

用塑料径迹探测器直接测量快中子*

郭士伦 孟 武 孙盛芬 周蕙明

提 要

用0.085至18 Mev 单能快中子对聚碳酸酯、硝酸纤维和醋酸纤维塑料径迹探测器进行了照射。用光学显微镜测量了快中子在单位质量塑料径迹探测器中产生的可蚀刻径迹数目。实验证实,用聚碳酸酯薄膜探测快中子存在着阈值,数值约为0.3 Mev。测量了聚碳酸酯薄膜对0.3至18 Mev 快中子的探测效率,给出了探测效率曲线。对硝酸纤维和醋酸纤维薄膜探测快中子的阈值进行了初步实验,对实验结果的意义进行了讨论。

一、引 言

塑料径迹探测器在快中子照射后产生可蚀刻径迹的现象,已被人们遇到,并进行了一些研究和利用^[1,2]。但直到现在,研究还是比较粗糙的,只用了少数几种能量的中子进行照射,得到的结果尚不能得出系统深刻的认识和有说服力的结论。

在工作中,我们也遇到了快中子在塑料径迹探测器中产生可蚀刻径迹的现象。通过分析,我们认为这一现象可能具有重要意义。

首先,既然快中子在塑料径迹探测器中会产生径迹,塑料径迹探测器就可能成为一种新型的中子探测器。

其次,快中子在塑料径迹探测器中产生径迹,主要是由快中子引起反冲核形成的(对径迹数目的分析只能得出这样的结论)。根据该探测器探测重带电粒子生成可蚀刻径迹的辐射损伤密度阈特性,塑料径迹探测器探测快中子也应具有阈值。如果果真如此,塑料径迹探测器有可能成为新型的、由一种或数种不同阈值的材料组成的、测量快中子的阈探测器,在实用上是有价值的。探测中子的阈值的存在,在塑料径迹探测器理论上也是重要的。

为此,我们对塑料径迹探测器探测快中子的效率,以及生成径迹的阈值进行了测量和研究。

二、测量原理

实验发现,用快中子照射后的聚碳酸酯薄膜,当用蚀刻剂蚀刻时,在最初蚀刻的一段时间内,在面对中子源的表面上,单位面积的径迹数是随蚀刻时间的增加而直线增加的。这说明径迹均匀地分布在塑料薄膜中。因为,当把塑料径迹探测器放入蚀刻剂中蚀刻时,

* 1972年7月24日收到。

不但塑料表面的径迹被蚀刻出来,而且塑料表面也被蚀刻剂腐蚀下去,当塑料表面移到新的位置时,处于原来表面的径迹蚀坑在新表面上依然存在,而处于新表面的径迹又被蚀刻出来。所以,观察到的径迹蚀坑数,实际上是处于已腐蚀掉的表面层内所有可蚀刻径迹的总和。如果塑料薄膜中径迹的分布是均匀的,蚀刻速度是不变的,在原表面最初蚀刻出的径迹蚀坑消失以前,表面的径迹密度必然随蚀刻时间的延长而直线增加。

在蚀刻过程中,如果同时用天平称量塑料径迹探测器表面被腐蚀掉的质量,塑料表面径迹蚀坑密度必然与腐蚀掉的表面质量成直线关系,直线的斜率就是分布在单位质量塑料薄膜内的径迹密度。

实际上,只要蚀刻时间选在表面径迹密度与蚀刻时间成直线的部分,蚀刻一次,测量在新表面单位面积上的径迹密度 D_s ,用天平称量蚀刻前后塑料薄膜每面质量厚度的变化 Δm ,就可求出单位质量塑料薄膜中径迹的密度,如已知入射到塑料薄膜单位面积上的中子数目 N_n ,便可求出塑料径迹探测器探测中子的效率

$$\epsilon_m = \frac{D_s}{\Delta m \cdot N_n} \quad (1)$$

此式意义为:入射到单位面积塑料径迹探测器上某一能量的一个快中子,在单位质量塑料物质中生成的径迹数目。

快中子照射塑料径迹探测器后产生径迹,是由快中子在塑料中引起的碳、氧等反冲核和 (n, α) 反应形成的,对于给定的塑料, ϵ_m 对某一能量的中子应该是一个常数。因此,可以作为快中子数目的量度。

三、实验方法

在静电加速器和高压倍加器上,由 $\text{Li}^7(p, n)\text{Be}^7$ 反应, $\text{T}(p, n)\text{He}^3$ 反应, $\text{D}(d, n)\text{He}^3$ 反应和 $\text{T}(d, n)\text{He}^4$ 反应分别得到 85 keV, 0.17 至 1.25 MeV, 1.7 至 5.35 MeV 和 12 至 18 MeV 单能快中子。靶的厚度分别为: Li_2O 30 keV, T-Ti 0.586 mg/cm² 和 D-Ti 0.87 mg/cm²。

