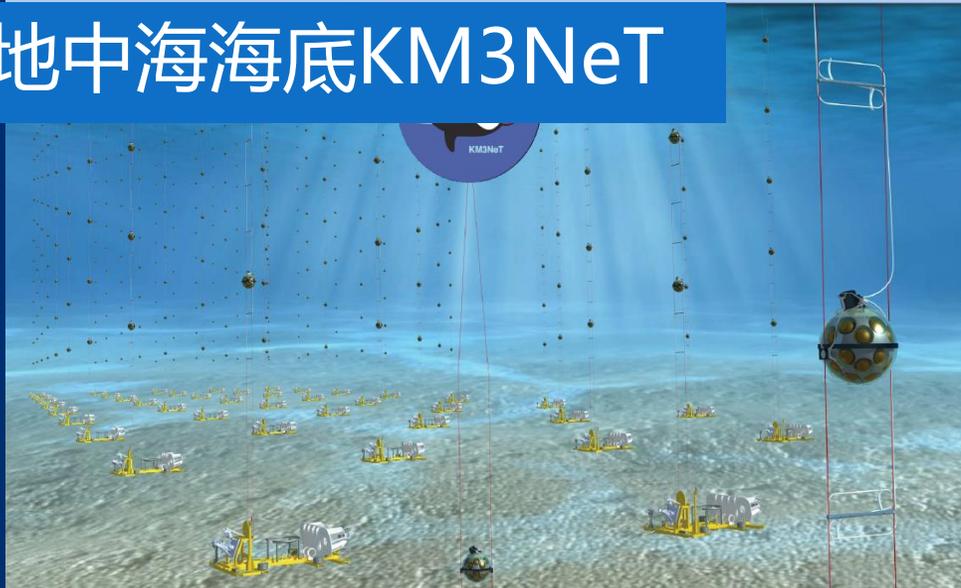


许多高能物理实验使用水契伦科夫探测器

▶ 大亚湾中微子实验



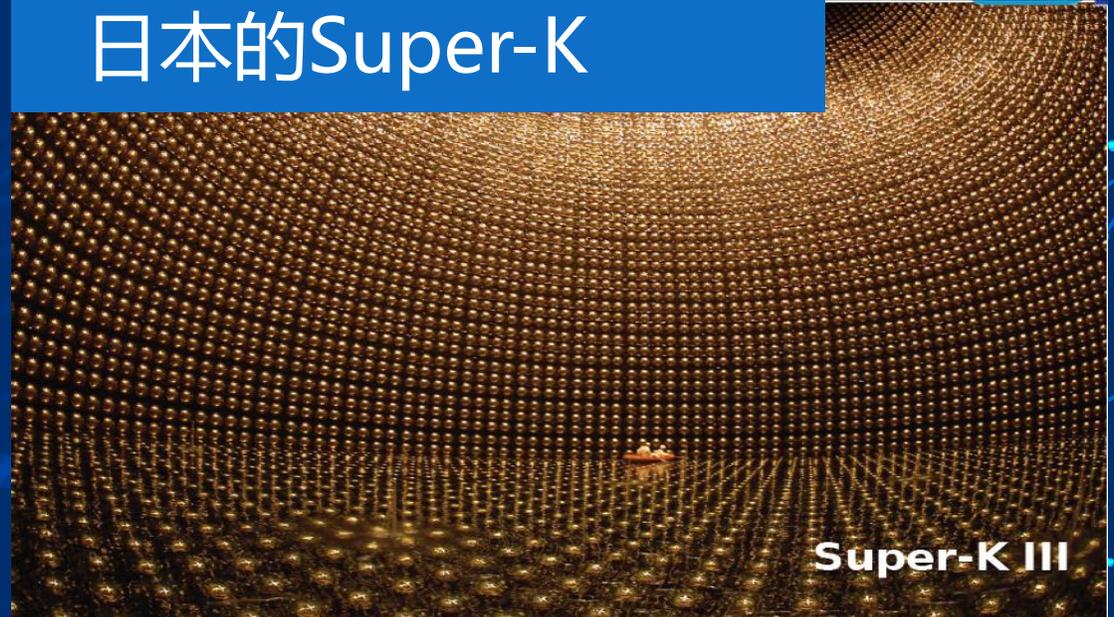
