

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУУ.1е
Б-732

8/IV-74

1 - 7701

В.И.Богатин, Е.Л.Григорьев, О.В.Ложкин

1398/2-74

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ
В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ
ПРИ МАЛЫХ ПРОБЕГАХ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 7701

В.И.Богатин, Е.Л.Григорьев, О.В.Ложкин

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ
В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ
ПРИ МАЛЫХ ПРОБЕГАХ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Большое разнообразие по энергии, заряду и массе продуктов ядерных реакций при высоких энергиях налагает особые требования к методике регистрации и идентификации вторичных частиц. Неправильный выбор методики или необоснованное расширение ее может привести к неверным экспериментальным результатам.

Метод ядерных эмульсий, обладая целым рядом преимуществ, имеет недостаток, заключающийся в том, что эмульсии плохо дискриминируют частицы по заряду при малых пробегах. Так, в работе ^{1/} при изучении короткопробежных продуктов ядерных расщеплений, вызываемых протонами с энергией 2-9 ГэВ, было показано, что сильное различие в сечениях деления Ag и Вг /от 1 до 160 мбн/, получаемого при различных экспериментах, обязано неудовлетворительной дискриминации частиц с $z > 7$ от частиц с меньшим зарядом /вплоть до $z = 3$ / на малых пробегах / < 15 мкм/.

Сравнение экспериментальных результатов по угловым распределениям для изотопов водорода и гелия /методика $dE/dx \times E$ / с результатами измерения $d\sigma/d\Omega$ для "протонов" и "а" - частиц /метод ядерных эмульсий/, проведенное в работе ^{2/} для реакции $p + C^{12}$ при энергии 660 МэВ, показало существенное различие между ними в области углов $\theta_{\text{лаб}} \leq 90^\circ$.

Содержанием данной статьи является анализ причины этого различия и экспериментальное исследование условий идентификации заряженных частиц в ядерных эмульсиях.

1. Анализ угловых распределений вторичных частиц при расщеплении легких ядер протонами с энергией 660 МэВ

Сравнение суммарного углового распределения $d\sigma/d\Omega$ для изотопов ^3He и ^4He ^{2/} с угловым распределением α -частиц ^{3-5/}, которое найдено методом ядерных эмульсий, показывает отсутствие максимума в $d\sigma/d\Omega$ в области $\theta_{\text{лаб.}} = 50 \div 60^\circ$ в эмульсионных работах, между тем как в измерениях, проведенных в работе ^{2/}, этот максимум четко выражен /рис. 1/. Для однозарядных же частиц имеется довольно хорошее совпадение результатов по угловым распределениям /рис. 2/, несмотря на то, что для ^2H и ^3H ^{2/} также наблюдается максимум $d\sigma/d\Omega$ в той же области углов. /Рост сечения для суммы однозарядных частиц при малых углах определяется возрастанием сечения для ^1H под этими углами/.

Мы думаем, что основной причиной, которая вызывает указанное выше различие в угловых распределениях двухзарядных частиц, является неудовлетворительная идентификация частиц по заряду / $z=2$ от $z=3$ / в ядерных эмульсиях в приведенных работах. Рассмотрим подробнее этот вопрос.

На рис. 3 показаны угловые распределения α -частиц, полученные в ^{4/} для двух диапазонов энергий $E_\alpha = 2 \div 8 \text{ МэВ}$ и $E_\alpha > 8 \text{ МэВ}$. В этой работе авторы попытались учесть примесь лития при пробегах частиц $R < 3 \text{ мкм}$. Из рисунка можно видеть, что учет лития изменяет сечение в области углов $0-30^\circ$. Однако следует заметить, что в работе ^{4/} наблюдается некоторое несоответствие по количественному учету лития, позволяющее считать, что поправка на количество этого элемента в области малых углов должна быть еще большей. Действительно, приводимая оценка примеси лития в диапазоне $E = 2 \div 8 \text{ МэВ}$ в передней полусфере составляет 15%, а в угловом распределении - 3-4% /что следует из работы ^{4/}/. Как видно из рис. 3, для энергий $E_\alpha > 8 \text{ МэВ}$, когда выделение лития было более надежным, функция $d\sigma/d\Omega$ уже не имеет сильного подъема в области малых углов. Здесь же следует отметить, что в работе ^{5/}, в которой

