

CR-39 塑料固体径迹探测器

崔浣华, 吴日昇, 王世威

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

CR-39 是一种良好的固体径迹探测材料, 本文描述了它的一些性能试验结果。

一、引 言

用固体径迹探测器记录重离子具有以下优点: 本底低, 潜径迹不易衰退、处理简单、重量轻, 便宜, 容易做成很大的面积。因此它在宇宙线物理中得到广泛的应用^[1,2]。

当重离子射入塑料固体径迹探测器时, 沿其轨迹产生辐射损伤, 重离子的径迹蚀刻速度 V , 取决于辐射损伤程度即电离率, 因此 V 可用来鉴定入射重离子的电荷, 质量和能量。 V 响应一致性与重离子的分辨率有关。为了记录宇宙线中的相对论重离子, 要求固体径迹探测器的灵敏度高, 分辨率好。

用有机材料作成的固体径迹探测器比无机材料的灵敏度高。到目前为止, 常用的有机固体径迹探测器是硝酸纤维素, 醋酸纤维素和聚碳酸酯塑料膜, 其中以硝酸纤维素径迹探测器的灵敏度最高, 但它只能记录约 6 兆电子伏的 α 粒子和 $z \sim 35$ 以上的相对论重离子。这些探测器对 V 响应的一致性较差, 其中以聚碳酸酯径迹探测器较好, 约为 3—8%。因此需要改善固体径迹探测器的性能。

1978 年 Cartwright, Shirk 和 Price^[3] 发现 CR-39 径迹探测器, 它具有灵敏度高, 响应一致, 径迹轮廓清晰等优点, 是一种比较理想的重离子和轻离子径迹探测器。

我们准备用 CR-39 径迹探测器记录北京上空初级宇宙线中的相对论重离子。文献中对 CR-39 径迹探测器使用的蚀刻条件不统一, 因此作者首先对蚀刻条件进行了研究。同时对它作为重离子径迹探测器的基本性能如灵敏度、响应的一致性进行了初步的研究。

二、实验方法和结果

1. 选择最佳蚀刻条件

采用文章 [4] 中以垂直入射的一定能量的 α 粒子蚀刻曲线 $R(h)$ ($R = \alpha$ 粒子的半径, $h = V_e t$ 剥蚀厚度, V_e 为总体蚀刻速度) 的斜率来表示蚀刻条件的相对灵敏度。这里

用裂片径迹直径测定 V_g , 用 6.1 兆电子伏 α 粒子和裂片径迹的直径之比 α 表示 CR-39 径迹探测器在各种蚀刻条件下的相对灵敏度, 根据相对灵敏度的高低来选择最佳蚀刻条件。

(1) 实验方法

用 ^{252}Cf 源放出的裂片和 6.1 兆电子伏的 α 粒子在真空中垂直照射 CR-39¹⁾ 径迹探测器。

将照射过的 CR-39 径迹探测器在所研究的蚀刻条件下进行蚀刻, 然后用装有螺旋目镜测微计的光学显微镜(放大 600 倍) 测量裂片和 α 粒子径迹的直径, 用最小二乘法计算 V_g 和 α 粒子蚀刻曲线的斜率。

