



5672

Препринт ЕФИ-1286(72)-90

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

ЕФИ -- 1286 - 72 - 90

А. Б. АКОПОВА, В. Э. ДУДКИН, Н. В. МАГРАДЗЕ,  
А. А. МОИСЕЕНКО, И. В. ПОТАПОВ

ИЗУЧЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА  
ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТАХ МЕТОДОМ УПРАВЛЯЕМЫХ ЯДЕРНЫХ  
ЭМУЛЬСИИ

Ա.Բ.ԱՎՈՊՈՎԱ, Վ.Ե.ԴՈՒԴԿԻՆ, Ն.Վ.ՄԱԳՐԱԶԵ,  
Ա.Ա.ՄՈՒՍԵՆԿՈ, ՅՈՒ.Վ.ՊՈՏԱՊՈՎ

ՄԵՐՁԵՐԿՐԱՅԻՆ ՕՐԲԻՏԱՅՈՒՄ ՏԻԵՁԵՐԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅՔՆԵՐԻ ՑԱԾԲ  
ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ԲԱԸՄԱՆ ՈւՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ  
ԷՄՈՒԼՍԻԱՅԻ ԳՈՐԾԱԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Մշակված է միջուկային էմուլսիայի շեմային չզացողության գործածման եղանակը՝ հիմնվելով թաքնված պատկերների կենտրոնների երևակայման չափավորված թուլացման վրա՝ մտցնելով կապտամանուշակագույն լույսով ճառագայթված էմիտերից անջատված Br- իոններ (էմիտերները ստորնծրված են աշխատող շերտի 2 մակերեսներին)։ Լիցքավորված մասնիկների իոնիպացիոն էներգիայի կորստի գրանցման շեմի կարգավորումը լայն դիսպայունով ( $10^{-4}$  ից մինչև  $10^{-2}$  մէվ/ամ) թույլ է տալիս ստանալ  $z \geq 2$ -ից մասնիկների տրեկների հատիկային կառուցվածքը որոշված շեմի գրանցման դեպքում և կատարել նույնացում։ Միջուկային էմուլսիայի գրանցման երանակով որոշված է լիցքավորված մասնիկների ինտեգրալային լիցքային սպեկտրը (մասնիկները գրանցվել են «Կոսմոս 1571» Երկրի արհեստական արբանյակի մակերևույթի վրա մոտավորապես  $1$  գ/ամ պաշտպանության տակ)։ Նույն կերպ կատարվել է պրոտոնների հելիումի և ածխածնի միջուկների նույնացումը, որը թույլ է տալիս կառուցել նշված մասնիկների դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրը և դրա հիման վրա հաշվարկել կլանված դոզաների հպորոպայունների հավասար  $0,85$ ;  $0,1$ ;  $0,025$  մրլիռադ/օր պրոտոնի, հելիումի և ածխածնի համար (համապատասխանաբար)։ Պետք է նշել, որ Երկրի արհեստական արբանյակի արտաքին մակերևույթի վրա գրանցված ռադիոլոգիկ մասնիկների դոզաները առաջին անգամ ստացվել են մեր կողմից։ Օգտագործելով որակի գործակցի կախվածությունը կենսաբանական հյուսվածքում մասնիկների էներգիայի գծային կորստից, գնահատված են էվլիմալեոն դոզաների մեծությունները՝ պայմանավորված պրոտոնների հելիումի և ածխածնի միջուկների կանգառներով, որոնք համապատասխանաբար հավասար են  $1,3$ ;  $0,4$ ;  $0,35$  մրլիբև/օր։

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1990

С

Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИ Атоминформ) 1990 г

Метод управляемых ядерных эмульсий (УЯЭ) [1], примененный нами для определения интегральных ЛПЭ-распределений заряженных частиц космического излучения (КИ) на околоземной орбите искусственного спутника Земли "Космос-1129" [2], показал возможность использования ядерной эмульсии как трекового детектора с управляемым порогом регистрации в широком диапазоне ионизационных потерь энергии частиц ( $dE/dx \sim 10^1 - 10^4$  МэВ/см). Кроме того, с помощью этого метода возможно проведение зарядовой идентификации частиц с  $Z \geq 2$  ( $Z$  - заряд частицы) методом счета зерен [3].