приведены угловые распределения двухзарядных частиц для более узких интервалов энергий / $E_\alpha = 2-5 \text{ МэВ}$, $5-11 \text{ МэВ}$ и $E_\alpha > 11 \text{ МэВ}$ /, получено указание на уменьшение сечений в области малых углов. Если пересчитать приведенные в ^{5/} распределения по углу в проекции на пространственный угол, то $d\sigma/d\Omega$ для $E_\alpha > 11 \text{ МэВ}$

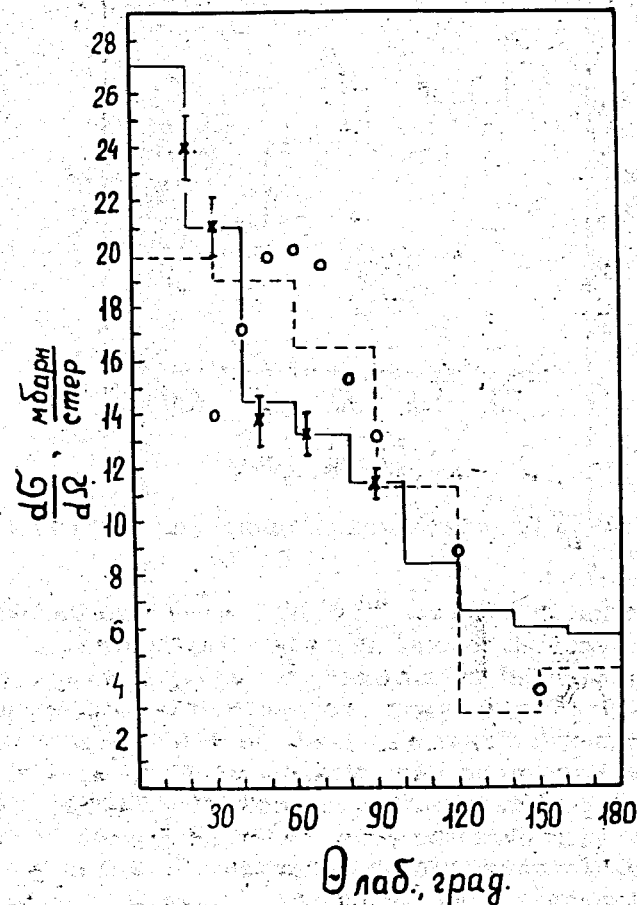


Рис. 1. Угловые распределения α -частиц:
 ○ - работа ^{2/};
 — - работа ^{3/};
 - - - работа ^{4/};
 × - работа ^{6/}.

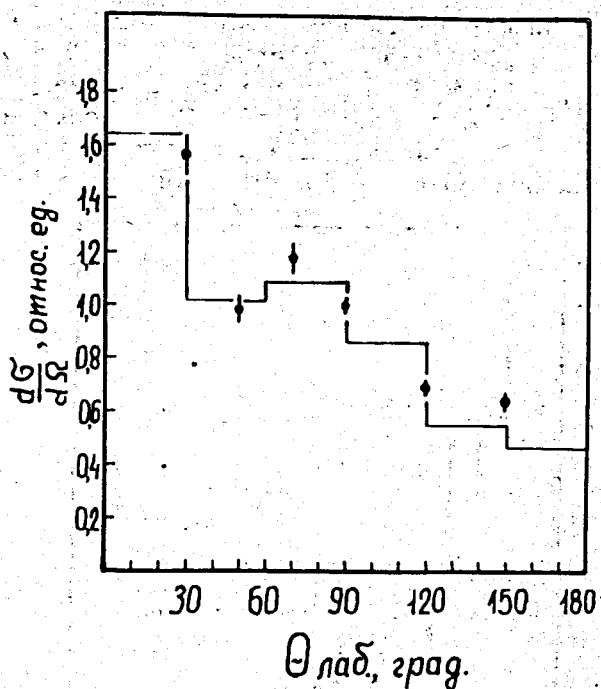


Рис. 2. Угловое распределение протонов: • - работа ^{/2/}, — - работа ^{/4/}.