地中海海底KM3NeT



▶ LHAASO



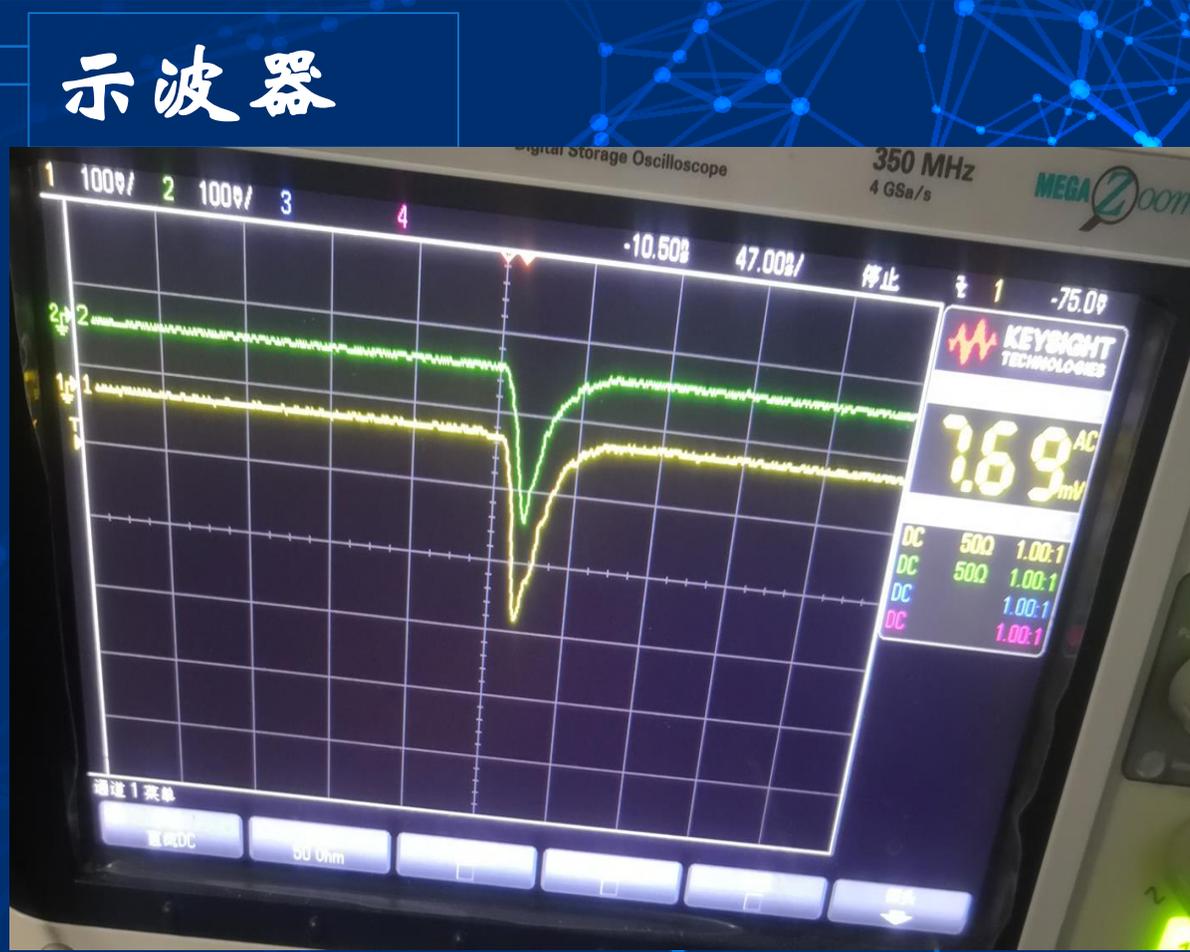
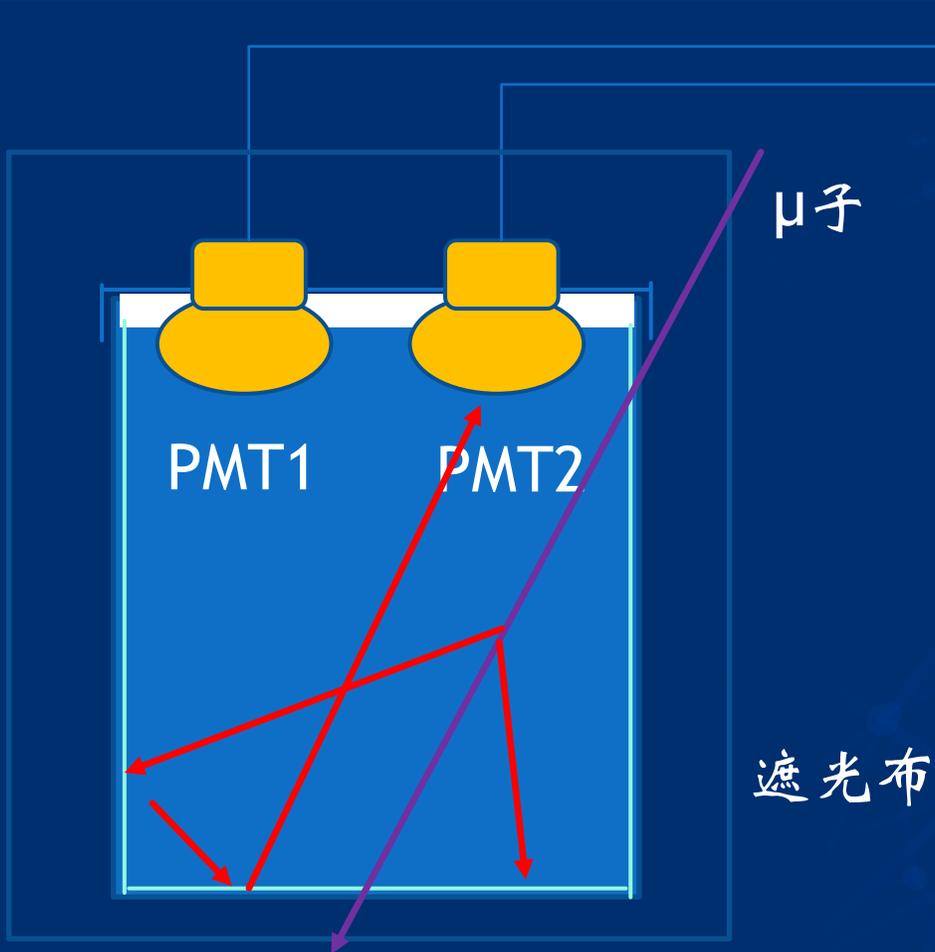
日本的Super-K