Во время полетов пилотируемых космических аппаратов необходимо принимать во внимание тяжелые ядра КИ, которые, проходя через вещество, выделяют количество энергии, пропорциональное  $Z^2$  и резко возрастающее к концу пробега частицы. Указанное явление обуславливает возрастание радиационного воздействия на биообъекты при попадании в них останавливающихся заряженных частиц. Поэтому для оценки вклада подобного сорта частиц в суммарную дозу на околоземных орбитах необходима их идентификация

и определение пробеговых (энергетических) распределений.

Целью настоящей работы являлось исследование пробеговых распределений останавливающихся в эмульсии частиц КИ с  $z \leq 10$  и проведение на их основе оценки поглощенных и эквивалентных доз, обусловленных этими частицами.

Подобные работы проводились и ранее [4-6], где на орбитах кораблей "Джемни-4,5,7", а также "Аполлон-7" и комплекса "Аполлон-Союз" определялись энергетические спектры медленных протонов с использованием ядерной эмульсии двух типов чувствительности, С-5 и К-2, методами счета треков и счета зерен. Однако для частиц с  $z > 2$  эти методы были неприемлемы, поскольку при низких энергиях подобные частицы образуют треки, в которых невозможно проводить счет зерен даже в малочувствительной эмульсии типа К-2. Метод УЯЭ, используемый в данной работе, приводит к подавлению вуалей и треков частиц, обладающих ионизационными потерями энергии ниже порогового значения. При этом, при выборе соответствующего порога регистрации, в УЯЭ видимые остановки следов частиц приобретают зернистую структуру, что позволяет распространить известный метод идентификации однозарядных частиц по счету зерен [7] и на частицы с большим зарядом [8].

Эмпирическая зависимость плотности зерен на единицу длины трека (на 10 мкм)  $N$  от ионизационных потерь частицы описывается выражением

$$N = c (1 - \exp(-v (\sqrt{dE/dx_{огр}} - \sqrt{dE/dx_0}))) , \quad (1)$$

где  $c$  - количество микрокристаллов, приходящихся на единицу длины в эмульсии (25 зерен на 10 мкм, тип БИ);  $v$  - средняя

эффективность проявления микрокристалла эмульсии при выбранном пороге регистрации;  $dE/dx_{огр.}$  - ограниченные ионизационные потери энергии заряженных частиц, обуславливающие проявление микрокристаллов эмульсии вдоль трека;  $dE/dx_0$  - эмпирический параметр, характеризующий выбранный порог регистрации УЯЭ [3] .

Используя соотношение (1), можно перейти к зависимости "плотность зерен ( $N$ ) - остаточный пробег ( $R$ )" для каждой из заряженных частиц. На рис.1 приведены экспериментальные значения  $N$  (.), полученные с использованием пучков протонов с энергией  $\sim 24$  МэВ (ИТЭФ) и ядер гелия и углерода с энергией  $\sim 9$  МэВ/нуклон (ОИЯИ ЛЯР), и кривые "плотность зерен - остаточный пробег" для этих же частиц, полученные на основании соотношения (1). Кривые эти в дальнейшем использовались как калибровочные для идентификации частиц КИ.

Оптимальное значение порогов регистрации, позволивших получить зернистую структуру треков в протяженном интервале  $dE/dx$ , оказалось равным 60 МэВ/см для протонов и ядер гелия и 550 МэВ/см для ядер углерода.

Сборка ядерных эмульсий типа Бн-2 размерами  $(3 \times 5)$  см<sup>2</sup> с толщиной каждого слоя 200 мкм была расположена во внешнем контейнере ИСЗ "Космос-1571". Спутник находился в полете с 11.06.84 г. по 26.06.84 г. ( $T = 15,3$  суток), имел угол наклона к плоскости экватора  $i = 70^\circ$ , высоту в апогее - 420 км, высоту в перигее - 355 км.

На рис.2 приведен интегральный зарядовый спектр остановившихся частиц, зарегистрированный в слое эмульсии, находившемся за защитой  $\sim 1$  г/см<sup>2</sup>. Методика определения плотности остановок заряженных частиц КИ основывалась на результатах калибро

