

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Б-732

18/41-74

1-8131

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

4472/2-74

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОТОПОВ
ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ ИЗ РЕАКЦИИ $p + {}^9\text{Be}$
ПРИ 660 МЭВ

1974

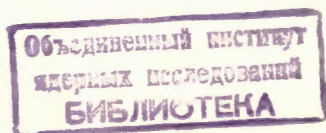
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1-8131

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

**КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОТОПОВ
ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ ИЗ РЕАКЦИИ $p + {}^9\text{Be}$
ПРИ 660 МЭВ**

* Сотрудники Радиевого института им. В.Г.Хлопина.



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

1-8131

Кинематические характеристики изотопов водорода и гелия
из реакции $p + {}^9\text{Be}$ при 660 МэВ

Методом $dE/dx \times E$ измерены кинематические характеристики изотопов водорода и гелия, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 660 МэВ с ядрами ${}^9\text{Be}$. Получены абсолютные дифференциальные сечения образования указанных продуктов под углом $\theta = 90^\circ$, энергетические и угловые распределения изотопов ${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$. Лаб.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

При взаимодействии нуклонов высокой энергии с легкими ядрами, как показывают результаты экспериментальных и теоретических работ, эффекты, обусловленные внутриядерными корреляциями нуклонов, играют значительную роль. Особенно отчетливо это проявляется в реакциях квазиупругого выбивания частиц, из анализа которых при определенных допущениях можно получить приведенные ширины многонуклонных ассоциаций в легких ядрах.

В многочастичных ядерных реакциях, характерных для высокой энергии падающих частиц, эффекты ассоцирования также должны иметь определяющее значение, однако в этом случае прямое извлечение информации о структуре ядер сильно затруднено. Поэтому здесь имеет смысл решение обратной задачи, когда величины, характеризующие ассоцирование нуклонов в ядре, вводятся в теорию феноменологически и затем определяются из сравнения расчетов с экспериментальными данными, подобно тому, как, например, из опытов по рассеянию определяются формфакторы ядер. В этом случае, естественно, требуются очень точные экспериментальные данные по целому ряду характеристик продуктов многочастичных реакций. Недостаточность экспериментальной информации в настоящее время приводит к большой неопределенности выводов о структуре легких ядер, которые делаются, например, на основе моделирования по методу Монте-Карло каскадных процессов в ядрах. Поэтому получение дополнительной более точной информации о ядерных реакциях при высоких энергиях остается до сих пор важной задачей.

получения некоторых характеристик вторичных частиц, образующихся при взаимодействии протонов 660 МэВ с ядрами ^9Be в условиях их точной идентификации.

Методика эксперимента была подобна методике, использованной в работе^{/1/}. Толщина мишени из ^9Be /чистота 99,99/ составляла $2,38 \text{ мг/см}^2$. Толщина первого детектора dE/dX в телескопе была равна 40 мкм .

Рис. 1 иллюстрирует полученное в эксперименте разрешение частиц по Z и M и относительные сечения их образования в следующих энергетических диапазонах: $^1\text{H} - 3 \div 11 \text{ МэВ}$; $^2\text{H} - 5 \div 14 \text{ МэВ}$; $^3\text{H} - 6 \div 17 \text{ МэВ}$; $^3\text{He} - 7 \div 33 \text{ МэВ}$; $^4\text{He} - 8 \div 33 \text{ МэВ}$; ^6Li и $^7\text{Li} - 16 \div 36 \text{ МэВ}$.

Под углом вылета частиц $\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$ были измерены абсолютные дифференциальные сечения ($d\sigma/d\Omega$) образования различных вторичных частиц в указанных энергетических диапазонах. Ниже в таблице приведены полученные значения $d\sigma/d\Omega$; приведенные ошибки являются статистическими /абсолютные ошибки составляют величину около 10%/.

При измерении дифференциальных энергетических спектров различных изотопов водорода и гелия выявился ряд характерных качественных особенностей кинематических характеристик вторичных частиц в изучаемой реакции.

На рис. 2 приведены дифференциальные энергетические спектры ($d^2\sigma/dE d\Omega$) изотопов ^2H , ^3H , ^3He и ^4He , испущенных под углом $\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$. На этом рисунке видно подобие спектров двух изобарных продуктов ^3H и ^3He и относительное изменение "жесткости" спектров ^2H , ^3H ; ^3He и ^4He . Аналогичный характер спектров этих изотопов отмечался ранее в работе^{/1/}, в которой изучалась реакция $p + ^{12}\text{C}$.