问题

➤ 利用水契伦科夫原理，可否自己动手搭一个简单实验看到宇宙线信号？

- **设计思路：**简单的盛水装置 + 日常普通自来水 + 光电倍增管 + 示波器
- **目的：**设计一个简化版实验，让中学生动手参与，提高中学生的对物理研究的兴趣，有参与的快乐感，并同时学到对宇宙线观测的知识和一种观测方法



实验过程

► 实验视频:

<https://ihepbox.ihep.ac.cn/ihepbox/index.php/s/BZEzjBPAY86Fy1z>



用两个光电倍增管 (堵住孔)

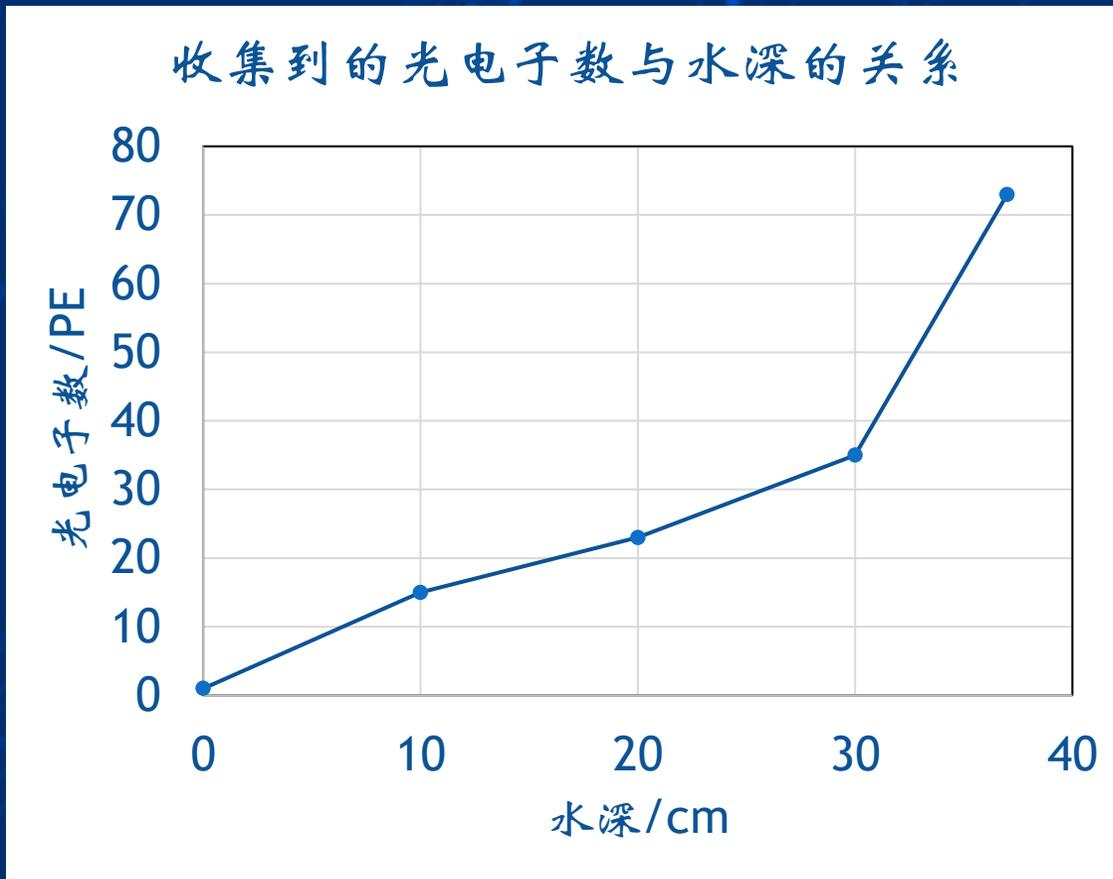
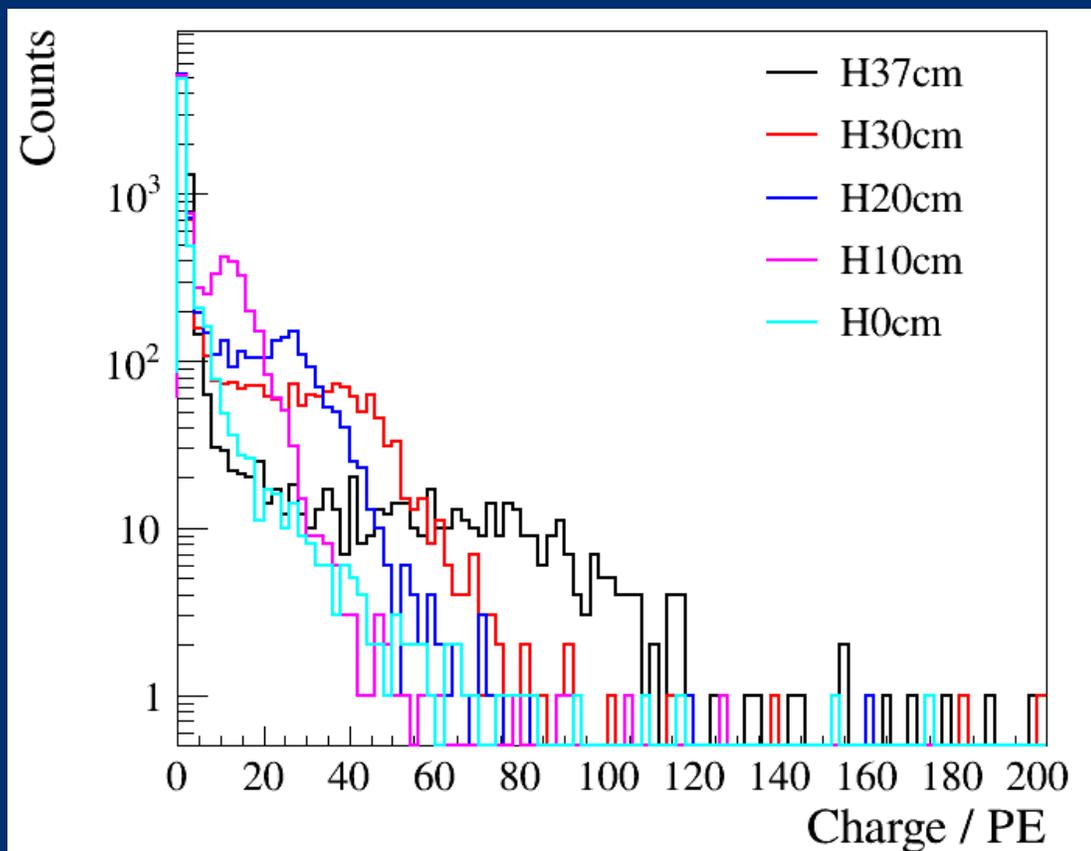


数据分析

有不少研究课题

- 宇宙线事例率
 - 不同海拔高度、纬度、建筑物下宇宙线事例率等
- 事例率与水深的关系
- 信号大小与水深的关系
- 使用不同反射膜的效果
- 不同水质对事例率和信号的影响