имеет падение в области $\theta = 0-30^\circ$, что также свидетельствует о более надежной дискриминации частиц с увеличением пробега. В публикации ^{/5/} автор указывает пробег $R = 30-40$ мкм, выше которого, как утверждается, имеется надежная дискриминация частиц по заряду. В связи с этим интересно обратить внимание на приведенную в работе ^{/5/} зависимость отношений вперед - назад (F/V) для заданной энергии регистрируемой частицы. На рис. 4 эта зависимость представлена для нескольких групп расщеплений с различным числом α -частиц. Можно видеть, что если она для протонов в различных группах совпадает, то для α -частиц различается. Причем наблюдается хорошее совпадение в наклоне зависимостей F/V для протонов и α -частиц из группы расщеплений с тремя α -частицами. Зависимость F/V для частиц

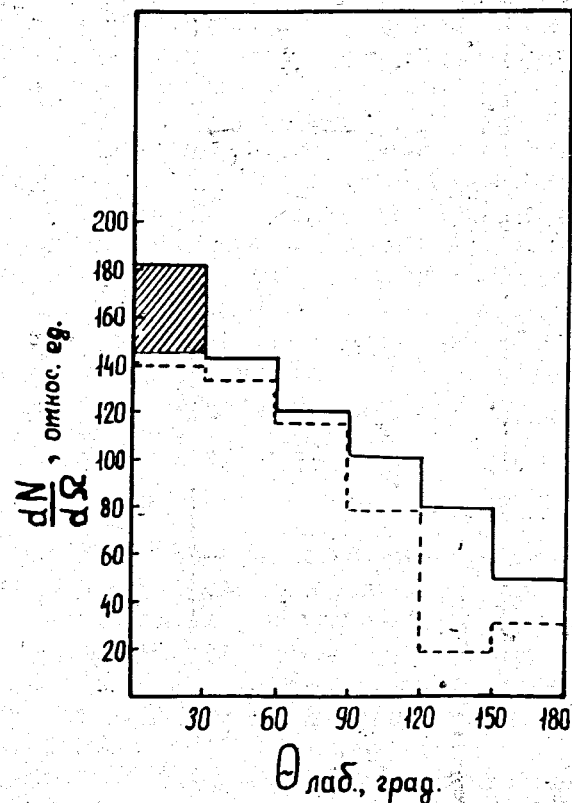


Рис. 3. Угловое распределение α -частиц из работы ^{/4/}: — $E_\alpha = 2-8$ МэВ, --- $E_\alpha > 8$ МэВ, ▨ - учет возможной примеси частиц с $z=3$.

в группе, содержащей все расщепления, заметно отличается от предыдущих. Здесь наклон менее крут. Это можно объяснить тем, что имелась недостаточно хорошая дискриминация частиц с $z=2$ и $z \geq 3$ в области энергий α -частиц 1-10 МэВ, на которую приходится практически все сечение образования частиц с $z \geq 3$. Полное сечение образования частиц с $z \geq 3$ из ^{12}C равно примерно 90 мбн ^{3/}.