При уменьшении угла испускания частиц дифференциальные энергетические спектры становятся постепенно более жесткими, однако это изменение в пределах углов $\theta_{\text{лаб.}} \leq 60^\circ$ незначительно, что следует из рис. 3 и 4, где приведены дифференциальные энергетические спектры ^3He и ^4He для различных углов в лабораторной системе.

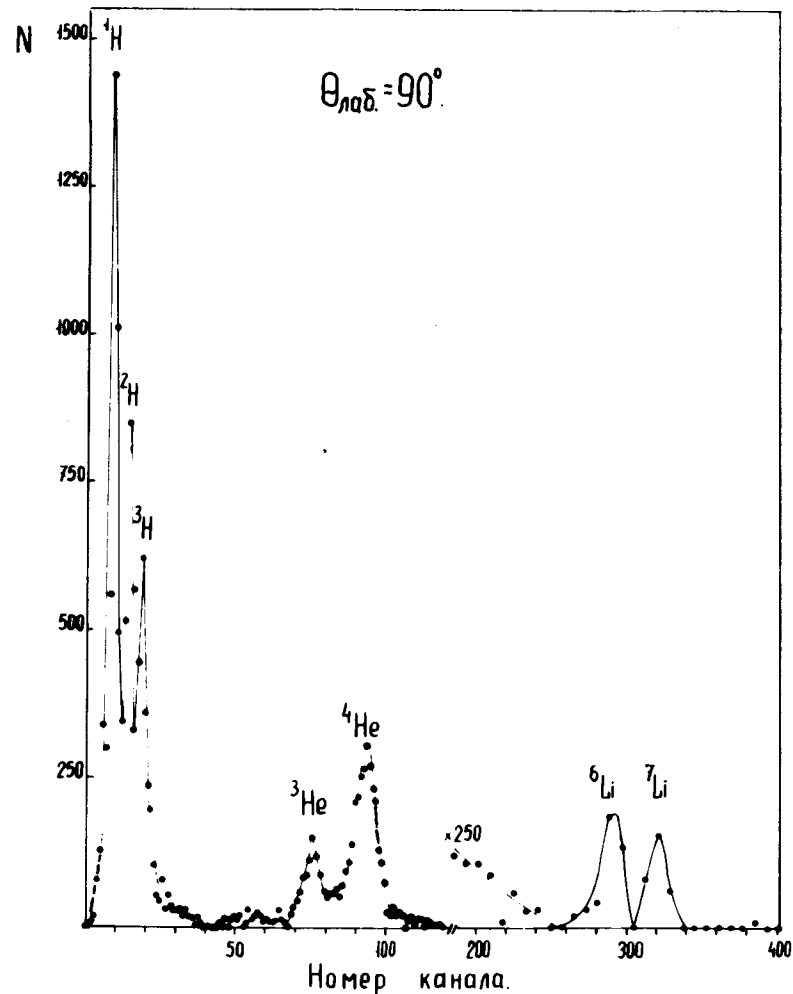


Рис. 1. Распределение изотопов водорода, гелия и лития ($\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$).

Таблица

Изотоп	^1H	^2H	^3H	^3He	^4He	^6He	^6Li	^7Li
$\frac{d\sigma}{d\Omega}(90^\circ) \frac{\text{mb}}{\text{sr}}$	$7,96 \pm 0,1$	$5,56 \pm 0,1$	$4,84 \pm 0,1$	$2,46 \pm 0,07$	$6,81 \pm 0,1$	$0,28 \pm 0,02$	$0,034 \pm 0,006$	$0,028 \pm 0,005$