把一片塑料径迹探测器——聚碳酸酯¹⁾、硝酸纤维²⁾或醋酸纤维薄膜³⁾(厚约 50 μm) 紧紧地夹在 0.5mm 厚洁净的镉片之间,弯成直径 10cm 的圆形,圆心与中子源的位置重合。塑料径迹探测器薄膜对应中子源的张角从 0° 至 170°。在各角度,中子都垂直地入射到塑料薄膜表面。用已知效率的长中子计数管测量 0.085 至 5.3 MeV 的中子通量,用伴随粒子法测量 12 至 18 MeV 的中子通量。在塑料径迹探测器上照射的中子数目约为 8×10^9 中子/cm² 至 8×10^{10} 中子/cm²。

用镉片紧夹塑料薄膜的目的,是防止外界空气受快中子碰撞后形成反冲核打到薄膜上。镉在快中子照射下产生重带电粒子的截面很小。

把快中子照射后的塑料径迹探测器薄膜截成 3.5 cm 长的短段,和一片同一来源、性质相同未经快中子照射的塑料径迹探测器薄膜一起,放入蚀刻剂中进行蚀刻。聚碳酸酯的

1) 辽宁省朝阳塑料厂制。

2) 本实验室自制。

3) 化工部保定电影胶片厂制。

蚀刻方法是：在 70°C 6.5N KOH 水溶液中蚀刻 140 分钟，然后依次用蒸馏水、稀硝酸和蒸馏水浸洗，晾干。硝酸纤维和醋酸纤维的蚀刻条件分别为：45°C 6N NaOH 水溶液蚀刻 3 分钟，70°C 6.5N KOH 水溶液蚀刻 15 分钟，然后在蒸馏水中清洗，晾干。

蚀刻完毕后，用 400 倍光学显微镜测量薄膜各相应位置面向中心源的表面上的径迹密度。同时，测量本底片上由于塑料不纯净而产生的类似径迹蚀坑的表面斑点密度(约为 3×10^4 斑点/cm²)，从前面径迹密度中扣除。用精密天平称量被照射的塑料薄膜蚀刻前后每面质量厚度的变化(在以上条件下，聚碳酸酯每面质量厚度的变化约为 0.7mg/cm²)。由这些量以及塑料薄膜各位置被照射的中子数目，就可由(1)式算出塑料径迹探测器对该能量中子的探测效率。

四、测量结果

聚碳酸酯薄膜测量快中子的探测效率的结果示于图 1。每一测量点都是二至三次不

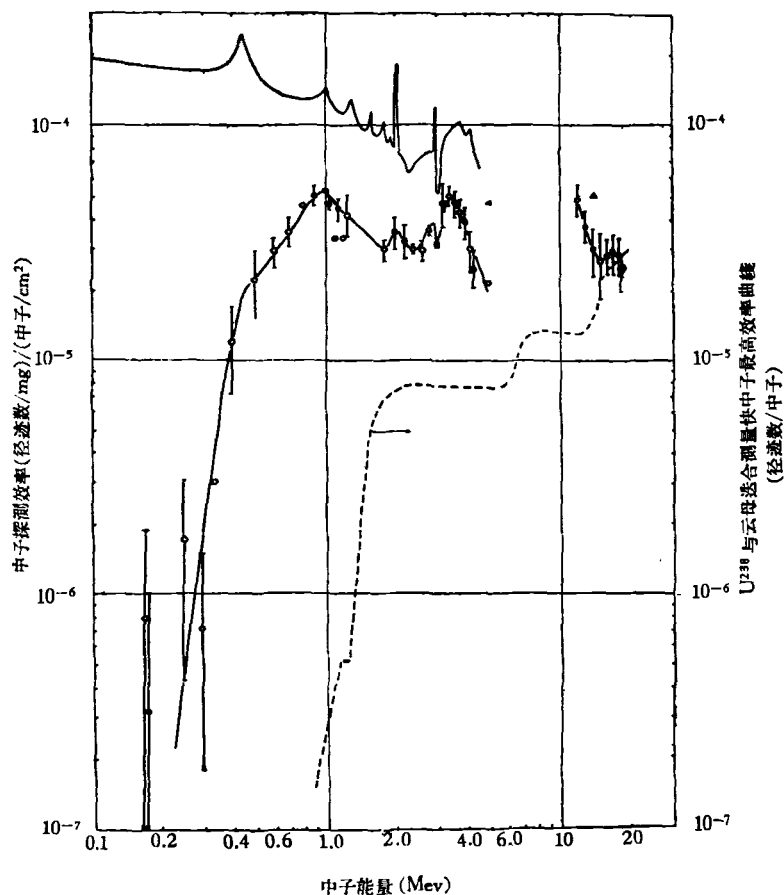


图 1 聚碳酸酯薄膜测量快中子的探测效率与中子能量的关系

“—○—”——表示本工作的测量结果；

“—△—”——表示一个快中子在聚碳酸酯薄膜中引起的碳、氧反冲核与 (n, α) 反应数之和；

“-----”——表示 U^{238} 与云母适合测量快中子的最高效率曲线。

同日期照射的样品、由三个人分别进行测量所得结果的平均值。实验误差主要是由于径迹大小连续分布以及用肉眼读数时掌握标准的起伏引起的。三个人经过多次读数技术校正后,同一能量点的读数基本上是一致的,大小的出现是不固定的。因此,读数的系统误差认为不大,测量值的误差用三个人测量数据的标准误差表示。此外,还包括测量中子通量的方法引入的误差 5%,样品位置的偏离带来的系统误差没有校正,也给 4% 误差一并放入总误差中。质量测量的误差可以忽略不计。由此,在 0.6 至 18 Mev 之间,总误差约 10—20%,0.5 Mev 以下,由于径迹密度下降,塑料薄膜不纯净出现的本底斑点密度可与径迹蚀坑密度相比较,总误差达到 20% 以上。

