

原子核乳胶的粒子分辨方法* 1)

刘惠长 閻 辰 郑文艺 孙汉城

提 要

本文研究了分辨各种低能粒子的乳胶方法：用控制灵敏度的方法分辨裂变碎片和 α 粒子；用稳定剂和红外线人工衰退法分辨 α 粒子和 γ 射线；提出了“混合分辨法”，使乳胶对于低能 α 粒子、氦核、氘核、质子既有较高的分辨本领又有足够的灵敏度。

一、引 言

用原子核乳胶作低能核物理工作时，往往需要分辨各种粒子。有两种情况：(1)粒子“甄别”。只记录所需要的粒子，其余粒子作为本底甄别掉。(2)粒子分辨。同时记录各种粒子，各种粒子径迹又各有特点可互相区分。

各种带电粒子在乳胶中的能量损耗率 $\left(\frac{dE}{dx}\right)$ 不同，因此它们在乳胶中卤化银颗粒上产生的潜影的强弱不同，这就是粒子分辨的物理根据。

乳胶中卤化银颗粒上的潜影强弱是可调的。如果我们使能量损耗率较低的粒子产生的潜影弱到显影阈以下，这种粒子就不记录了。

本文用下列方法调节卤化银颗粒上的潜影强弱。

(1) 控制卤化银颗粒大小：一个卤化银颗粒吸收的能量同颗粒直径成正比，颗粒越小则潜影越弱。

(2) 用稳定剂控制卤化银颗粒的灵敏度：乳胶中常加稳定剂以减少雾点。过量的稳定剂使卤化银颗粒的灵敏度下降，即潜影变弱。

(3) 用红外线照射使弱潜影衰退^[1]：在红外线照射下，有所谓赫歇尔效应，潜影重新分布。较弱的潜影较快衰退，而较强的潜影得到了加强。所以经红外线照射后，原来强弱不同的潜影差别更大，有利于分辨。

我们同时还作了显影条件的试验。用高反差的显影剂对于潜影强弱的反应比较灵敏，分辨本领较高。

二、裂变碎片和 α 粒子的分辨

裂变碎片和 α 粒子的能量损耗率相差较大，容易分辨。我们制备了卤化银颗粒特别细小的核-O型乳胶，并加过量的稳定剂，使 α 粒子产生的潜影减弱到显影阈以下，只记录

* 1972年7月24日收到。

1) 本工作于1964年完成。

裂变碎片。

核-O型乳胶的制备方法和核-2乳胶相似^[2]。参考文献[3]所述的方法,对核-2乳胶制备过程作了如下改变:

(1) 作为卤化银保护胶体的明胶水溶液(A液)改为明胶乙醇水溶液。配方为

	明胶	4.6 克
	蒸馏水	50 毫升
溶后加	乙醇(96% 浓度)	25 毫升

(2) 乳化终了立即冷凝,取消了成熟过程。

(3) 涂片前在每 100 毫升乳胶液中加入 10 毫升减感溶液。减感溶液配方为

	6-NBI (6-硝基苯骈咪唑)	100 毫克
	乙醇	10 毫升

核-O的卤化银颗粒平均直径为 0.073 微米(核-2的为 0.171 微米),参看图 6。加不同量的减感溶液后,乳胶对裂变碎片同 α 粒子的分辨本领如图 1 所示。图中所示为 100 毫升乳胶液中加入 10 毫升减感溶液的核-O型乳胶,只记录裂变碎片,不记录 α 粒子。

这种核-O型载铀乳胶,在室温条件下贮存五个月后,性能仍保持不变。

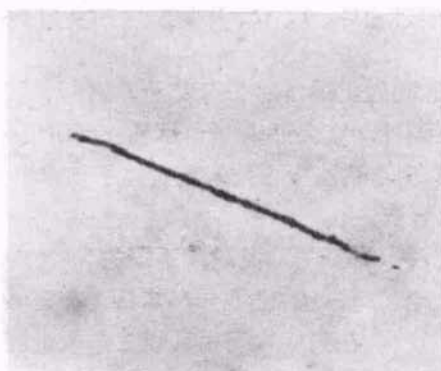


图1 核-O型乳胶记录的铀裂变碎片径迹

三、 α 粒子和 γ 射线分辨

光核反应等研究工作中需要在强 γ 本底下记录 α 粒子。单个 γ 射线产生的单个电子的能量损耗率比 α 粒子的小得多,所以潜影也弱得多。但当 γ 射线很强时,一个卤化银颗粒上可能有好几个电子通过,因而产生了较强的潜影。这时与 α 粒子的分辨就比较困难了。