Все сказанное выше свидетельствует о том, что угловое распределение двухзарядных частиц в работе ^{/5/}

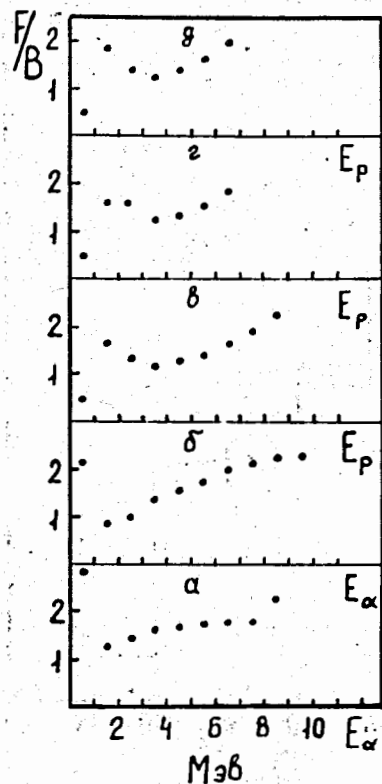


Рис. 4. Отношение вперед-назад (F/B) в зависимости от энергии: а/ для всех звезд, б/ для группы звезд, содержащих три α -частицы, в/ для всех звезд, г/ для группы звезд, содержащих одну α -частицу, д/ для группы звезд, содержащих две α -частицы.

сильно искажено из-за недостаточно надежного разделения частиц с $z=2$ и $z=3$.

В работе^{/3/} исследовались расщепления на углерод/алмазные зерна/. Треки α -частиц и протонов идентифицировались визуально и счетом числа проявленных зерен /в эмульсии Д/. В эмульсии S это осуществлялось путем измерения просветов в следах частиц с $R > 50$ мкм.

Природа частиц с пробегом, недостаточным для уверенной идентификации методом счета зерен или измерением просветов, определялась из условия сохранения заряда; это говорит о том, что авторы не уверены в разделении частиц по заряду в области пробегов < 50 мкм. Но на эту область, как указывалось выше, приходится почти все сечение образования частиц с $z \geq 3$. Поэтому угловое распределение в^{/3/} /рис. 1 - сплошная линия/ при отсутствии хорошего разделения по заряду имеет подъем в области $0-30^\circ$. В работе^{/6/} авторы использовали полученное в^{/3/} угловое распределение для проверки правильности определения телесных углов в своей камере реакций. Использовалась эмульсия П90. Авторы построили распределение $d\sigma/d\Omega$ для частиц с $z \geq 2$ /рис. 1 - крестики/, которое очень хорошо совпало с распределением для α -частиц в работе^{/3/}, что также подтверждает вывод о ненадежной дискриминации частиц по заряду с $R \leq 50$ мкм.

В работе^{/3/} приводятся сечения для образования Li и Be с $R \geq 20$ мкм, которые согласуются с данными работы^{/7/}. Это, однако, не может служить доказательством правильности идентификации каждого конкретного следа в эмульсии, что требуется для построения функции $d\sigma/d\Omega$. Для определения же полных сечений достаточно статистическое разделение по заряду.

В работе^{/8/} изучались вторичные частицы в реакции $p + {}^{16}\text{O}$ при энергии 660 МэВ. В ней утверждается, что частицы с $z \geq 3$ надежно отделялись от двухзарядных на пробегах, больших 10 мкм. Разделение частиц по заряду и даже по массе / ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ / осуществлялось счетом зерен. Проведенное нами изучение дискриминации частиц в эмульсии /см. ниже/ вызывает большое сомнение в возможности разделения их по заряду /и тем более по массе/, начиная с пробегов 10 мкм. Поэтому сделанные нами выводы по работам^{/3-5/} в полной мере относятся и к работе^{/8/}. При идентификации частиц по z и M фотоэмульсионным методом необходимо иметь калибровочные распределения для следов с известными z и M . Причем все эти следы должны быть выделены в той же эмульсии, на которой получен экспериментальный мате-