应该指出,这只是初步测量的结果,如进一步提高测量的熟练程度,测量误差还可进一步缩小,如采用合适的自动测量仪器,会得到更精确的结果。

由图 1 可看出,在 0.5 至 18 Mev 范围内,聚碳酸酯探测中子的效率较高,为 $(2-5) \times 10^{-5}$ (径迹/mg)/(中子/cm²);而在 0.5 Mev 以下,中子探测效率迅速下降;在 0.3 Mev 以下,快中子就不能在聚碳酸酯薄膜中引起可蚀刻径迹了。

对硝酸纤维和醋酸纤维进行的初步观察表明,中子能量降低到 170 keV 时,仍有可蚀刻径迹出现。由此可见,如果硝酸纤维和醋酸纤维探测快中子也存在着阈值,一定低于聚碳酸酯探测快中子的阈值 (~ 0.3 Mev)。由于对硝酸纤维和醋酸纤维还没有用更低能量的中子进行照射,现在尚不能作出更多结论。

五、讨 论

E. Piesch^[3] 和 K. Józefowicz^[4] 也对聚碳酸酯薄膜探测快中子的阈值进行了研究。E. Piesch 用聚碳酸酯薄膜和一些阈探测器(硫、镓、钍和铀)同时放在裂变谱中子场中进行照射,加以比较,指出阈值在 0.5 至 1.2 Mev 之间。K. Józefowicz 用 0.9、1.0 和 1.2 Mev 中子对聚碳酸酯薄膜进行了照射,指出阈值约为 1.2 Mev。由于以上工作都是初步的和较为粗糙的,从我们的经验看,说服力是不够的。如果阈值果真存在着差别,而且差别来源于聚碳酸酯材料的不同,则说明聚碳酸酯不能视为统一的材料,这在塑料径迹探测器研究上,是一个重要问题。

Yasushi Nishiwaki 等人^[2] 用与我们相同的原理,测量了 14 Mev 中子在聚碳酸酯薄膜中的探测效率,得到的结果为 3.38×10^{-5} (径迹/mg)/(中子/cm²) ($\pm 10\%$), 与我们的结果在误差范围内符合。

图 1 中绘出了用 U²³⁸ 金属片(厚度大于裂变碎片在金属铀中的射程)与云母片组合,用 (n, f) 反应测量快中子的效率曲线。这是用铀片能达到的最高效率曲线。单用聚碳酸酯薄膜测量快中子的探测效率,比 U²³⁸ 的最高效率约大 3—4 倍。能测量的能量范围比用 U²³⁸ (1.2 Mev 以上) 更大。对于测量裂变源产生的中子来说,这是重要的。聚碳酸酯薄膜适于测量 10⁸ 至 10¹² 中子/cm²。由于聚碳酸酯探测快中子具有阈值,可以把它归入其他快中子阈探测器的行列,进行快中子能谱测量。如果其他塑料如硝酸纤维、醋酸纤维等具有阈值且与聚碳酸酯阈值不同,更可组成一组新型的快中子阈探测器,它们的突出优点是不受 γ 射线的影响。

图1中绘出了用聚碳酸酯分子式 $[C_{10}H_{14}O_3]_n$ 和快中子引起碳、氧反冲核与 (n, α) 反应截面^[5]计算的1个中子/cm²在1mg聚碳酸酯中产生的核反应数随中子能量变化的曲线。把这条曲线与测量快中子的探测效率曲线加以比较,进一步证实了快中子在聚碳酸酯薄膜中产生径迹主要是由快中子引起的碳、氧反冲核形成的。

聚碳酸酯薄膜探测快中子存在阈值的客观事实,进一步证明了塑料径迹探测器在重带电粒子照射下生成可蚀刻径迹存在辐射损伤密度阈值的理论是正确的。而且,为进一步研究和确定辐射损伤密度阈值的规律,提供了低能重带电粒子数据。

参 考 资 料

- [1] ORNL-4446, Health Physics Division Annual Progress Report for Period Ending July 31, 1969, Part IV. Radiation Dosimetry Research.
- [2] Yasushi Nishiwaki et al., *Journal of Nuclear Science and Technology*, 8 (1971), 162.
- [3] E. Piesch, IAEA Symposium on New developments in physical and biological radiation detectors, Paper. SM-143/31 (Vienna, 23-27, Nov. 1970).
- [4] K. Józefowicz, *Nuclear Instruments and Methods*, 93 (1971), 369.
- [5] J. R. Stehn et al., BNL-325 (2nd Ed.) (Suppl. 2), 1965.