

0343 -  
C-1.6

В.И. Салацкий

15 - 5356

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ТРИТИЯ  
С ЯДРАМИ КИСЛОРОДА-16  
И ВОЗБУЖДЕННЫЕ УРОВНИ ЯДРА ФТОРА-19

Специальность 055 - физика атомного ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1970

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук С.М. Поликанов,  
кандидат физико-математических наук И.Я. Барит.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Автореферат разослан " " 1970 г.

Защита диссертации состоится " " 1970 г.  
на заседании Объединенного учёного Совета лабораторий нейтрон-  
ной физики и ядерных реакций.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь совета

Э.Н. Каржавина

15 - 5356

В.И. Салацкий

С 343  
С-16

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ТРИТИЯ  
С ЯДРАМИ КИСЛОРОДА-16  
И ВОЗБУЖДЕННЫЕ УРОВНИ ЯДРА ФТОРА-19

Специальность 055 - физика атомного ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук

117769

Объединённый институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Исследование при низких энергиях ядерных реакций ионов трития (тритонов) и гелия-3 с изотопами легких элементов представляет большой интерес. До сих пор неясно, почему в реакциях на одних ядрах четко проявляются эффекты, связанные с составным ядром (пики на кривых выхода и резкое изменение формы угловых распределений вылетающих частиц с энергией), а в реакциях на других ядрах, отличающихся от первых на один или два нуклона, таких эффектов не обнаружено. При энергиях тритонов больше 5 Мэв на легких ядрах, как правило, начинают преобладать прямые процессы.

В результате изучения реакций главным образом с дейтронами и ионами  $^3\text{He}$  предложен критерий <sup>1/</sup>, дающий некоторые указания на ожидаемые механизмы реакций, особенно при малых энергиях бомбардирующих частиц. Согласно этому критерию резонансные эффекты, связанные с образованием составного ядра, можно ожидать только для составных систем с относительно низкой энергией связи, образованных при бомбардировке легких ядер дейтронами, тритонами и ионами  $^3\text{He}$ . Проведенный автором анализ результатов исследований реакций тритонов с легкими ядрами (до ядер алюминия включительно), опубликованных к началу 1970 года, показывает, что если предложенный критерий и верен, то он все-таки не строг и допускает значительные исключения. Это особенно хорошо видно на примере взаимодействия тритонов с фтором-19 и водородом-1 (протием). Объяснить просто ошибки наличие резонансной структуры, полученной при исследовании реакций на этих ядрах различными методами во многих работах, невозможно.

Для того, чтобы разобраться в механизме взаимодействия тритонов с легкими ядрами при энергиях ниже 5 Мэв, необходимы еще многие эксперименты с возможно большим числом ядер. Исследованию взаимодействия тритонов до 1,8 Мэв с некоторыми из них и посвящена реферируемая диссертация. Основной материал диссертации опубликован в работах <sup>2-8/</sup>.

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения. В первых четырех главах рассмотрены методические вопросы, связанные с проведением исследований. Следующие главы посвящены экспериментальному изучению реакций  $D + T$ ,  $^{14}N + T$  и  $^{16}O + T$ . Особое внимание уделено реакции  $^{16}O + T$  и анализу энергетических уровней составного ядра  $^{19}F$ , образующегося в этой реакции. Рассмотрим кратко содержание реферируемых глав.

### Глава 1. Тритий в лаборатории ядерной физики

При проведении исследований взаимодействия ядер трития с легкими элементами, выполняемых в ЛНФ ОИЯИ, потребление трития составляет несколько сот кюри в год. В отдельном корпусе лаборатории расположены две установки, приспособленные для ускорения тритонов: каскадный генератор на 300 кэв и электростатический генератор на 1,8 Мэв.

Тритий поступает в виде тритида урана в баллонах, которые заключены в транспортные контейнеры, заполненные аргоном. Баллоны с тритидом урана подсоединяются к установке по приготовлению смесей трития с гелием-4. Рабочие баллоны, из которых подается эта смесь газов в ионные источники ускорителей, наполняются тритием (до 80 кюри в каждом баллоне). При среднем расходе  $(0,6 \pm 0,2)$  кюри/час одной заправки оказывается достаточно примерно на 130 часов работы ускорителя.

Для регистрации утечек трития в атмосферу применяются сетчатые ионизационные камеры и усилители от стандартного микрорентгенометра типа "Кактус".

Определение концентрации трития в газовых смесях осуществляется при помощи радиометрических методов, основанных на использовании радиоактивности трития.