риал. Это условие не было выполнено в работах^{/8,9/}. Наконец, необходимо обратить внимание на то, что методика работы^{/8/} требует измерения фона. Между тем во многих эмульсионных работах и, в частности, в работе^{/8/} подобные измерения не проведены. Ясно, что в условиях ускорителя фон может достигать величины, которая, например, при малых углах наблюдения приведет к неправильным результатам. Хотя прямого сопоставления наших измерений вторичных частиц в реакциях $p + {}^{12}\text{C}$ с данными работы^{/8/} производить нельзя /разные ядра-мишени/, все же следует заметить в связи с вышеуказанным, что характер приведенных в работе^{/8/} распределений $d\sigma/dE$ и $d\sigma/d\Omega$ может быть сильно искажен из-за неполноценной дискриминации частиц и пренебрежения фоновыми частицами.

II. Об идентификации частиц в ядерной эмульсии при малых пробегах

Вопросы, возникшие при обсуждении причин расхождения экспериментальных данных по угловым распределениям вторичных частиц в реакциях $p + {}^{12}\text{C}$, непосредственно связаны с дискриминирующей способностью ядерных эмульсий при использовании параметра плотности зерен. Здесь мы остановимся лишь на методах, использованных в работах³⁻⁹.

В работе¹⁰ для разделения частиц с $z=1$ и 2 был применен метод счета зерен на данной длине. Отбирались следы с $R_p \geq 50$ мкм и строились распределения числа зерен n на данной длине для $\ell = 10, 20, 30, 40$ и 50 мкм. Начиная с $\ell = 30$ мкм, возможно индивидуальное отделение следов с $z=1$ от следов с $z=2$. Справедливость разрешения подтверждена совпадением пиков в энергетическом спектре α -частиц с соответствующими уровнями при упругом и неупругом рассеянии α -частиц на ядрах. Авторы перенесли все следы, выделенные как частицы с $z=2$, на распределение n при $\ell = 10$ и 20 мкм. В принципе оказалось возможным разделить следы частиц с $z=1$ и $z=2$ и на этих длинах.

В работе^{/5/} с помощью метода "шкалки"^{/11,12/} на пробеге $R > 50$ мкм было получено разделение частиц с $z=1$ от частиц с $z \geq 2$. В работе^{/12/} частицы с $z=1$ были отделены от частиц с $z=2$ на пробеге 62,5 мкм, но при этом частицы с $z=2$ и $z=3$ полностью не разделялись.

В описанном ниже исследовании сделана попытка решить следующие вопросы.

1/. Возможно ли индивидуальное отделение частиц с $z=2$ от частиц с $z=3$ при малых пробегах /около 30 мкм/.

2/. Если невозможно, то нельзя ли, используя результат работы^{/10/}, перенести разделение, полученное при больших пробегах, в область меньших пробегов.

Постановка опыта была аналогична использованной в работах^{/13,14/}. Мишенью служил ${}^7\text{Li}$ толщиной 0,5 мм, и в качестве детекторов частиц - эмульсии P_9 . Из работы^{/14/} известно, что реакция ${}^9\text{Be}(p, 2p){}^8\text{Li}$ характеризуется большой анизотропией для ${}^8\text{Li}$ /толстая мишень/; отношение выхода ${}^8\text{Li}$ под углом 20° к выходу под углом 160° оказалось равным 33. Естественно ожидать подобной анизотропии и в реакции ${}^7\text{Li}(p, pn){}^6\text{Li}$. Таким образом, распределение числа перечеркнутых делений "шкалки" n для следов задней полусферы будет хорошим приближением к распределению n для частиц с $z=2$, которое потребуется для выделения частиц с $z=3$.

Измерение частиц проводилось для угла 20° , которому в задней полусфере соответствует угол 160° . Строились распределения n на длинах $\ell = 10, 20, 30, \dots, 100$ дел. /1 дел. = 0,754 мкм/. Эти распределения представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что, начиная с $\ell = 30-40$ дел., можно производить статистическое разделение, которое на больших длинах переходит в индивидуальное. Из распределения n под углом 160° видно, что только 5 следов лежат в области $n \geq 36$ / $\ell = 100$ дел./, которая в дальнейшем считалась относящейся к распределению n для $z=3$. Приняв эти следы за Li и выбросив из распределений, можно определить границу распределений для $z=2$. Все, что лежит за этой границей при больших значениях n во всех распределениях, было отнесено к Li .

