

一种新型的探测器

——介绍 U^{238} 量能器

王朝俊

在高能物理领域中,人们根据实验课题,设计和建造了具有不同性能的探测器。随着加速器能量的增加,量能器已成为流行的粒子探测器之一,这种探测器系统具有下列性质:

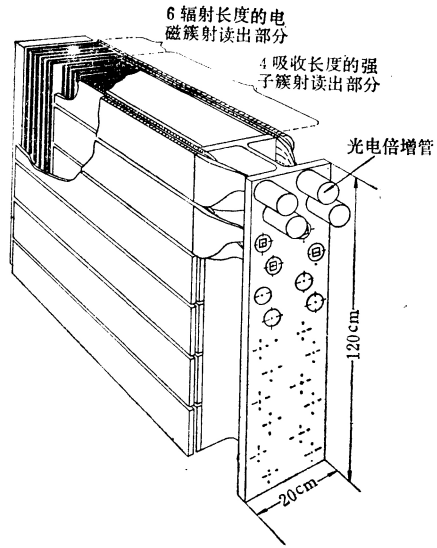
1. 入射能量的测量精度是随能量 E 的增加按 $E^{-1/2}$ 而改善。因此,由于加速器能量的增加,吸收谱仪比磁方法更精确。
2. 探测器可盖过很宽的能区。
3. 可以测量中性粒子的能量和位置(除中微子外)。
4. 很容易测量一束粒子(喷注)带走的总能量。

此外,由于强子和电子引起的簇射是不同的,如果量能器被设计用于测量簇射特性,那么它也可能实现对电子(或光子)-强子的鉴别。也可鉴别 μ 子。量能器的机械结构比较简单。

虽然量能器已在各高能实验室广泛使用,近年来,量能器的技术又获得了发展。但是,由于以下的原因,有效地使用量能器还存在许多困难: 1. 量能器分辨率差。2. 在强子对撞机情况下,量能器是高效率、高选择触发装置,但只有量能器的响应和入射粒子的性质无关的时候,末态粒子无偏见选择才是可能的。

最近实验工作已解释了影响强子量能器的能量分辨率的物理机制。综合起来有如下几个方面:

1. 量能器的体积有限,簇射能量的相当一部分可能由逃逸次级强子和光子带走,增加可探测能量的涨落,这就是所谓的侧面和背面能量漏失。要得到最佳能量分辨率希望量能器在纵向和横向方面大得足以包含全部簇射。
2. 取样涨落在取样量能器总是存在的,这是因为沉积在吸收物质中的能量部分的统计变化,但目前的技术已能达到精细取样,在 3 毫米厚 U^{238} 板和 2.5 毫米厚塑料闪烁体夹层的铀量能器结构中,取样涨落与能量分辨率相当,因此取样涨落并不限制能量分辨率。
3. 相当一部分入射能量是消耗在这样的反应,它并不引起在探测器内可观测到的讯号,除能量漏失外,还有介子衰变的中微子实际上是看不见的;飞行中介子衰变的相对论性的 μ 子是很难被吸收的;而大多数材料对探测慢中子是无效的。由逃逸 μ 子和中微子引起的能量损失,在低能时是小的,而且随能量增加而降低。
4. 探测器的非线性超过一定电离密度,任何粒



子电离探测器都表明,粒子通过探测器的能量损失和输出之间的正比关系就破坏。线性的破坏导致能量的不正确估计。一般,对电子在宽的能区或高能单电

荷粒子引起的相对低的电离,还是保持正比关系的。但对重电离粒子如核碎片,正比关系就破坏了。最大的非线性发生在有机闪烁体(塑料或液体),这是由于闪烁猝灭。但对无机晶体,如 NaI,非线性是相当小的。

除了上述原因外,影响强子量能器最重要的原因是入射粒子和靶核之间的核相互作用,往往综合为“束缚能”损失:核作用通常被考虑在三个阶段进行,在初始粒子通过的 10^{-22} 秒内快速次级粒子被发射(级联粒子),高激发核的剩余物在 10^{-18} — 10^{-13} 秒之内退激发并发射慢 γ 和质子,主要是慢中子。这些慢中子的核束缚能引起可见能量的损失,使量能器对强子簇射的能量响应降低。检验的办法是测量同样能量的强子讯号与电子讯号之比值 $S_{h/e}$ 。我们知道在电子讯号中核效应是不存在的。在一般量能器结构中,在 1—20 Gev 能区,这个比值大约是 0.7。

现在的办法是如何克服慢中子的核束缚引起的能量损失,以增加量能器对这些中子的响应。一个办法是在量能器的结构中插入能产生这些中子的放大器。我们知道这个放大器就是核裂变过程。Willis 等人已找到利用这些中子增加量能器响应的一个新方法,这就是利用 U^{238} 板代替惯用的吸收体,这种物质对 1—10 MeV 的相对高能中子有很高的裂变截面。也即利用 U^{238} 裂变产生的附加能量补偿束缚能的损失,从而改善了强子量能器的能量分辨率,并使 $S_{h/e}$ 近似于 1。所以说,测量 $S_{h/e}$ 的比值也是选择量能器材料的最好估计。

每个量能器分成两部分,第一部分为 6 辐射长度的电磁部分,它由 10 块 2 毫米厚铀板与 2.5 毫米厚塑料闪烁体夹层组成。第二部分为 4 吸收长度的强子部分,它由 38 个单元,每个单元由 2 块 3 毫米厚铀板,一块 5 毫米厚铜板,中间夹层 2.5 毫米厚塑料闪烁体

组成。每个量能器在光学上分成 6 个塔，每个塔的电
磁测量部分和强子测量部分分别从两侧读出。光学读
出系统是用波长移位器接到有机玻璃光导至光电倍增
管。量能器的结构如图所示。

用 U^{238} 板作为量能器的吸收体，其优点是显然
的，因 $S_{h/e}$ 近似于 1，量能器将提供无偏见的触发，为
它在强子对撞机中开辟广泛的应用。如果把量能器做
成 2π 探测器，它可用于电磁单粒子的触发；强子单粒
子的触发；喷注事例的触发和多喷注事例的触发。而
且用方位对称的量能器测量所有带电和中性粒子的动
量或能量。其次能量分辨率比一般结构的量能器高 2
倍以上。但遗憾的是，大量地应用铀板使这一探测器的
发展受到很大限制。因此，必须寻找尽量节省铀板的
方案。在世界各高能实验室中，人们对 Willis 的铀
量能器给予很高的评价。