вочного эксперимента с пучками низкоэнергетических протонов и ядер гелия, углерода, неона, останавливающихся в эмульсии, треки которых в УИЭ претерпевают постепенное укорочение с ростом величины порога регистрации вплоть до полного исчезновения. Так, если при значении порога регистрации 60 МэВ/см сохраняются длины всех калибровочных частиц, то увеличение порога до значения 550 МэВ/см приводит к исчезновению треков протонов (проявленная длина  $\sim 10$  мкм), треки ядер гелия сокращаются до  $\sim 250$  мкм, а треки ядер с  $Z > 2$  практически не изменяют своей длины. При дальнейшем увеличении порога дискриминации будут подвергаться треки ядер с  $Z \geq 3$ . Соответственно в ядерной эмульсии, экспонированной в космосе, при пороге регистрации 60 МэВ/см сохраняются остановки всех частиц КМ: в слое с порогом 550 МэВ/см - с  $Z \geq 2$ , при значении 2200 МэВ/см - с  $Z \geq 3$  и так далее. В таблице приведены значения порогов регистрации  $dE/dx_n$  и "в", определяющие минимальное возможное значение  $Z_0$ , и соответствующие им интегральные значения зарядовых плотностей потоков останавливающихся частиц.

Кроме того, в этих слоях была проведена идентификация низкоэнергетических частиц с зарядом  $Z = 1, 2$  и  $6$ , статистическая обеспеченность которых оказалась наибольшей. Доля частиц других зарядов была незначительной. В слое с порогом  $dE/dx_n = 60$  МэВ/см было идентифицировано 92 однозарядных трека и 60 с  $Z = 2$  на просмотренной площади  $S = 8,0 \cdot 10^{-3}$  и  $9,0 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup> соответственно, а в слое с  $dE/dx_n = 550$  МэВ/см - 49 частиц с  $Z = 6$  на  $S = 1,5 \cdot 10^0$  см<sup>2</sup>.

Каждый идентифицируемый трек подвергался статистической проверке соответствия расчетным значениям (сплошные линии на рис. I).

по критерию Пирсона ( $\chi^2$ ). Уровень достоверности для частиц с  $Z = 1, 2$  и  $6$  достигал  $\sim 95\%$ , в то время как для двух близлежащих гипотез ( $\Delta Z = \pm 1$ ) был гораздо ниже для  $Z = 1$  и  $2$  ( $\sim 10\%$ ) и достигал  $\sim 25\%$  для  $Z = 5$  и  $\sim 80\%$  для  $Z = 7$ . На рис. I приведены результаты идентификации частиц с  $Z = 1, 2, 6$ .

Среди 92 треков однозарядных частиц были идентифицированы по методу, изложенному в работе [9], изотопы водорода: дейтрон и тритон в количестве 10 и 4 треков соответственно, а также 6 треков, принадлежащих  $\pi$ -мезонам.

После идентификации треков заряженных частиц были определены их интегральные пробеговые распределения (рис. 5), перестроенные затем в энергетические дифференциальные спектры.

Используя известные соотношения пробег-энергия и зависимость ионизационных потерь энергии в биологической ткани от кинетической энергии частицы, проводилась оценка поглощенных доз, обусловленных идентифицированными треками частиц, остановившихся в эмульсии. Энергетический спектр остановок однозарядных частиц достигал до 21 МэВ, гелия и углерода - до  $\sim 40$  МэВ/нуклон. Получены следующие значения мощностей поглощенных доз от остановок: 0,85; 0,10; 0,025 мрад/сутки для  $Z = 1, 2, 6$  соответственно, за защитой  $\sim 1$  г/см<sup>2</sup>.

Поток протонов, измеренный снаружи корабля, совершающего околоземный полет на высотах 200-400 км (в отсутствие солнечных вспышек), состоит в основном из трех компонент: протоны галактических космических лучей, протоны южно-атлантической аномалии радиационного пояса Земли (ЮАА) и вторичные протоны, образованные в ядерных реакциях. Как показано в работах [4-6], основной вклад в суммарный поток протонов вносят частицы радиационного

пояса Земли. По-видимому, и в нашем случае эти частицы также являются основными, а вторичные частицы вносят значительно меньший вклад в суммарный флюэнс, так как наша сборка находилась во внешнем контейнере и толщина защиты над слоем, в котором проводились измерения, составляла всего  $\sim 1 \text{ г/см}^2$ , что значительно ниже средней толщины защиты, окружавшей детекторы в работах [4-6]. Различия в значениях остановок протонов: "Аполлон-Союз" -  $3,35 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2} \text{ с}$ ; "Аполлон-7" -  $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2} \text{ с}$ ; "Космос-1571" -  $8,65 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2} \text{ с}$ , полученных в работах [6,7] и нами объясняются, главным образом, различием в защите и разными углами наклона орбиты кораблей:  $i = 32^\circ$  - "Аполлон-7";  $i = 50^\circ$  - "Аполлон-Союз";  $i = 70^\circ$  - "Космос-1571", что обуславливает с ростом  $i$  проникновение на орбиты все более мягких по энергии частиц. Помимо того, орбита ИСЗ "Космос-1571" находилась выше орбит упомянутых кораблей, что определило его более длительное нахождение в зоне КАА.