例如：信号大小与水深的关系



探测器总结和思考

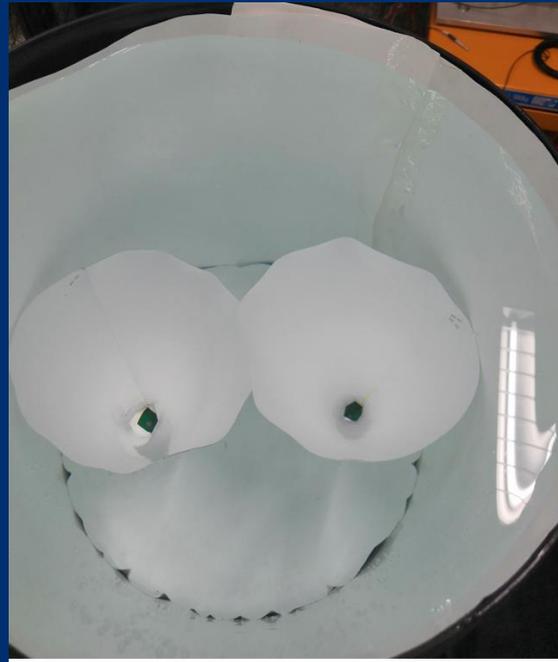
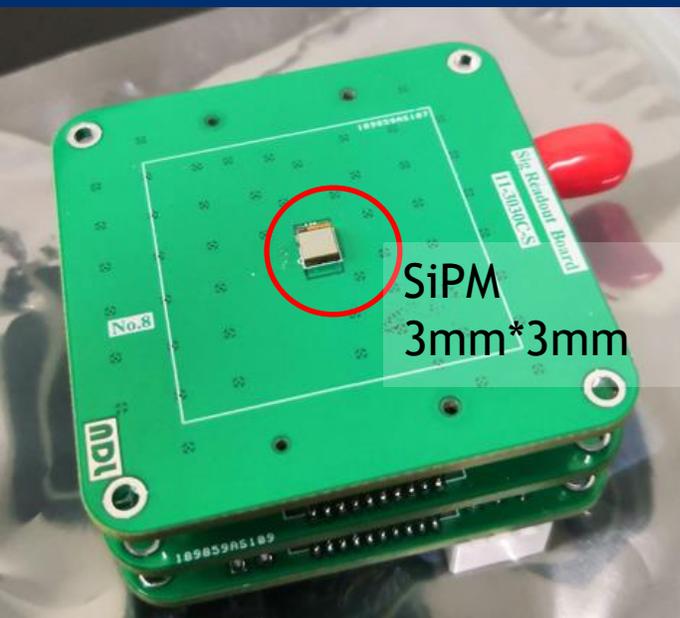
探测器组成形式	实验
PMT+塑闪	LHAASO ED等
PMT+水	LHAASO WCDA, Super-K等
PMT+液闪	大亚湾中微子实验、Borexino等
SiPM+水	好像还没?
SiPM+液闪	将来的JUNO-TAO中心探测器
SiPM+塑闪	已有小型实验应用。
CCD相机	如果发展到单光子水平, 是否可以直接看到宇宙线径迹?

SiPM + 水可否观测到宇宙线?

➤ 购买了北师大的SiPM:

<http://www.ndl-sipm.net/>

• 硅光电倍增器 (SiPM--silicon photomultiplier)是一种由工作于雪崩击穿电压之上和具有雪崩猝灭机制的雪崩光电二极管阵列并联构成的, 具有极佳的光子数分辨和单光子探测灵敏度的硅基弱光探测器。



