

1.背景介绍

结构复杂、成本高：ATLAS 探测器。欧洲核子研究组织 CERN 的大型强子对撞器(Large Hadron Collider, LHC), 圆周 27 公里。最初 LHC 的建造经费是 1995 年通过的一笔 26 亿瑞朗, 另有一笔两亿一千万瑞朗的经费作为实验之用。预期的建造总额约为八十亿美元。

实验条件苛刻: 加速管主要放置两个质子束管, 由超导磁铁所包覆, 以液氦来冷却。约束 LHC 粒子在加速管中运动的磁场是由超低温超导磁铁产生的, 内部总共有 9300 个磁体, 超导铌-钛磁铁的温度必须维持在 1.9K (-271°C)。制冷分配系统 1.008 万吨液态氮将这些磁体的温度降低到零下 193.2°C, 再用近 60 吨液态氮冷却到 1.9K。

当两束质子束相撞时, 它们将在一个极小的空间内产生比太阳中心热 10 万倍的高温。

衰变产生的 μ 子通过电离而损失能量, 中微子不发生相互作用而穿过介质。

$$\mu^+ \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^+ + \nu_e, \mu^- \rightarrow \nu_\mu + e^- + \bar{\nu}_e$$

图: 高能强子与介质原子核强相互作用, 非弹性作用产生多个次级强子 (π 和合资), 发生强子联级簇射, 也称强子簇射。

2. μ 子基本特性

无强相互作用: 带电粒子与介质之间的相互作用主要是电磁相互作用。整体作用电离 (距离大于原子大小)、碰撞 (等于)、库伦散射 (小于), 韧致辐射 (电子受阻尼, 速度小), 切伦科夫辐射 (超过光相速度), 同步辐射 (电子磁偏转加速), 穿越辐射 (穿过折射系数不同界面)。

γ 光子的光电效应、康普顿散射、正负电子对。

高能带电强子 (π 、质子) 与介质的核相互作用形成强子簇射。

Bethe-Bloch 公式 (电离能损, 高能时忽略)、韧致辐射只对电子而言 (点电荷), 对 μ 子主要是 cerenkov。

能量: GeV-TeV。

3.实验原理

带电粒子通过介质时, 路径周围的原子或分子将因电磁作用瞬时极化。当粒子通过后, 这些被极化的原子或分子立即退极化, 引起具有加速度的振动, (自己电子的韧致辐射) 每个退极化的原子或分子作为辐射中心, 把能量以电磁辐射的形式发射出来。切伦科夫辐射是多个邻近原子的辐射相干叠加的结果, 为保证是相干光源, 粒子必须作等速运动, 使相邻原子所受的扰动相同; 为保证波前干涉得到加强, 粒子速度必须超前于电磁波在介质中的传播速度 ($v > c/n$), 使各点发出的元波位相相同, 在一定方向得以加强。根据惠更斯原理, 得到辐射条件。

4.探测器主体部分: 铝箔皱化, 增大漫反射, 提高收集效率

5.光电倍增管

阴极反光部分防止外界光源引起阴极光电子产生。

百叶窗式 / 盒栅式

热发射: 阴极材料功函数, 热发射电流, 需要冷却光电管

欧姆漏电：主要指管内和沿管壁玻璃表面上的电极漏电。管内，碱金属整齐附着凝结在绝缘支架上；**玻璃壳表面和管座潮湿玷污引起管外漏电。**

残余气体电离产生光子打出电子（反馈电流）、场致发射（强电场下尖端毛刺的电子发射）都和**高压有密切关系。**

切伦科夫光子（ μ 子通过窗材料，采用石英窗可消除）。

玻璃壳放电和玻璃荧光：负高压时金属屏蔽表面与玻璃壳接触在管壳表面放电，可将壳与管子分开，不与玻璃壳接触。

闪烁体：四周有反射层。**光导**：有效将光传递给阴极。1.闪烁体面积比光电倍增管大，光导过渡，较多光子进入阴极。2.强磁场，长光导引光。3.空间限制，光纤。4.表面形状不一，过渡。

金属屏蔽：类似铅屏蔽。射极跟随器：阻抗匹配。

6.其他工具和附件：数字示波器

7.数字示波器波形

输入端采取交流耦合的方式，阻抗 50Ω ，上升沿触发，触发电平 **1V**，保持横向（时间轴）触发位置不变。

管中心偏离桶中轴 **10cm**，光电倍增管玻璃壳的最下部浸入水中 **1cm**，排除水面反射和折射的损耗。光电管外壁与桶盖开口处用 **1mm** 厚的黑色胶带密封 **5** 层，密封层宽 **10cm**。我们在实验时，用黑布遮盖整个装置，

测量本底信号时，**将光电管上提，使管的最下部在水面以上 1cm**，同时用 **1mm** 厚的黑色胶带将管口密封 **3** 层，以起到隔光的作用。

有负值部分：电容充放电。

8.能谱图

光电管前端未加闪烁体，所以无法将不同能量的入射光子转化成强度不同的荧光光子脉冲（均一化），以鉴别能量不同的单个光子。**切伦科夫辐射光强与波长 ($\lambda=hc/E$) 成平方反比关系**，所以实际测量时并不需要依靠闪烁体来对打在阴极上的光子能量进行均一化，**能量不同的切伦科夫光子天然就对应着强度不同的辐射流**，并在光阴极产生不同数量的光电子，使得其在能谱上可以对应不同的道址。

0-1024 道多道分析器，100 道以下，弱光。

9.对能谱图面积的分析

无法定标脉冲强度和道址之间的关系，阴极光电子数目与阳极输出脉冲强度之间的关系，但都是成正相关的。

10.小结：结论需要加强。

11.改进方案：高密度聚乙烯合成纸，杜邦特维强；漫反射，BS (P. Beckman 和 A. Spizzichino) 理论等效（统计角度漫反射区域看到镜反射光强分布，光强分布依赖于表面微观特征）；抛物面聚焦；符合计数单方向。

12.总结与展望：eCube 的 μ 子寿命探测仪器。