Дозы от остановок многозарядных ядер КМ вне оболочки корабля нами получены впервые. Используя зависимость коэффициента качества от линейных потерь энергии частиц в биологической ткани [11], нами были оценены значения эквивалентных доз, обусловленных остановками протонов и ядер гелия и углерода, оказавшиеся равными 1,80; 0,40; 0,35 мбэр/сутки соответственно.

Таблица

Величины интегральных зарядовых плотностей потоков,  $F$ , частоты  $KH$ , останавливающихся за защитой  $\sim I \text{ г/см}^2$ , полученные при различных значениях  $dE/dx_n$  в "Б"

$Z \geq$	1	2	3	4	6	10
$F$ , остановок. $\text{см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$(4,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-1}$	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(3,2 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}$	$(1,8 \pm 0,9) \cdot 10^{-3}$	$(1,2 \pm 0,9) \cdot 10^{-4}$
$dE/dx_n$ , МэВ/см	$(6,0 \pm 0,6) \cdot 10^1$	$(5,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$(3,4 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(5,7 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(1,6 \pm 0,2) \cdot 10^4$
"Б"	$(3,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$	$(8,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$(5,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$(4,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	$(3,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	$(8,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$

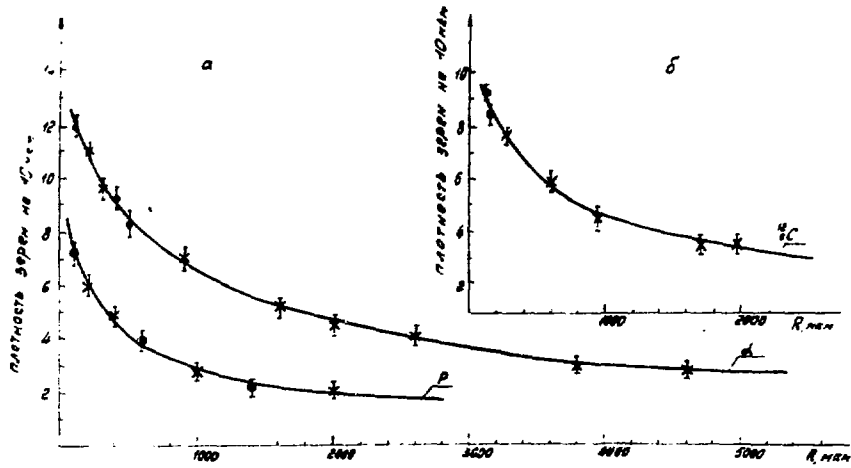


Рис. I

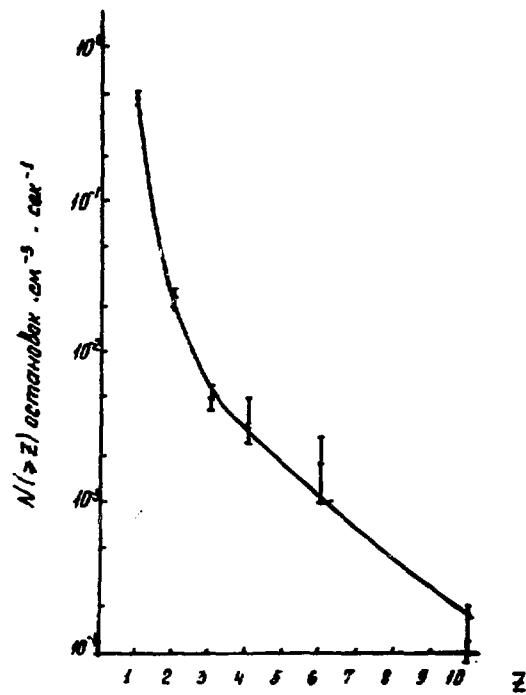


Рис. 2

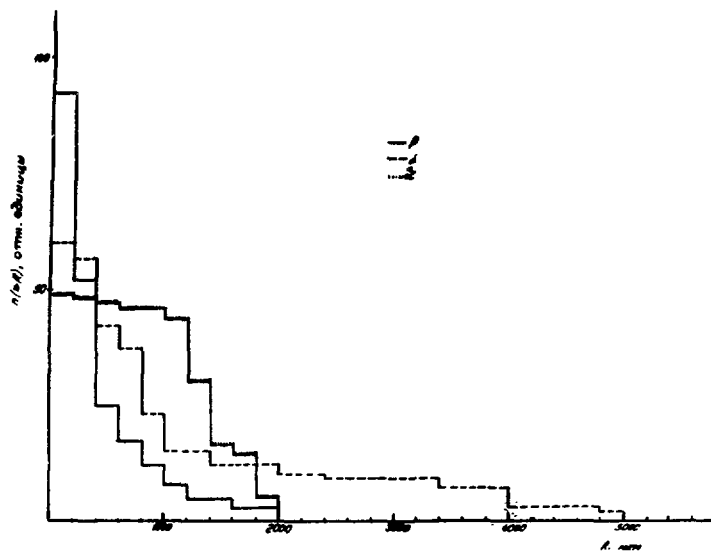


Рис. 3

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Кривые зависимости "плотность зерен - остаточный пробег" (сплошные линии) и экспериментальные средние значения для треков протонов -  $p$ , ядер гелия -  $\alpha$  (а) и ядер углерода -  ${}^{12}_6C$  (б) в калибровочных пучках ( $\bullet$ ) и в космическом излучении ( $\times$ ).
- Рис.2 Интегральный зарядовый спектр останавливающихся частиц  $KI$ , зарегистрированных снаружки ИСЗ "Космос-1571" в ядерной эмульсии за защитой  $\sim 1$  г/см<sup>2</sup>.
