

原子核乳胶

及其在高能物理中的应用

刘惠长

在日常生活中,大家对于照相底片是比较熟悉的。我们走进医院X光室的时候会看到,在荧光灯的屏幕上,有一张张肺部或骨折等底片,这种底片也是大家所熟知的X光底片。

原子核乳胶是从上述的普通底片发展起来的一种特殊的照相底片。正是由于某些矿物能使附近照相底片曝光,人们才发现了天然放射性。但普通照相底片只能记录许多射线的总效应,不能测定各种射线的各种性质,对于少量射线更是无能为力。人们为了增进对各种射线的了解,经过长期研究,制成了一种可以记录单个带电粒子,而且可以测定带电粒子的各种性质的底片,这种底片就叫原子核乳胶。

原子核乳胶在核物理、宇宙线、高能物理、放射性矿物的探测和研究,以及农业、冶金、生物、医学等领域使用放射性同位素的工作中有着广泛的应用。

一、原子核乳胶的特点及其类别

原子核乳胶的主要成分与普通照相底片差不多,都是卤化银微晶体与照相明胶混合而成,但在构造上有显著差别。

原子核乳胶由于其应用方面不同,除去和普通照相底片一样,在玻璃板或三醋酸片基上涂一层乳胶膜外,还有用于宇宙线和高能物理中的“脱底乳胶”,就是将乳胶膜从玻璃板上剥下来,叠在一起使用,叫做

附表

	原子核乳胶	普通照相底片	X光底片
溴化银含量	80%左右	25%左右	40%左右
溴化银颗粒直径	0.2微米*左右 大小均匀	1微米左右 大小不均匀	1—3微米 大小均匀
乳胶膜厚度	50—600微米	10微米	20微米

* 1微米 = 1/1000毫米

“乳胶叠”。还有用于自射线照相用的“液体乳胶”。

和普通照相底片一样,由于制备方法不同,原子核乳胶也有各种灵敏度。

1. 对一切带电粒子都灵敏的乳胶,常用于宇宙线,高能物理以及 β 、 γ 放射性的研究中。这种类型乳胶有核₁型、核₂型以及HW₁型和HW₂型乳胶。

2. 对能量不很高的带电粒子灵敏,对 β 、 γ 不灵敏的乳胶(即能量在几百个百万电子伏以下的 α 粒子,几十个百万电子伏以下的质子,几百万电子伏以下的介子,几十个千电子伏以下的电子)。这种类型的乳胶,常用于低能原子核物理研究及 α 放射性的探测中。在这种情况下,用高灵敏度乳胶不仅不必要,而且不合适。因为它对 γ 、 β 很灵敏,大量 γ 、 β 射线本底会妨碍其他径迹的观测。这种类型的乳胶有核₂型和HW₂型。

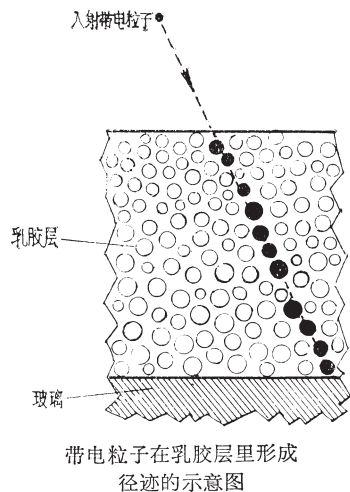
3. 只对重核(如核分裂碎片)灵敏的乳胶。在核分裂的研究中,用这种乳胶比较方便,可以避免 α 、 β 、 γ 等径迹的影响。这种类型的乳胶

有核₀型。

二、径迹的形成

为什么光、X射线、带电粒子会使照相底片、X光底片和原子核乳胶感光,并记录其影象呢?因为底片中感光物质是溴化银晶体,溴化银晶体是由 Ag^+ 和 Br^- 构成的离子型晶体,也是一种半导体。晶体受光、热、带电粒子的电离作用时,一部分电子的能量升高,从满带逸入导带,在晶体中自由运动。这些电子被晶体中的一些电子陷阱(即灵敏中心,主要是由银原子组成的)所俘获。灵敏中心上的负电荷与在晶体点阵中作热运动的间隙银离子中和,就在灵敏中心上多了一个银原子。如此反复,灵敏中心上的银原子越积越多,到充分大以后即形成“显影中心”。显影中心在显影时起催化作用。一个溴化银颗粒只要有一个显影中心,就可以受显影剂的还原作用而变成银粒。没有显影中心的溴化银颗粒,在显影时还原得很慢,在一般显影程度下,实际上都没有还原,在定影时,这种溴化银颗粒就被液解掉了。