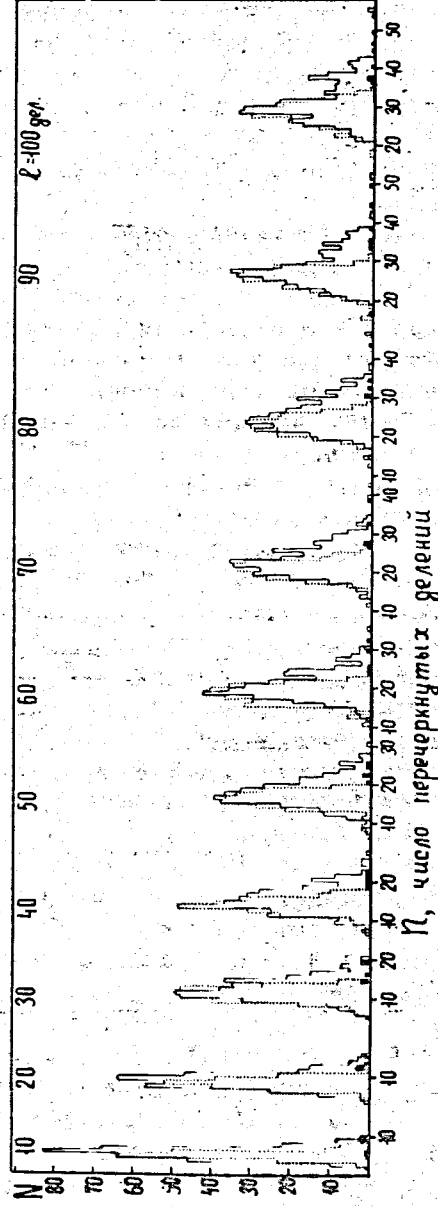


Рис. 5. Распределение "п" числа перечеркнутых делений "шкалки" для разных длин треков. — θ лаб. $= 20^\circ$, --- θ лаб. $= 160^\circ$, ■ - предполагаемые треки Li для угла θ лаб. $= 160^\circ$.

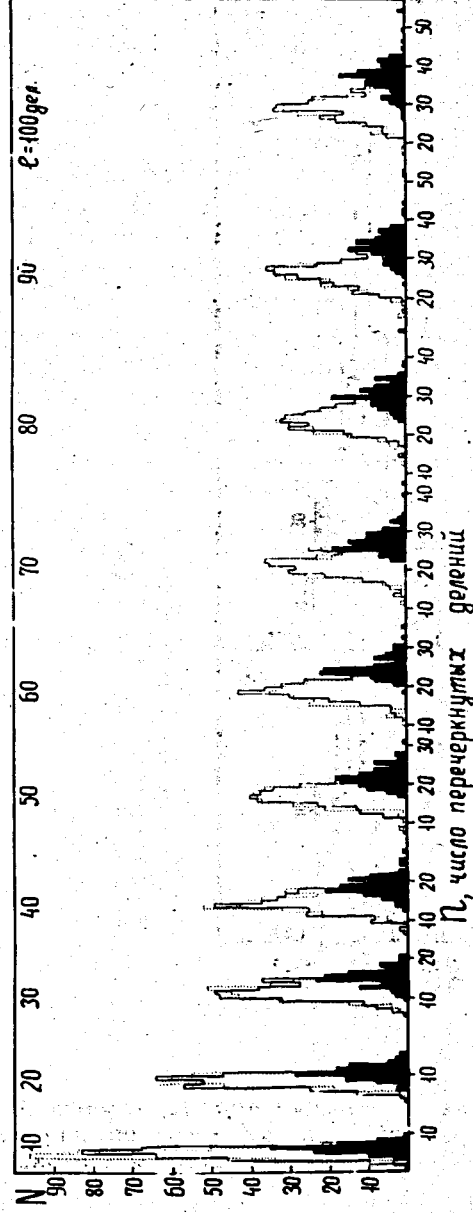


Рис. 6. Распределение "п" числа перечеркнутых делений "шкалки" для разных длин треков: — θ лаб. $= 20^\circ$, --- θ лаб. $= 160^\circ$, ■ - распределение "п" для треков, выделенных как Li.