我们在核-2乳胶的明胶溶液(A液)中加稳定剂 5-甲基-7-羟基-1,3,4-三氮吡啶(每 50 毫升 A 液加 5 毫克稳定剂),以控制乳胶的灵敏度。涂片前 D 溶液中的稳定剂 6-NBI 就取消了。

乳胶照射 α 粒子和 γ 射线后,用红外线人工衰退。条件是:250 瓦红外灯,经透射光谱为 12000 埃的红外滤光片过滤。乳胶和光源间距离为 18 厘米,照射 45 分钟。

显影用 D-8 显影液。对厚 100 微米左右的乳胶片，用温度显影法以保证上下层显影程度均匀。显影条件为

冷渗 (D-8) (1:3 ¹⁾)	5°C	30 分钟
热显 (D-8) (1:5)	19°C	25 分钟
制止 (醋酸 5% 水溶液)		5 分钟

定影(酸性坚膜定影液)透明后延长一段时间(所延长时间约为透明所需时间的 $\frac{1}{2}$)。

D-8 显影剂配方为

亚硫酸钠	22.5 克
海得路	11.2 克
氢氧化钠	9.4 克
溴化钾	7.5 克
蒸馏水	250 毫升

我们得到的分辨结果是，在 500 仑的钴⁶⁰ γ 剂量照射下，可以清晰地测量 5 兆电子伏的 α 粒子。

四、低能 α 、 t 、 d 、 p 的“混合分辨法”

低能核反应工作中常需同时记录各种带电粒子，它们之间的分辨是一个难题。在乳胶工作中，阿德^[4]作到了能区分 α 粒子和质子，但乳胶灵敏度很低，1 兆电子伏以上的质子已不能测量。米海依琳娜^[5]作到了能区分双电荷粒子和单电荷粒子，但对于射程为 250 微米以下的 t 、 d 、 p 仍不能分辨。

我们提出了“混合分辨法”，即将两种灵敏度不同的乳胶按一定比例混合，制成了既有

(a) 较好的粒子分辨本领又有足够的灵敏度的乳胶。仑涅^[6]在高能物理用乳胶工作中也应用了类似的方法。

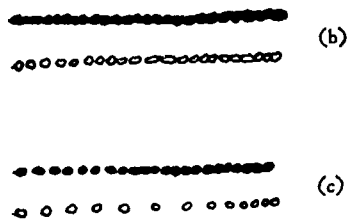


图 2 “混合分辨法”原理示意图

(a) 低灵敏乳胶；

(b) 高灵敏乳胶；

(c) 混合型乳胶；

“.....”能量损耗率大的粒子径迹；

“.....”能量损耗率小的粒子径迹

1. “混合分辨法”原理

原理如图 2 所示。选用一种灵敏度较低的乳胶，它对能量损耗率大的粒子灵敏，而对能量损耗率小的粒子不灵敏，如图 2(a)。另外选一种灵敏度较高的乳胶，它对两种粒子都灵敏，如图 2(b)。将少量灵敏度高的乳胶均匀混入较多量的低灵敏乳胶，所得径迹即如图 2(c) 所示，它既保持了低灵敏乳胶有较好粒子分辨本领的特点，又保持了高灵敏乳胶的灵敏度。实际工作中可以根据所需分辨粒子的类型和能量，适当调选乳胶灵敏度和混合比例。

1) 1:3 即 1 体积 D-8 加 3 体积蒸馏水。

2. 粒子分辨本领的测量

(1) 粒子的照射: 如图 3 所示, 由 1.2 米迴旋加速器引出 6.4 兆电子伏的质子, 12.8 兆电子伏的氘和 25.6 兆电子伏的 α 粒子经铝箔散射后打到乳胶片上(近似平行入射)。氚径迹的记录是用载锂乳胶经高压倍加器产生的 14 兆电子伏中子照射后产生的 $\text{Li}^7(n, n')\alpha$ 反应以及热中子照射后的 $\text{Li}^6(n, t)\alpha$ 反应。