当一个带电粒子射入乳胶层时,它穿过一连串的溴化银颗粒,其中一部分颗粒上受射入粒子的作用形成显影中心,经过显影、定影、水洗、干燥,用高倍显微镜观察,就会看到一串黑色银颗粒,这串银颗粒就组成一条径迹,也就是一个带电粒子在乳胶中所走过的路程。



除了径迹以外,还可以看到一些零乱的银粒,叫做雾点。这是由于其它原因(化学作用、热作用、光作用等)而产生的。

径迹的长度叫射程,粒子能量越高,射程越长。如果事先用一系列已知能量的粒子得出射程——能量关系,则测量射程,就可以定出能量。径迹单位长度中的银颗粒数目,叫颗粒密度,它与粒子种类(质量、电荷)和速度有关。电荷多速度慢的粒子电离本领强,即传给每个溴化银微晶体的能量较大,所产生的潜影也较大,达到可显程度的几率也较多。因而颗粒密度较大。

粒子在乳胶中运动时,由于与原子碰撞而产生多次散射,改变运动方向,所以径迹稍有弯曲。质量小或速度慢的粒子碰撞时容易改变运动方向,因而径迹弯曲程度较高。由此可见,根据径迹颗粒密度的大小和弯曲程度,可以判别粒子的种类,并测定它们的速度。中性粒子不带电,没有电离作用,要依靠它所产生的次级带电粒子来间接探

测。

三、核乳胶在高能物理中的应用

1932年发现中子以后,人们认识到原子核是由中子和质子组成的。但是,中子和质子是靠什么力结合在一起的呢?1935年日本物理学家汤川秀树提出:“正如同电磁相互作用是靠传递光子来实现的一样,核力是由于交换比电子重二百多倍的介子而产生的。”不久,人们在宇宙线中发现了一种比电子重二百多倍的 μ 介子,可是这种 μ 介子与原子核的相互作用极弱,不可能是核力的传递者,还不是汤川预言的介子。一直到1947年,英国物理学家鲍威尔等人利用原子核乳胶在宇宙线中发现了比电子重二百七十多倍而与核有强相互作用的 π 介子,而且发现 π 介子可以衰变为以前在宇宙线中所发现的与核相互作用很弱的 μ 子。这个发现证实了汤川理论的预言,也推动了核乳胶在高能物理研究工作中的广泛应用,并在应用中不断改进核乳胶的性能。

后来,人们用核乳胶陆续发现了 K^+ 、 K^- 介子, Σ^+ 超子, $\bar{\Lambda}^0$ 反超子等新粒子,对许多“基本”粒子的性质进行了大量研究,丰富了人们对微观世界的认识。

直到今天,核乳胶仍是高能物理研究工作的重要工具,主要应用于宇宙线研究。

核乳胶比较轻便,可以用气球、火箭或人造卫星送上高空,或者较长期放在高山上。到今天为止,核乳胶还是所有探测器中空间分辨本领最高的。这对某些高能物理问题的研究是很重要的。例如在超高能领域,粒子能量很高,向前方的动量很大,衰变产物受动量守恒定律的限制也必然集中在向前的一个小角锥方向。这就形成一个“喷注”。在“喷注”中,很小的空间中有很多个粒子通过。由于乳胶中粒子径迹很细,喷注中的大量径迹还可以区分

开。再例如,现已发现的粒子寿命都小于 10^{-16} 秒或大于 10^{-11} 秒。中间还有五个数量级的空白。寿命为 10^{-13} — 10^{-14} 秒的高能粒子在乳胶中径迹长度可能有几到几十微米,还可以观测,用其它探测器就难以观测了。

在高能物理研究中,利用核乳胶的空间分辨能力,把它做成铅(或其他重金属的)多板室的灵敏层,以观测宇宙射线产生的电磁簇射,测量带电粒子的动量,分析研究超高能核作用的有关问题,这是发挥核乳胶特长的一种方式。在原子核乳胶中载入特定的靶物质,可研究特定的高能核作用问题,比其它探测器也有独到之处。此外,还常将核乳胶与固体径迹探测器、火花室、契伦科夫计数器、X光底片等结合起来使用,各自发挥特长,对同一个事例从各个侧面了解,以便得到比较全面、正确的认识。