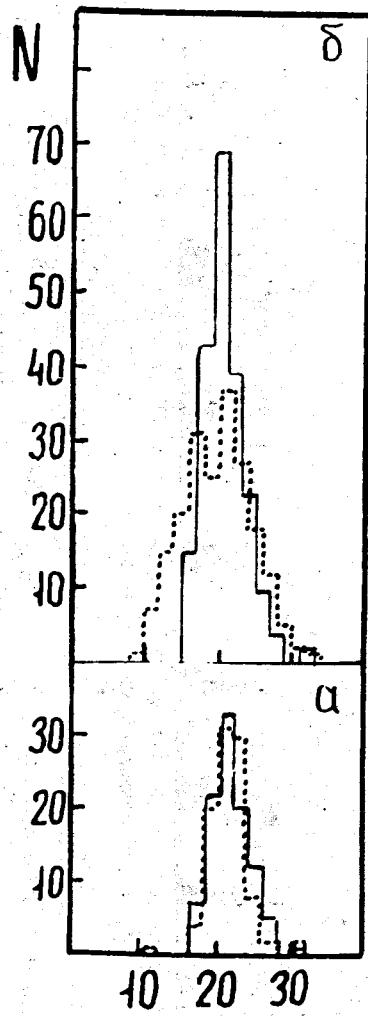


Рис. 7. Распределение "n" - числа перечеркнутых делений "шкалки" для длины $l = 50$ дел.: а/ — - данная работа, --- - из работы 13, б/ — - данная работа, ---- - из работы 6.

Результаты представлены на рис. 6. На этом же рисунке проведено сравнение распределения, получаемого после вычитания предполагаемых треков ${}^8\text{Li}$, с соответствующим распределением для $z=2$ /под углом 160° /. Видно согласие распределений. Интересно отметить, что отношение числа Li под углом 20° и 160° равно 70:1, что не противоречит результату работы /14/.

На рис. 7а, на котором произведено сравнение распределений для ${}^8\text{Li}$ /13/ и предполагаемых Li в данной работе, видно совпадение распределений. Они были получены одним наблюдателем. На рис. 7б представлено аналогичное сравнение, но распределение "n" для ${}^8\text{Li}$, полученное другим наблюдателем, взято из работы /6/. Нормирование распределений произведено по площади. При большей дисперсии измерений получилось совпадение их максимумов. Это говорит, по-видимому, об объективности данного метода разделения.

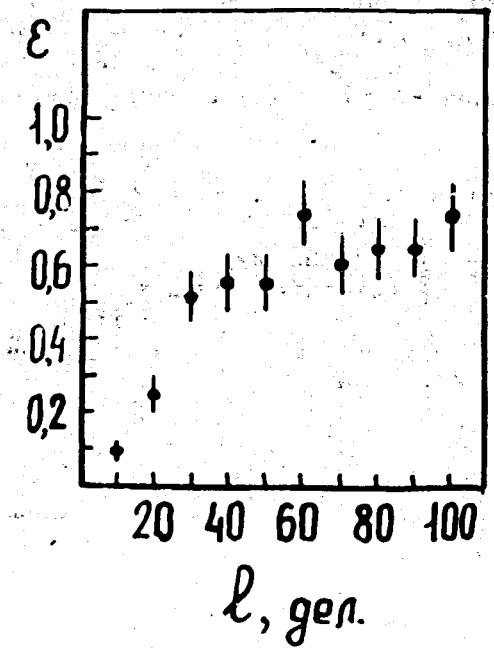


Рис. 8. Зависимость ϵ от длины трека, на котором измерялось "n".