● 实验一, 没有看到宇宙线信号。

● 桶顶两的PMT位置更换为SiPM

● 实验二, 没有看到宇宙线信号

● 将SiPM挪到桶底

● 实验三, 没有看到宇宙线信号

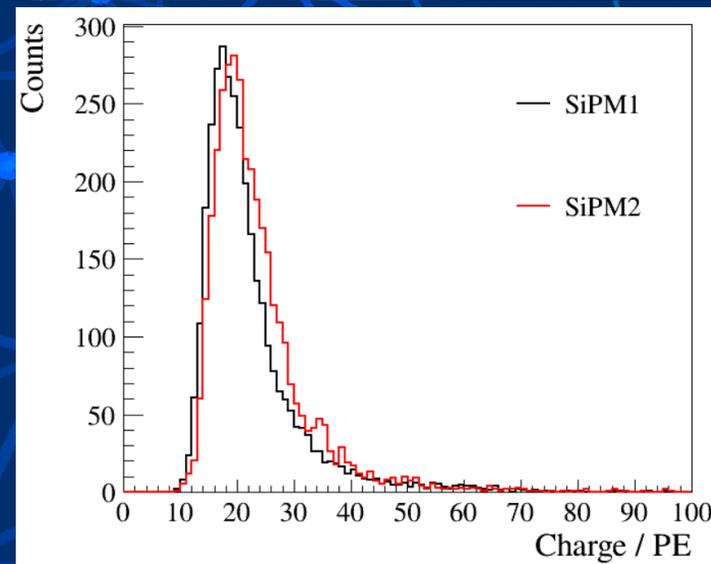
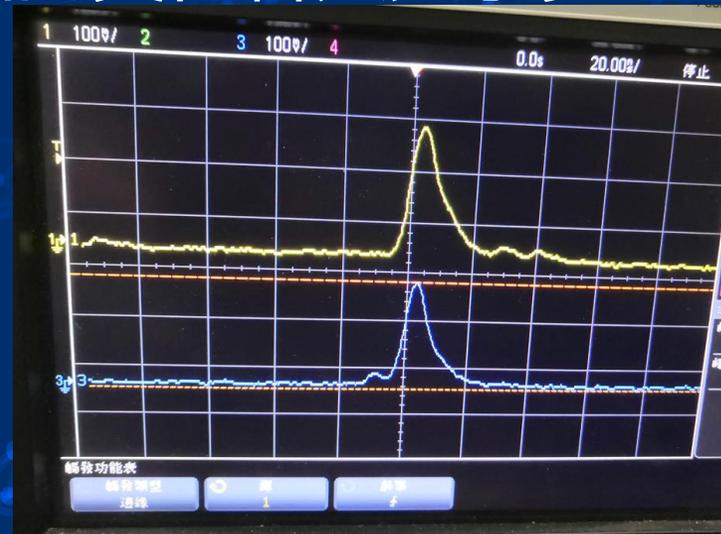
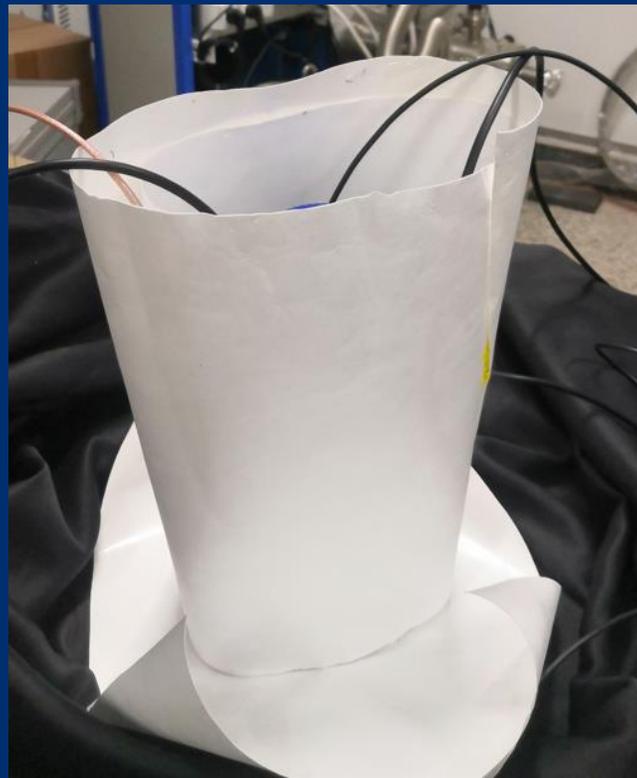
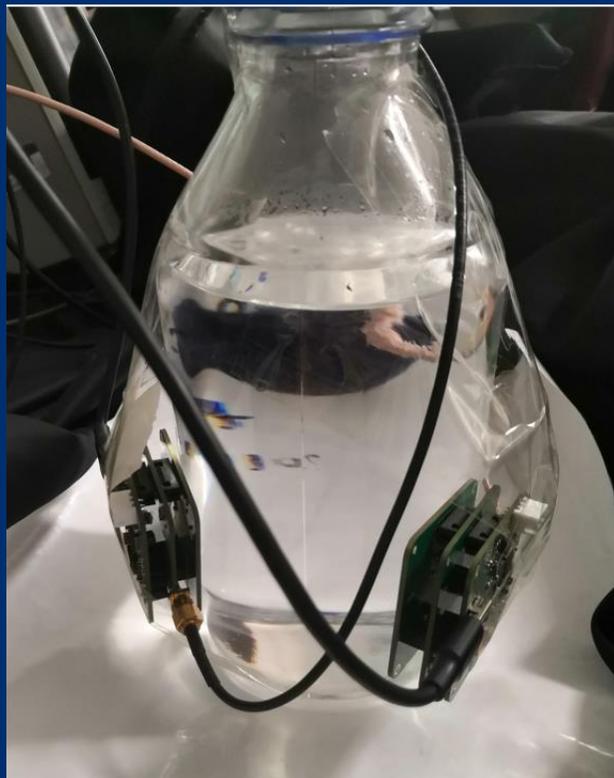
● 做俩简易的聚光罩

➤ 原因: SiPM面积太小, 比PMT面积小几百倍, 粗略估算只能收集0.1 PE.

➤ 需要设计精巧的聚光装置或者增加光纤?