(2) 实验结果

在不同的蚀刻温度和不同的氢氧化钠浓度的溶液中蚀刻 CR-39 径迹探测器, 测定的 α 值和 V_g 见图 1—4。

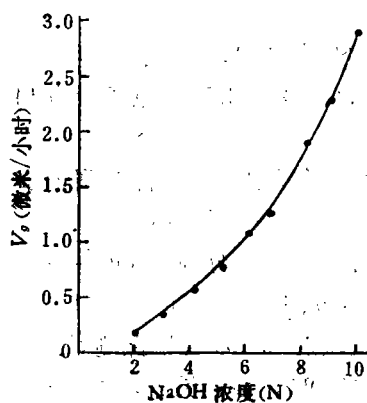


图 1 在 70°C 蚀刻 CR-39 探测器时 V_g 和 NaOH 浓度的关系

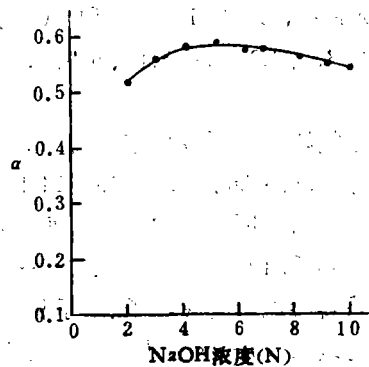


图 2 在 70°C 蚀刻 CR-39 探测器时灵敏度 α 和 NaOH 浓度的关系

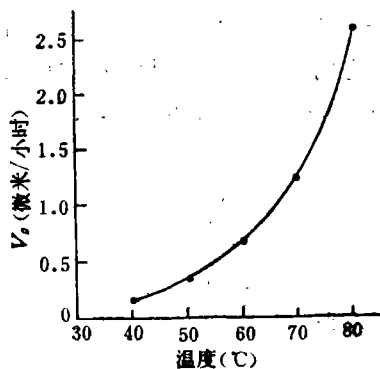


图 3 在 6.8N NaOH 中蚀刻 CR-39 探测器时 V_g 和温度的关系

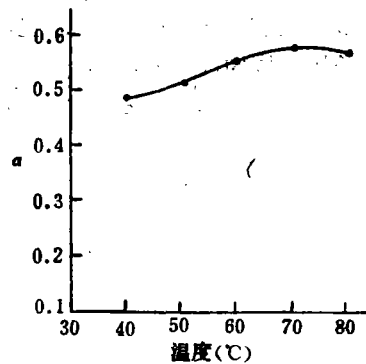


图 4 在 6.8N NaOH 中蚀刻 CR-39 探测器时灵敏度 α 和温度的关系

1) CR-39 热固塑料, 无色透明, 片厚 1.5 毫米, 日本生产。

由图 1—4 可见, V_g 随温度升高, 氢氧化钠浓度增大而增加, 在 4—6.8N NaOH 之间 α 值处于最大值区间, 数值基本不变. 在 60—80°C 之间 α 值变化不大, 但以 70°C 的 α 值略高一点. 因此选择 70°C, 6.8N NaOH 作为 CR-39 径迹探测器的最佳蚀刻条件.

2. V_i 响应的一致性

用上述实验方法先求出最佳蚀刻条件下 6.1 兆电子伏 α 粒子和裂片径迹的直径之比 α , 再计算 V_i [10]

$$V_i = \frac{1 + \alpha^2}{1 - \alpha^2} V_g$$

以 $\Delta V_i / V_i$ 表示 V_i 响应的一致性.

将 CR-39 剥蚀至不同厚度, 直到每面的深度约 120 微米为止, 用上述实验方法求出不同深度的 α 和 V_i . CR-39 径迹探测器不同深度的 V_i 响应的一致性 $\Delta V_i / V_i$ 为 1%.

3. 测定 CR-39 径迹探测器的灵敏度

(1) 实验方法

用 ^{241}Am 源, $\text{ThC}'(\text{ThC})$ 源和 ^{252}Cf 源的 α 粒子经空气或 Mylar 膜慢化后得到能量为 1、1.7、2.3、3.3、4.2、4.8、5.48、6.1、6.7、6.9、7.4、7.9、8.4 和 8.78 兆电子伏的 14 种能量 α 粒子.

用原子能研究所迴旋加速器的 26.5 兆电子伏 α 粒子经铝箔慢化后得到能量为 8.9、11.1、13.7、15.9、18.6、20.5、22.0、24.4 和 26.5 兆电子伏的 9 种能量 α 粒子.

用原子能研究所静电加速器加速的质子和氦核. 质子能量分别为 300、400、500、600、700、800、900 和 1000 千电子伏. 氦核能量分别为 600、1050、1350 和 1450 千电子伏.

用上述各种能量的 α 粒子、质子和氦核分别垂直照射 CR-39 径迹探测器.

将照射过的 CR-39 径迹探测器在 70°C, 6.8N NaOH 溶液中蚀刻, 测量各种径迹的直径. 用裂片径迹的直径计算 V_g 和剥蚀厚度 $V_g t$.

(2) 实验结果

将质子、氦核和 α 粒子径迹的半径与剥蚀厚度的关系分别表示在图 5、6 和 7 中.

由图 5—7 可见, 能量为 1—26.5 兆电子伏 α 粒子、300—1000 千电子伏质子和 600—1450 千电子伏氦核的蚀刻曲线通过坐标原点, 表明它们处在探测器可记录的能量范围之内. CR-39 径迹探测器记录 α 粒子、质子和氦核的最高能量分别超过 26.5、1 和 1.45 兆