- Рис.3 Интегральные пробеговые распределения остановок протонов -  $p$ , ядер гелия -  $\alpha$  и ядер углерода -  ${}^{12}_6C$  в ядерной эмульсии, экспонированной вне оболочки ИСЗ "Космос-1571" за защитой  $\sim 1$  г/см<sup>2</sup>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопова А.Б., Маградзе Н.В., Моисеенко А.А. и др. Препринт ЕФМ-67I(6I)-83, Ереван, 1983.
2. Акопова А.Б., Выхров А.И., Дудкин В.Е. и др. Космич. исслед., 1985, т. XXIII, № 3, с. 479-481.
3. Akopova A.B., Arutyuhyan M.M., Magradze N.V., Moiseenko A.A., Muradyan C.CH., Hovnanyan K.M., Pogosov V.S., Chalabyan T.S. Nucl. Tracks and Radiat. Measur., 1986, v. 12, Nos 1-6, p. 423-426.
4. Shaefer H.J., Sullivan J.J. NAMI-955, Pensacola, Fla: Naval Aerospace Medical Institute, 1966.
5. Shaefer H.J., Sullivan J.J. NAMI-990, Pensacola, Fla: Naval Medical Institute, 1967.
6. Shaefer H.J., Sullivan J.J. NAMI-1060, Pensacola, Fla: Naval Medical Institute, 1969.
7. Shaefer H.J., Sullivan J.J. NAMRL-1228, NASA, Order N° T-81 D, 1976.
8. Блау М. Фотографический метод в ядерной физике. Сб. статей. М: ИЛ, 1952, с. 210-215.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М: Атомиздат, 1974, т. 2, с. 126-131.
10. Recommendations ICRP, Publication 21, Oxford, Pergamon Press, 1971.

Рукопись поступила 25 августа 1990 г.

**А. Б. АКОПОВА, В. Е. ДУДКИН, Н. В. МАГРАДЗЕ, А. А. МОЙСЕЕНКО,  
Ю. В. ПОТАПОВ**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОКОЛОЗЕМНЫХ  
ОРЕМТАХ МЕТОДОМ УПРАВЛЯЕМЫХ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

**Редактор Л. П. Мукаян**

**Технический редактор А. С. Абрамян**

---

**Подписано в печать 29/XI-90г.**

**Формат 60x84/16**

**Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,5**

**Тираж 299 экз. Ц. 8 к.**

**Зак. тип. № 306**

**Индекс 3649**

---

**Отпечатано в Ереванском физическом институте**

**Ереван 3, ул. Братьев Алиханян, 2**

The address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Alikhanian Brothers 2,  
Yrean, 375036  
Armenia, USSR

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