(2) 径迹连续度 $J(R)$ 的测量: 粒子径迹是由一些银粒片断(银斑)和空隙组成的。径迹上某一点到终点的径迹长度为剩余射程 R , 这一段径迹中银斑长度之和为 D , 则连续度 $J(R)$ 为

$$J(R) = \frac{D}{R} \times 100\% \quad (1)$$

不同种类的带电粒子有不同的 $J(R)-R$ 曲线。利用这组曲线, 测定某一径迹的 $J(R)$ 即可判定它是什么粒子。

在显微镜上装一螺旋测微目镜即可测量银斑长度 D , 由此得 $J(R)$ 。

(3) 粒子分辨本领的标志: 对一种乳胶, 可得一组 α 、 t 、 d 、 p 径迹的 $J(R)-R$ 曲线。由于带电粒子能量损耗率的涨落、乳胶灵敏度的涨落和测量误差, 对于一种粒子, 其 $J(R)$ 也有涨落。设对某一种粒子的径迹测量了 N 条, 其 $J(R)$ 的单次测量标准误差为

$$\sigma_{J(R)} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [J_i(R) - \bar{J}(R)]^2}{N-1}}, \quad (2)$$

其中 $\bar{J}(R)$ 为 $J_i(R)$ 的平均值。

将 $\sigma_{J(R)}$ 标在 $J(R)-R$ 曲线上。对于两种粒子 a 、 b , 当 R 小时, $|J_a(R) - J_b(R)| < |\sigma_{J_a(R)}| + |\sigma_{J_b(R)}|$, 则 a 、 b 不能区分开。当 R 充分大时, $|J_a(R) - J_b(R)| > |\sigma_{J_a(R)}| + |\sigma_{J_b(R)}|$, a 、 b 区分开。当 R 为某一临界值时, $|J_a(R) - J_b(R)| = |\sigma_{J_a(R)}| + |\sigma_{J_b(R)}|$, 此 R 值即作为粒子分辨本领的标志, 临界 R 值越小则分辨本领越高, 如图 4 所示。

3. 混合型粒子分辨乳胶的制备和性能

(1) 核-6a 型: 先制备细颗粒乳胶核-O_s 和核-O_t。核-O_s 的制备方法同核-O (但不加减感溶液)。核-O_t 的制备方法同核-O_s 相似, 只是乳化时间由核-O_s 的 27 分钟改为 6 分钟, 这样卤化银颗粒更小。

取核-O_s 和核-O_t 按 1:3 的比例混合后涂片即成核-6a 型。这种乳胶对 4 兆电子伏质子灵敏。

如图 4(a) 所示, 核-6a 型乳胶可分辨 8 微米的 α 和 t (相应能量为 2.4 兆电子伏 α 和 0.8 兆电子伏 t), 30 微米的 d 和 p (相应能量为 2 兆电子伏的 d 和 1.6 兆电子伏的 p)。