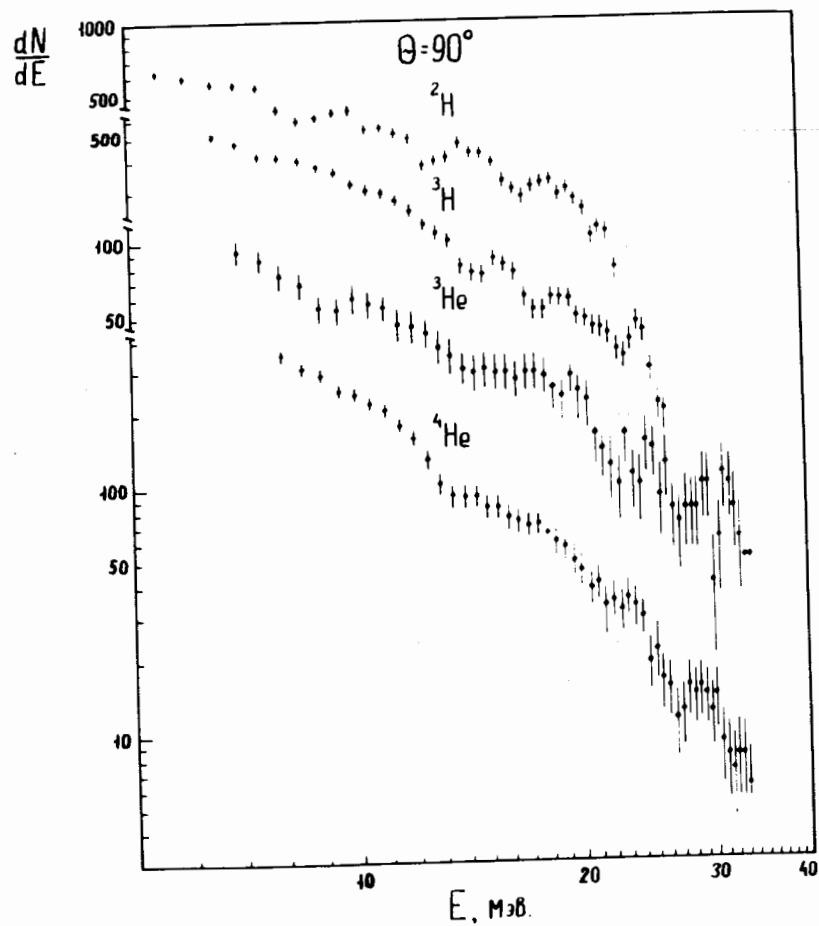


Рис. 2. Дифференциальные энергетические спектры ^2H , ^3H , ^3He и ^4He . $\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$.

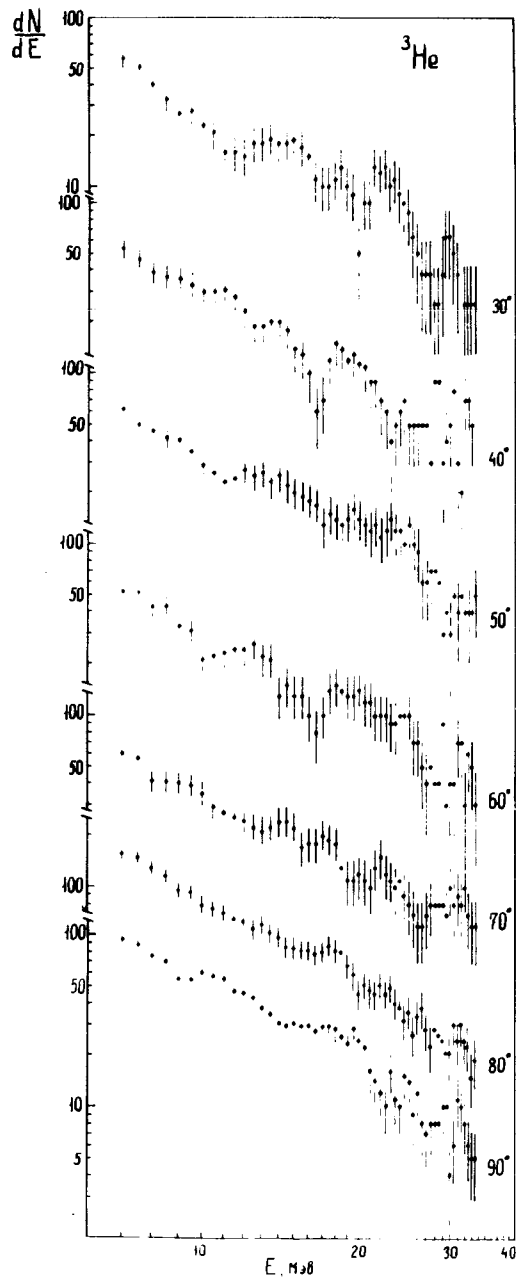


Рис. 3. Дифференциальные энергетические спектры ^3He при различных углах θ лаб.