Необходимо отметить, что распределение "n" зависит от угла погружения следа в эмульсию. Средний угол погружения в непроявленной эмульсии равен 12° ; в работе не рассматривались следы, имеющие угол $>18^\circ$.

Таким образом, выделенные следы действительно принадлежат литию, и использованная методика идентификации $z=2$ и $z=3$ дает правильный результат.

На рис. 8 представлена зависимость $\epsilon(\ell) = \frac{N'_{Li}}{N_{Li}}$, где

N'_{Li} - число треков Li за границей распределения $z=2$ при данном ℓ ;

N_{Li} - полное число выделенных следов Li при данном ℓ . Совершенно очевидно, что приведенная зависимость должна сохраняться для всех пробегов. Таким образом, нахождение зависимости $\epsilon(\ell)$ на длиннопробежных следах /что эквивалентно нахождению граничных значений "n" для распределений с $z=2$ /, которые допускают индивидуальное разделение, и перенесение ее на меньшие пробеги позволяет получить значительно большую часть энергетического спектра изучаемых частиц.

Проведенное исследование показало, что индивидуальное разделение следов частиц с $z=2$ и 3 возможно лишь на пробегах $R > 80$ мкм. Использование специальных приемов /подобных описанному/ позволяет производить разделение и при значительно меньших пробегах.

Поскольку в работах ^{/3-9/}, рассмотренных в первой части данной статьи, никаких специальных приемов разделения частиц при малых пробегах по заряду использовано не было, а кроме того, в силу необходимости в статистику включались следы частиц с большим углом наклона в эмульсии, нельзя говорить, что в этих работах были обеспечены условия надежной дискриминации частиц с зарядами $z=2$ и $z=3$.

Литература

1. П.А.Горичев, О.В.Ложкин, Н.А.Перфилов. ЖЭТФ, 45, 1784 /1963/.

2. В.И.Богатин, А.И.Вихров, Е.Л.Григорьев, О.В.Ложкин. Препринт ОИЯИ, 1-7653, Дубна, 1973.
3. А.П.Жданов, П.И.Федотов. ЖЭТФ, 37, 392 /1959/; ЖЭТФ, 41, 1870 /1961/.
4. Н.А.Перфилов, Ю.И.Серебрянников. ЖЭТФ, 40, 401 /1961/.
5. Ю.И.Серебрянников. Научно-техн. бюлл. ЛПИ, вып. XII, 75 /1957/.
6. В.В.Авдейчиков, Е.Л.Григорьев, О.В.Ложкин, Ю.П.Яковлев. Препринт ОИЯИ, Р-2093, Дубна, 1965.
7. В.И.Остроумов, Ю.П.Яковлев. ЖЭТФ, 35, 1358 /1958/.
8. В.Е.Дудкин, В.Н.Кузьмин, Л.Н.Смиранный, Н.С.Шимонская, Р.М.Яковлев. ЯФ, 9, 925 /1969/.
9. В.Н.Кузьмин, Р.М.Яковлев. ЯФ, 6, 1158. /1967/.
10. L.Seidlitz, E.Bleuler, D.J.Tendan. Phys.Rev., 110, 682 (1958).
11. Ю.И.Серебрянников. Научно-техн. бюлл. ЛПИ, вып. XII, 85 /1957/.
12. Л.А.Римский-Корсаков, О.В.Ложкин. ПТЭ, №5, 20 /1960/.
13. В.И.Богатин, О.В.Ложкин, Ю.П.Яковлев. ЖЭТФ, 45, 2072 /1963/.
14. О.В.Ложкин, Ю.П.Яковлев. ЖЭТФ, 47, 7 /1964/.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 января 1974 года.