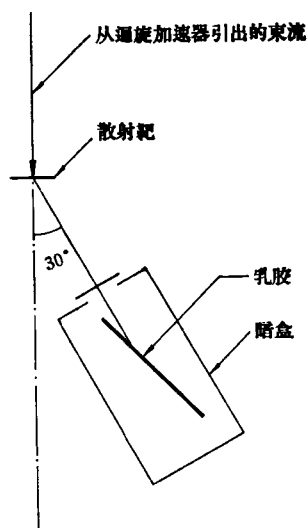
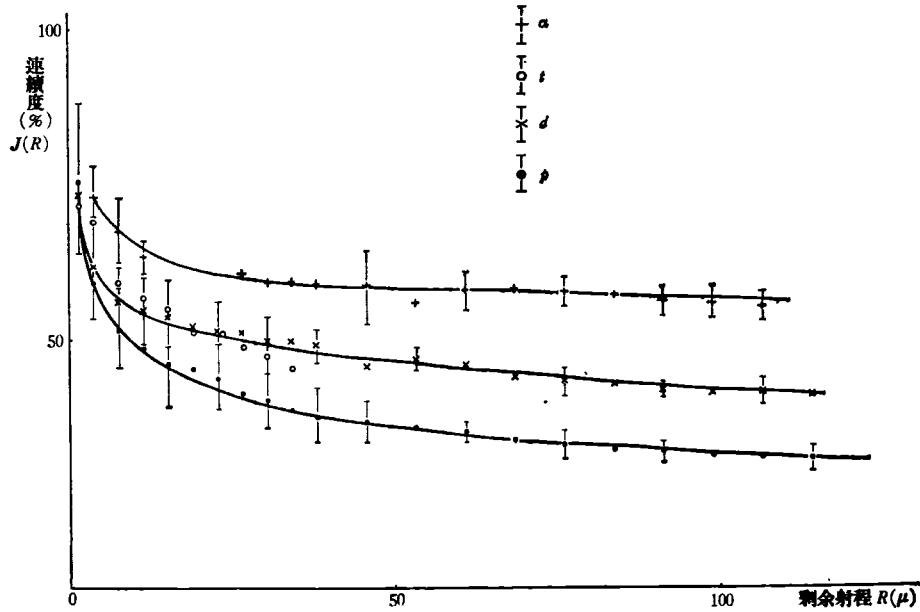
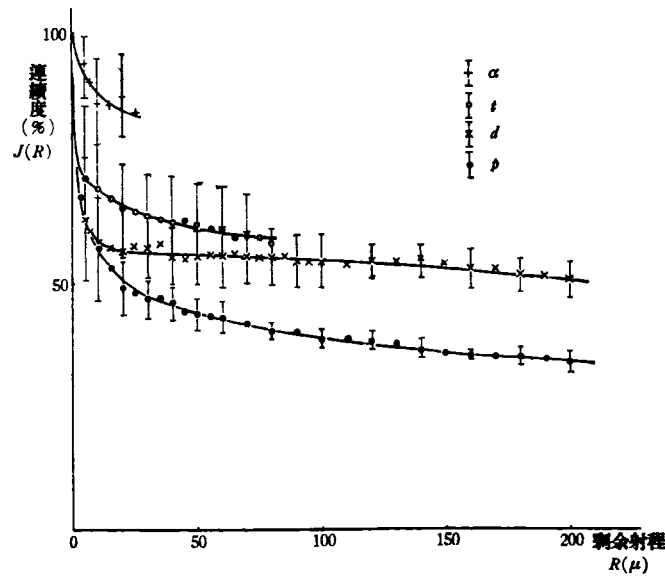


图 3 粒子照射条件示意图



(a) 核-6a 型乳胶中各种粒子径迹的连续度



(b) 核-6b 型乳胶中各种粒子径迹的连续度

图 4

(2) 核-6b 型：取核-3 和核-0_t 按 1:5 的比例混合后涂片即成核-6b 型。

这种乳胶可记录 14 兆电子伏的质子。其粒子分辨本领如图 4(b) 所示，可分辨 8 微米的 α 和 t (相应能量为 2.4 兆电子伏 α 和 0.8 兆电子伏 t)，53 微米的 d 和 p (相应能量为 3 兆电子伏 d 和 2.3 兆电子伏 p)。

载锂的核-6b 型乳胶用 14 兆电子伏中子照射后，记录下 $\text{Li}^6(n, n'd)\alpha$ 和 $\text{Li}^7(n, n't)\alpha$