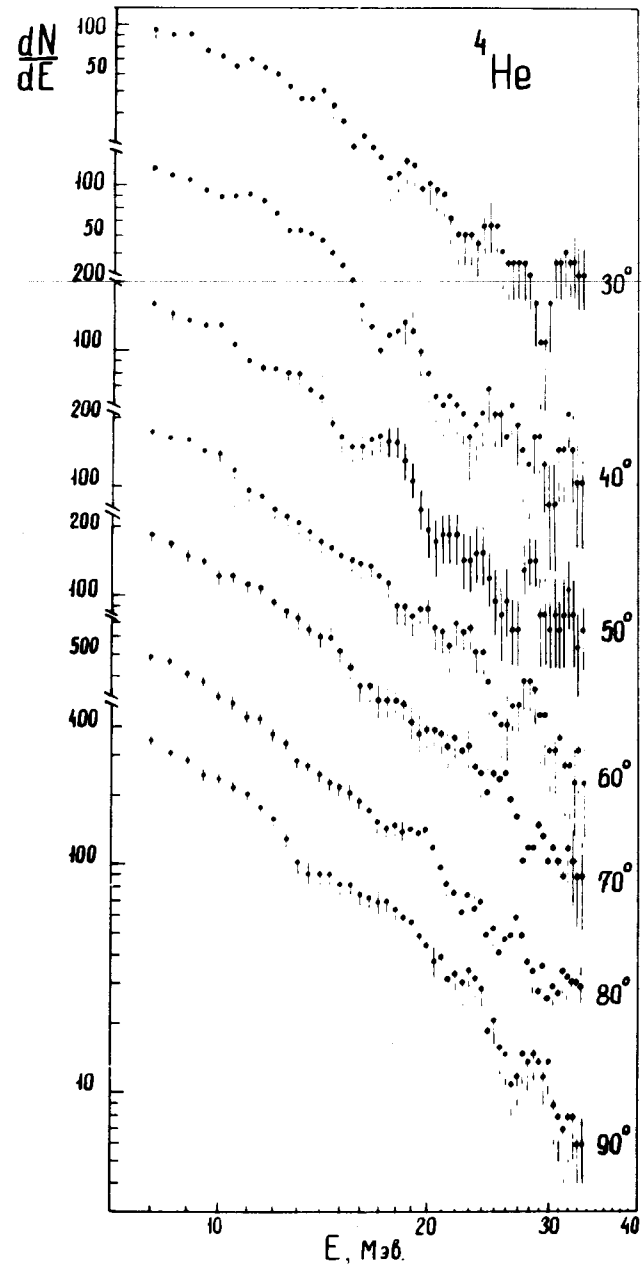


Рис. 4. Дифференциальные энергетические спектры ^4He при различных углах θ лаб.

Характер изменения спектров ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ с уменьшением угла $\theta_{\text{лаб.}}$ одинаков.

Используя то обстоятельство, что функция $d^2\sigma/dE d\Omega$ слабо зависит от угла $\theta_{\text{лаб.}}$, можно попытаться восстановить полные спектры $d^2\sigma/dE d\Omega$ изотопов ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в реакциях $p + {}^9\text{Be}$ под углом $\theta_{\text{лаб.}} = 5,5^\circ$. На рис. 5 показаны соответствующие спектры, составленные из высокоэнергетических участков энергетических распределений, измеренных в работе /2/, и низкоэнергетических участков, полученных в данной работе. Как следует из рисунка, визуально оба участка достаточно хорошо соответствуют друг другу и это соответствие может только улучшиться, если учесть уменьшение сечения $d\sigma/d\Omega$ в области малых углов /рис. 6/. Полученные таким образом полные дифференциальные спектры ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ пересекаются: в то время как отношение сечений образования ${}^4\text{He}$ к ${}^3\text{He}$ больше единицы в области энергий менее 40-50 МэВ, это отношение вблизи границы квазиупругого выбивания составляет величину порядка 0,1.

Угловые распределения изотопов ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в реакциях $p + {}^9\text{Be}$ имеют максимумы в области углов $\theta_{\text{лаб.}} = 50-70^\circ$. На рис. 6 полученные данные показаны вместе с измеренными ранее зависимостями $d\sigma/d\Omega$ для ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в реакциях $p + {}^{12}\text{C}$ /1/. В целом характер функций $d\sigma(\theta)/d\Omega$ для ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в обеих реакциях один и тот же. Можно лишь отметить более резкое падение сечений $d\sigma/d\Omega$ при малых углах и некоторое перемещение максимума углового распределения ${}^4\text{He}$ в сторону больших углов для реакции $p + {}^9\text{Be}$.