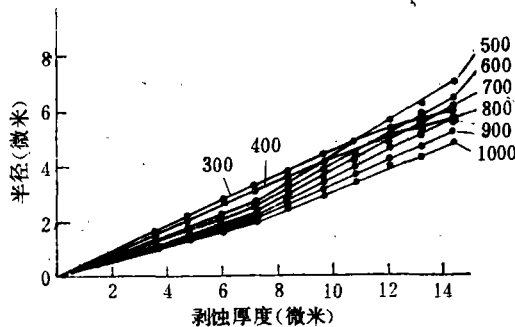


图 5 质子径迹的半径和剥蚀厚度的关系图中单位均为千电子伏

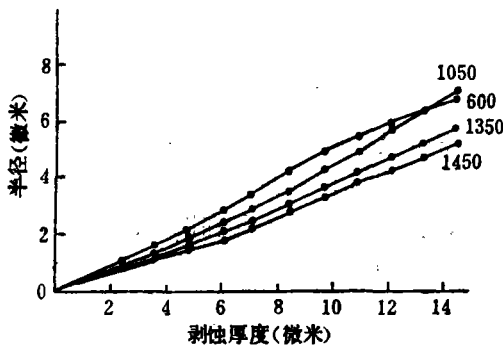


图 6 铀核径迹的半径和剥蚀厚度的关系。图中单位均为千电子伏

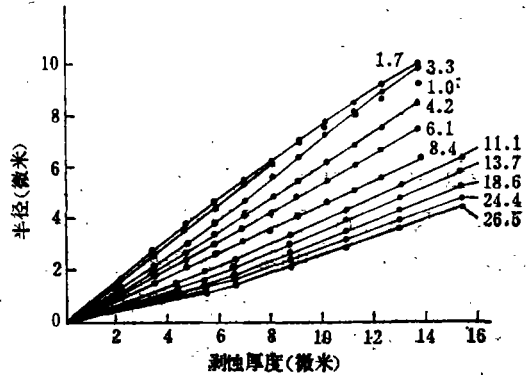


图 7 α 粒子径迹的半径和剥蚀厚度的关系。图中单位均为兆电子伏

电子伏。CR-39 径迹探测器记录垂直入射的 α 粒子、质子和铀核的径迹口很圆，轮廓清晰，径迹反差大，是一种良好的轻离子径迹探测器。

(3) 记录 z/β 值的下限

由 α 粒子的能量和测量的径迹直径计算蚀刻速度比 V 和 z/β 值 ($z = \alpha$ 粒子的原子序数, $\beta = \alpha$ 粒子的速度除以光速)。

蚀刻速度比为 $V^{(4)}$

$$V = \frac{V_t}{V_g} = \frac{1 + \alpha^2}{1 - \alpha^2}$$

α 是图 7 中 4.2—26.5 兆电子伏 α 粒子蚀刻曲线初始段直线部分的斜率, 再用上式计算它们的蚀刻速度比 V 。

由 α 粒子的能量 E , 原子量 A 计算 z/β , 其中 β 为^[5]

$$\beta = \{1 - [1 + (E/931.14A)]^{-2}\}^{1/2}$$

将 α 粒子的 $(V - 1)$ 和 z/β 的关系表示在图 8 中, 同时列出 Lexan 的结果以资比较。

由图 8 可见, CR-39 径迹探测器记录最低的 $z/\beta \leq 17$, 它可以记录 $z \leq 17$ 以上的

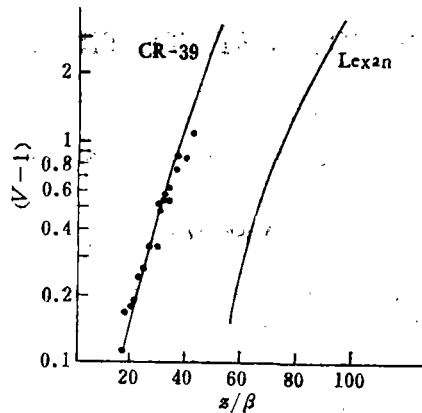


图 8 α 粒子的 $(V - 1)$ 和 z/β 的关系

相对论重离子。因此它可以用来探测宇宙线中铁组核及比它更重的相对论重离子。

三、讨 论

CR-39 径迹探测器记录 α 粒子的 $(V-1)$ 和 z/β 关系曲线和 Price 等人^[6]记录 α 粒子、C、N、Ar、Fe 等重离子所得结果基本上一致。但 α 粒子能量在 3.3 兆电子伏以下(即 $V > 2$)的结果与 Price 等人所得的结果偏离较大,这部分数据没有画在图上。这说明更重的相对论重离子的蚀刻行为需用重的离子来比较,用低能量的 α 粒子来类比可能是不合适的。 V 值在 2 以上,用直径法测定 V 引进的误差较大^[5]。

四、结 论

实验验证了 CR-39 径迹探测器的灵敏度和响应的一致性远远超过至今所用的其它一切固体径迹探测器。它可以记录自然界所有能量的 α 粒子,是一种良好的轻离子径迹探测器。它也可以记录宇宙线中铁组核以上的相对论重离子(过去所用的一切材料只能记录 $z \sim 35$ 以上的相对论重离子),它也是一种分辨率好灵敏度高的重离子径迹探测器。

何泽慧、冯锡璋先生和朱善根同志对本工作进行了热情的指导和帮助。孙汉城、祁步嘉、韩树奎、程业浩等同志帮助进行加速器照射。任国孝、黄荣庆同志参加了部分工作。在此向他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. L. Fleischer et al., Nuclear Tracks in Solids (Univ. of California Press, Berkeley, 1975).
- [2] 林孝羲,应用物理, 49(1980), 705.
- [3] B. G. Cartwright et al., Nucl. Instr. Meth., 153(1978), 457.
- [4] 崔浣华等,核化学与放射化学, 2(1980), 228.
- [5] G. Somogyi et al., Nucl. Instr. Meth., 134(1976), 129.
- [6] P. B. Price et al., Research on CR-39 plastic detectors for cosmic ray astrophysics. 作者赠阅.

CR-39 PLASTIC SOLID STATE TRACK DETECTOR

CUI HUAN-HUA WU RI-SHENG WANG SHI-CHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

CR-39 is a good material of solid state track detectors. In this paper the results of some behaviour tests are described.