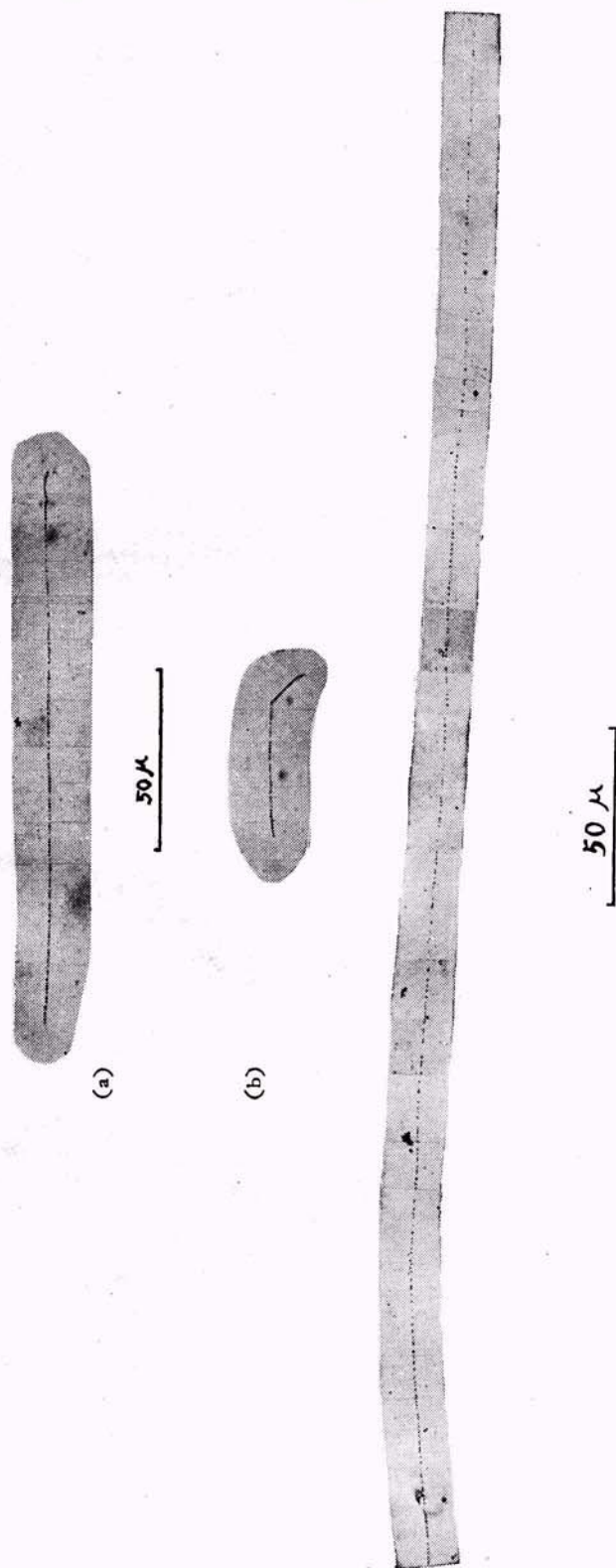
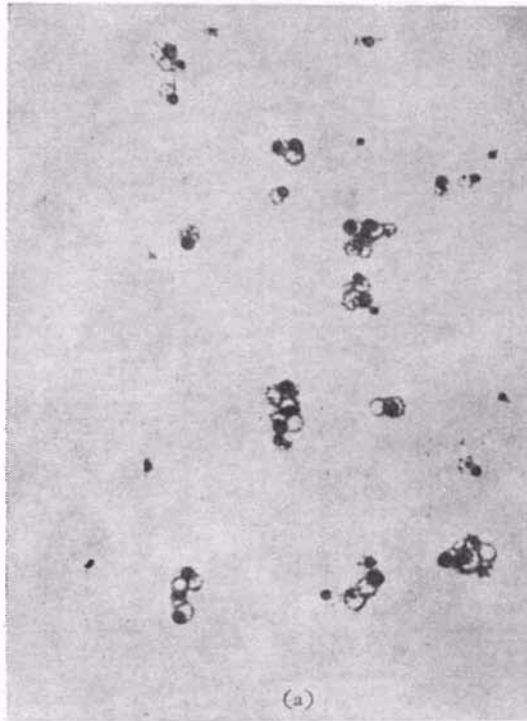
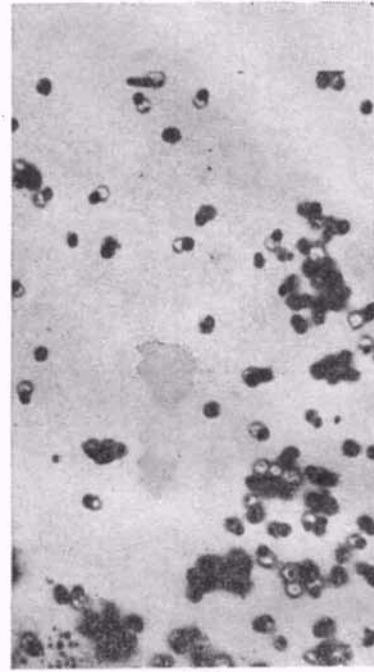