Как отмечалось в работе /1/, наличие максимума в угловых распределениях изотопа ${}^4\text{He}$ в реакции $p + {}^{12}\text{C}$ непосредственно связано с квазисвободным взаимодействием падающей и каскадных частиц с α -кластерами в ядре. Аналогичное заключение справедливо и для реакции $p + {}^9\text{Be}$. В этом случае отношение сечений образования ${}^4\text{He}$ в реакциях $p + {}^{12}\text{C}$ и $p + {}^9\text{Be}$ в области максимума функции $d\sigma(\theta)/d\Omega$ могут приближенно характеризовать отношение эффективных чисел α -кластеров в ядрах ${}^{12}\text{C}$ и ${}^9\text{Be}$. Это отношение дифференциальных сечений в области углов $50-70^\circ$ для ${}^{12}\text{C}$ и ${}^9\text{Be}$ составляет

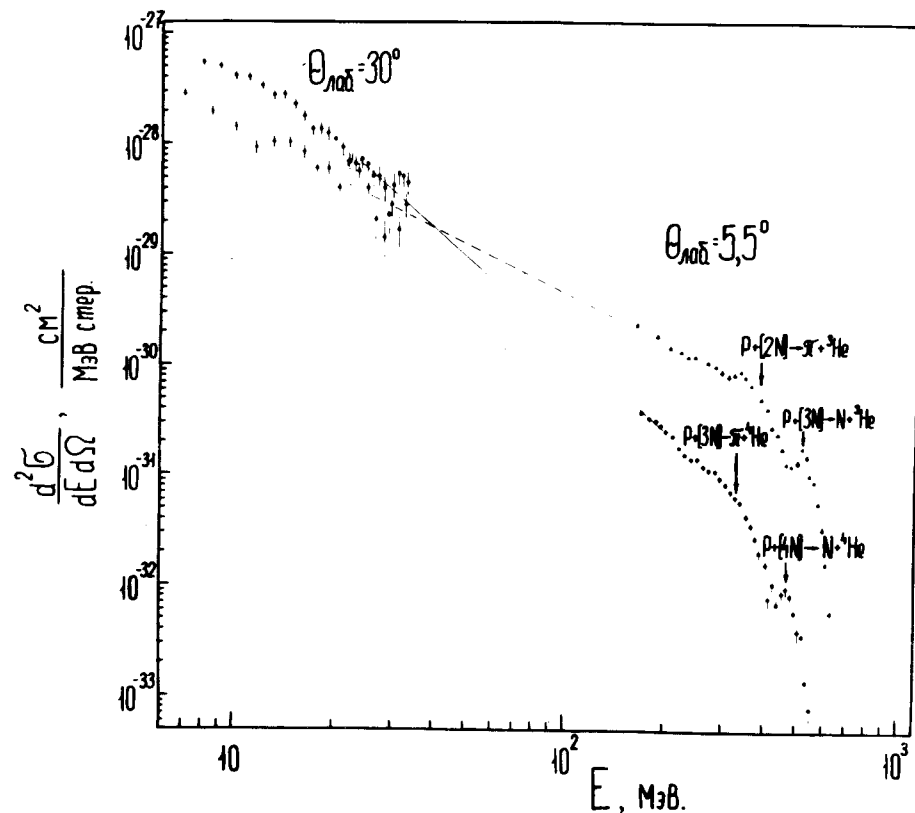


Рис. 5. Дифференциальные энергетические спектры ${}^3,4\text{He}$ в реакциях $p + {}^9\text{Be}$ при $E_p = 660 \text{ МэВ}$ для $\theta_{\text{лаб.}} = 30^\circ$ и $5,5^\circ$.

в среднем величину 1,76, что оказывается близким к теоретическому отношению эффективных чисел α -кластеров в ${}^{12}\text{C}$ и ${}^9\text{Be}$, равном $1,72^{2/3}$. Интересно отметить, что отношение сечений $d\sigma/d\Omega$ для ${}^3\text{He}$ из ${}^{12}\text{C}$ и ${}^9\text{Be}$ оказывается близким к той же величине - оно составляет 1,8.