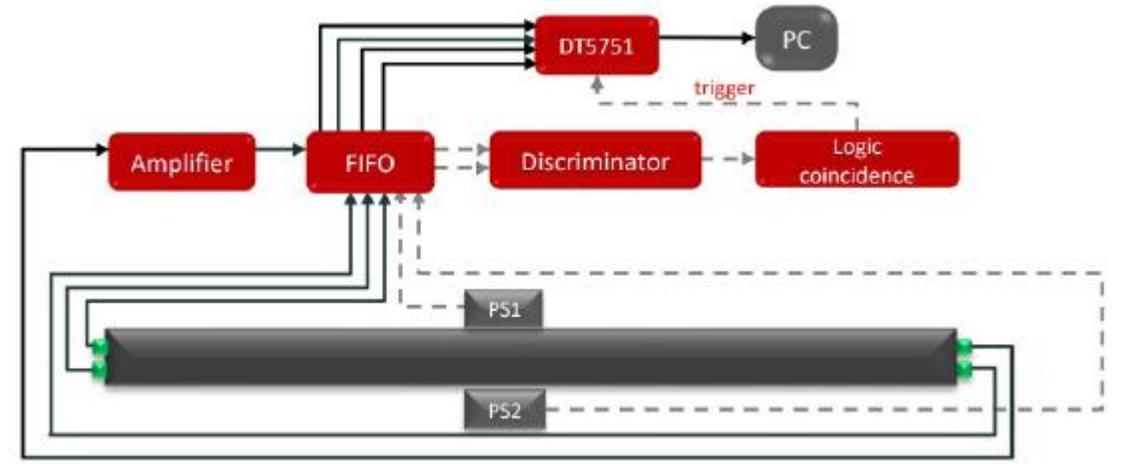
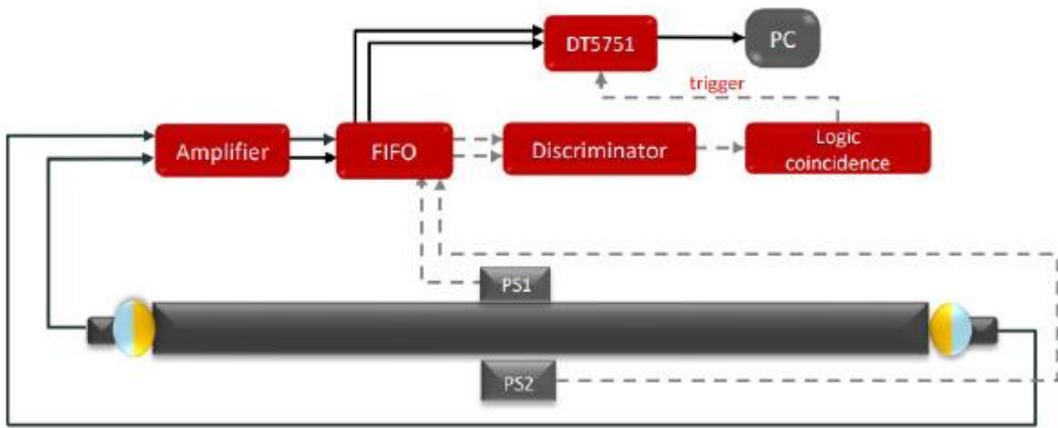
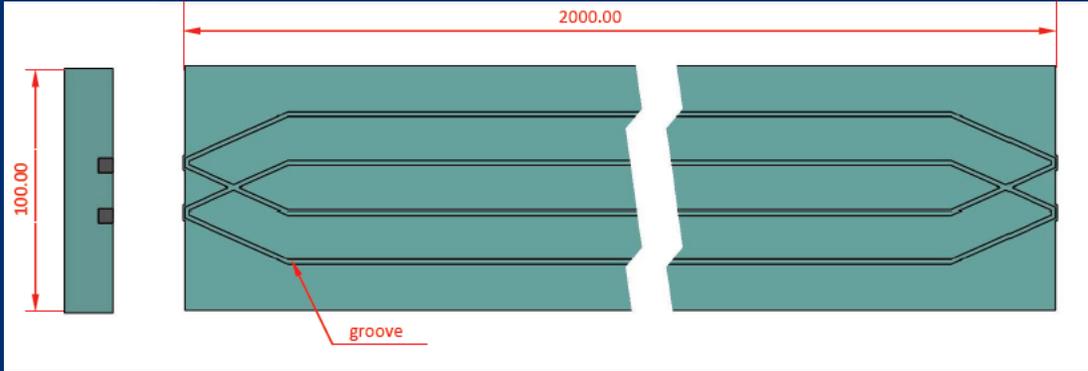
SiPM+液闪

- 液闪是一种能发液闪光的物质，比水发出的契伦科夫光子多近100倍。
- 透明玻璃瓶+液闪+SiPM

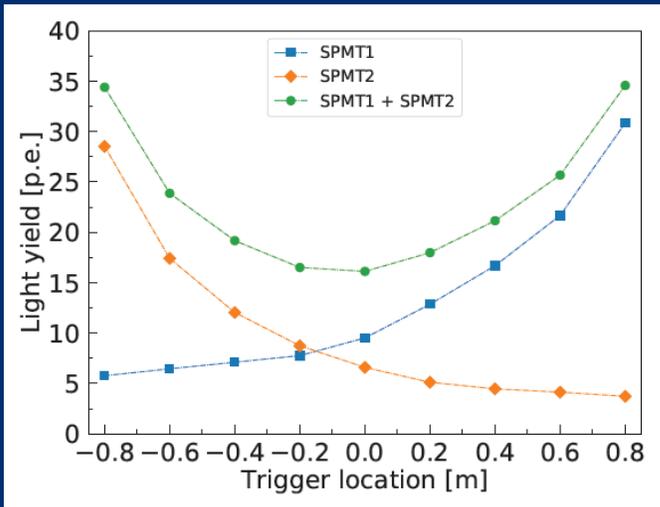


可以看到宇宙线信号!