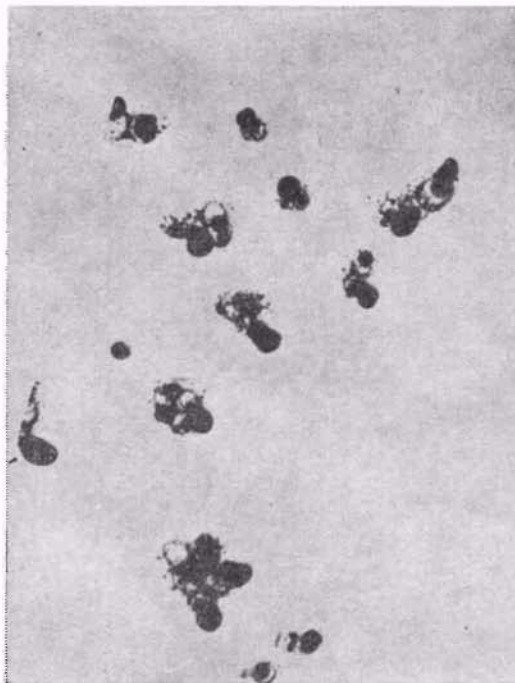
图 5 核-6b 乳胶中的 α , t , d , p 径迹
(a) $\text{Li}^6(n, n'd)\alpha$ 的 α - d 双叉星;
(b) $\text{Li}^7(n, n't)\alpha$ 的 α - t 双叉星;
(c) 反冲质子径迹



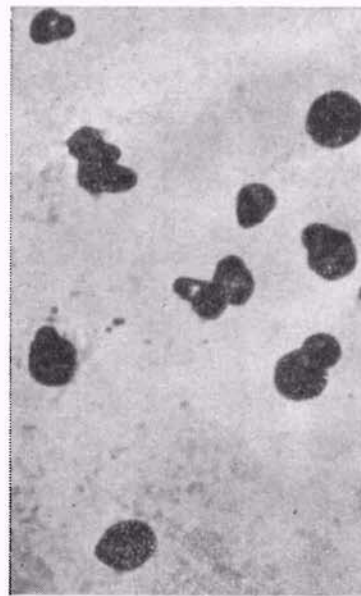
(a)



(b)



(c)



(d)

图6 各种乳胶卤化银颗粒的电子显微镜照相
(a) 核-0₁; (b) 核-0₂; (c) 核-2; (d) 核-3

的双叉星如图 5(a)、(b) 所示。同时记录下的 9.5 兆电子伏质子径迹如图 5(c) 所示。

4. 显影剂的影响

比较了 ID-19、阿密妥儿和 D-8 三种显影剂的分辨效果。D-8 是高反差显影剂, 分辨效果最好, 如表 1 所示。

表 1 核-6b 用各种显影剂的分辨本领

显影剂 可分辨剩余射程 R	D-8	ID-19	阿密妥儿
p, d	53 微米	76 微米	53 微米
α, t	8 微米	> 48 微米	> 48 微米

附录 各种乳胶的卤化银颗粒大小

图 6 所示是各种乳胶的卤化银颗粒电子显微镜照相(已统一到同一放大倍数)。

所用电子显微镜分辨率为 90 埃。照相时放大倍数用橡浆 (Latex) 标准颗粒校准。为了使被测卤化银颗粒有足够的分散度, 将乳胶液用水稀释 500 倍以上, 然后用滴管取一滴稀释液滴到样品网上, 待自然干后就制成卤化银颗粒样品, 送进电子显微镜照相。

拍得的胶片用阅读机投射到坐标纸上测量颗粒大小分布, 得表 2。

表 2 各种乳胶的卤化银颗粒大小

	核-3	核-2	核-O ₁	核-O ₂
颗粒平均直径(微米)	0.244±0.027	0.171±0.019	0.073±0.008	0.058±0.006
颗粒大小分布(半高度的全宽度)(微米)	0.118	0.084	0.050	0.025

参 考 文 献

- [1] C. E. K. Mees, The Theory of the Photographic Process (Revised edition), (1954), p. 262.
- [2] 陆祖荫等, 物理学报, 15 (1959), 139.
- [3] P. Demers, Ionographie, Les Presses universitaires de Montréal, (1958).
- [4] M. Ader, M. Sabannes, J. Phys. Rad., 19 (1958), 939.
- [5] К. М. Михайлина и др., Нейтронная физика, Госатомиздат (1961), стр. 249.
- [6] W. H. Barkas, Nuclear Research Emulsions. N. Y. & London, Academic Press, vol. 1 (1963), p. 44.