Близкие величины отношений получаются и из работы /4/. В этой работе авторы из опытов по квазиупругому выбиванию ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ из ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ под углом $\theta_{\text{лаб.}} = 5,5^\circ$ приводят верхнюю границу значений эффективных

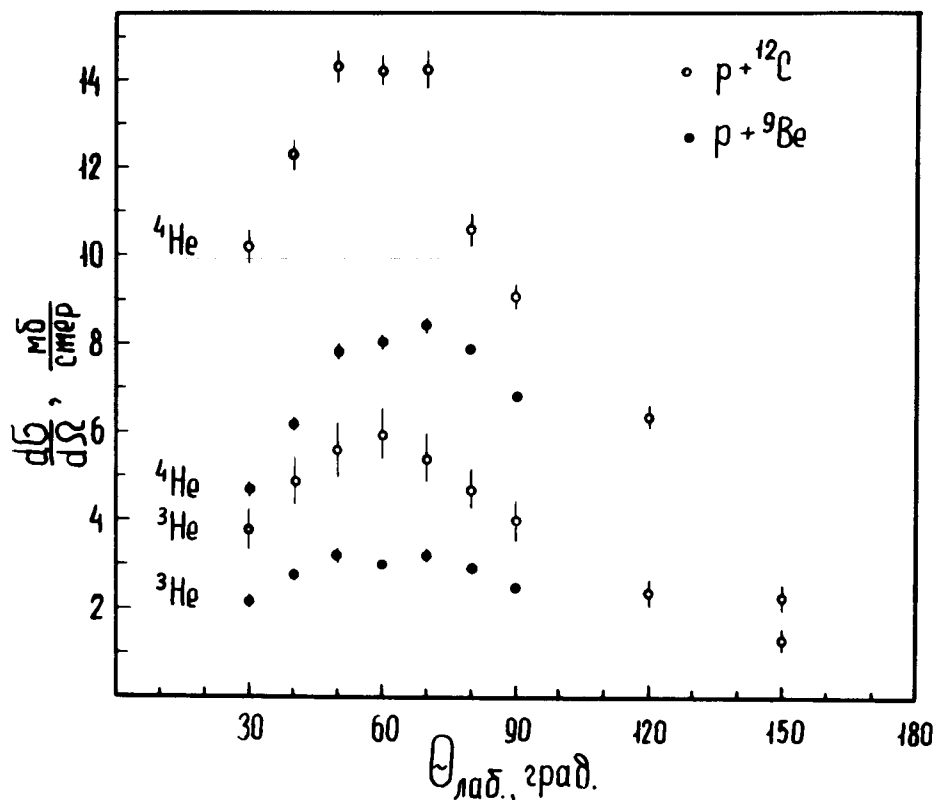


Рис. 6. Угловые распределения изотопов ${}^3,4\text{He}$ в реакциях $p + {}^9\text{Be}$ и $p + {}^{12}\text{C}$ при $E_p = 660$ МэВ. Указаны статистические ошибки.

чисел кластеров ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в указанных ядрах. Для ${}^4\text{He}$ это

отношение $\frac{n({}^{12}\text{C})}{n({}^9\text{Be})} \leq 3,3$; а для ${}^3\text{He}$ — $\leq 2,3$. Близость

отношений эффективных чисел кластеров ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в ядрах ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$, полученных в разных опытах и в разных областях энергий регистрируемых частиц, говорит, по-видимому, о правильности основных положений, лежащих в основе рассмотрения взаимодействия частиц высокой энергии с легкими ядрами.

выражают свою признательность члену-корреспонденту АН СССР В.П. Джелепову за предоставленную возможность произвести эксперимент на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, профессору Н.А. Перфилову за постоянный интерес и внимание к работе, кандидату физико-математических наук В.В. Авдейчикову, принявшему участие в обсуждении эксперимента, и М.Л. Медведевой за изготовление полупроводниковых детекторов.

Литература

1. В.И. Богатин, Е.Л. Григорьев, О.В. Ложкин. Сообщение ОИЯИ, 1-7653, Дубна, 1973.
2. В.И. Комаров, Г.Е. Косарев, Е.С. Кузьмин, А.Г. Молоканов, Г.П. Решетников, О.В. Савченко, З.Теш. Препринт ОИЯИ, P1-7784, Дубна, 1974.
3. В.В. Балашов, А.И. Бояркина, И. Роттер. Nucl. Phys., 59, 417 (1964).
4. В.И. Комаров, Г.Е. Косарев, О.В. Савченко. Препринт ОИЯИ, P1-4373, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел 22 июля 1974 года.