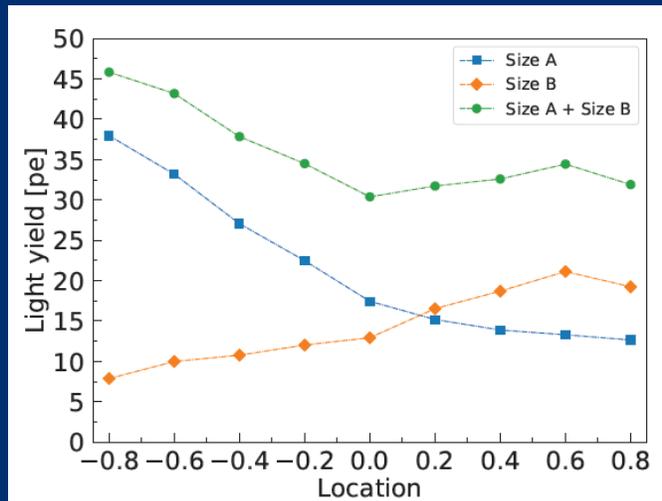
SiPM+塑闪



SPMT测试结果 (光产额,效率)

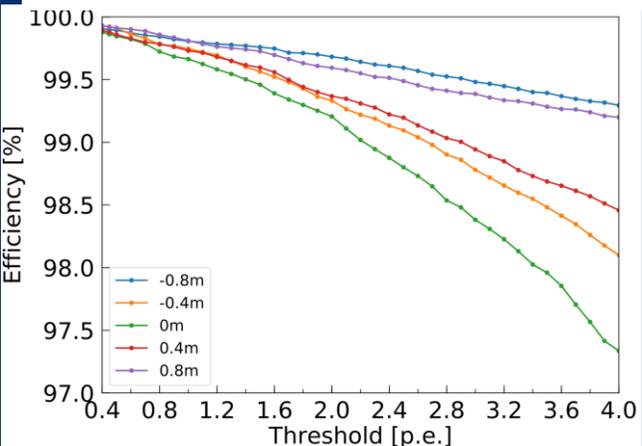


PMT双端收集光电子数与位置关系

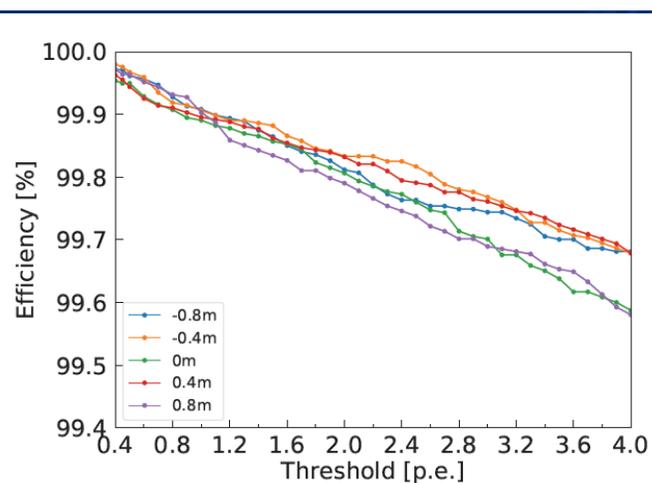


SiPM双端收集光电子数与位置关系

- SiPM光电子数收集大于3英寸PMT;
- SiPM探测效率高于3英寸PMT。



PMT探测效率与阈值关系



SiPM探测效率与阈值关系

总结

- 水+PMT组成的契伦探测器仍然在世界高能物理实验上使用
- 使用简单的避光水桶和PMT容易用示波器看到宇宙线信号，并可以得到很多量化的研究内容，适用于中学生或者大学生动手操作，也适合开放思维，做各种探究。
- 亦可尝试其他光电转换器件应用到宇宙线探测上。

A network diagram consisting of numerous blue nodes connected by thin blue lines, set against a dark blue background. The nodes are arranged in a complex, interconnected pattern, resembling a social network or a data structure. The lines vary in thickness, with some being more prominent than others.

谢谢大家!