В диссертации подробно описывается установка для приготовления смесей трития с гелием-4, используемых в ионных источниках ускорителей, и установка для наполнения газовых мишеней тритием. Эксплуатация этих установок в течение многих лет показала их высокую надежность и удобство. Приведены также некоторые сведения о работе на ускорителях с твердыми тритиевыми мишенями и об их хранении, о загрязнении материалов тритием и их очистке, о вентиляции помещений и выбросе трития в атмосферу.

### Глава II. Ускорители

В этой главе приведены основные параметры электростатического ускорителя (ЭСУ) на 1,8 Мэв и каскадного ускорителя на 300 кэв, применяемых для ускорения ионов трития. Утверждается, что калибровку ЭСУ по энергии удобно проводить по резонансу 1117 кэв из реакции  $^{12}C(t, p_0) ^{14}C$ . Обсуждается надежность и точность такой калибровки.

Особое внимание уделено составу ионных пучков ЭСУ. Тритий, направляемый в ионный источник, имел следующий состав: трития -  $(99 \pm 0,5)\%$ , дейтерия -  $(0,5 \pm 0,3)\%$ , протия -  $(0,5 \pm 0,3)\%$ .

Пучок с массой три содержит, кроме ионов трития ( $T^+$ ), ионы  $(^3He)^+$  и молекулярные ионы  $(HD)^+$  и  $(HHD)^+$ . Наиболее подробная информация о составе пучка с массой три получена при исследовании упругого рассеяния тритонов на различных элементах <sup>6/</sup>. На рис. 1 показан спектр частиц, рассеянных на кислороде, ксеноне и аргоне. Четко видны пики от протонов, дейтронов и ионов гелия-3 ( $\eta^+$ ), присутствующих в пучке. Обработка нескольких десятков аналогичных спектров показала, что примесь ионов  $(HD)^+$  всегда была в пределах от 0,1 до 0,3%, примесь ионов  $(HHD)^+$  обычно составляла около 0,5%, а примесь ионов  $(^3He)^+$ , как правило, была не больше 0,3%. Найдено, что примесь ионов  $(HHD)^+$  резко возрастает, когда в баллоне, из которого в ионный источник поступает газ, остается мало газа.

Установлена важность очистки трития от гелия-3, непрерывно образующегося при естественном распаде трития. В контрольном эксперименте, когда тритий имел около 60% гелия-3, примесь ионов ( $^3\text{He}^+$ ) в пучке менялась от 8 до 22% в зависимости от режима ионного источника. При любых режимах источника примесь ( $^3\text{He}^+$ ) составляет не больше 0,3% в течение двух месяцев после очистки трития от гелия-3.

Показано расчётным путем, что нейтрализация ионов трития на пути от магнитного анализатора до мишени в наших экспериментах ничтожно мала. Прямая проверка величины нейтрализации, проведенная при исследовании реакции  $\text{D}(t, \alpha) \text{p}$ , подтвердила результаты расчёта.

### Глава III . Свойства слюды

Для окошек газовых мишеней оказалось удобным использовать тонкие пленки из слюды типа мусковит. Кроме того, установлено, что такие пленки могут служить хорошими кислородными мишенями. Поэтому возникла необходимость выяснить некоторые свойства слюды, знание которых требуется при исследованиях ядерных реакций.

Определение тормозных способностей слюды для протонов выполнено на ЭСУ и каскадном генераторе на протонных и тритиевых пучках. В перекрывающейся области энергий полученные результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в обзоре /9/.

Путем интегрирования кривой тормозных способностей получена зависимость "пробег-энергия" для протонов в слюде.

Зависимость "пробег - энергия" для  $\alpha$ -частиц в слюде определялась с помощью препарата плутония-239; тонкой твердой дейтериевой мишени, бомбардируемой тритонами; а также по потерям энергии ионами ( $^3\text{He}^+$ ) в слюде. Путем дифференцирования кривой "пробег - энергия" получено значение тормозной способности слюды в зависимости от энергии  $\alpha$ -частиц в интервале энергий 0,5 - 5,5 МэВ.

Многokратное рассеяние ионов водорода в слюде измерялось на каскадном генераторе в области энергий 100-300 кэВ, и было сделано сравнение с расчётами по теории Мольера в сочетании со статистической моделью Томаса-Ферми для описания распределения электронов в атоме. Полученное значение отношения полуширины угловых распределений рассеянных ионов, измеренных и вычисленных, равное  $1,17 \pm 0,07$ , находится, видимо, в разумных пределах, если учесть, что вычисления по модели Томаса-Ферми дали хорошее согласие с экспериментом для алюминия /10/ и расхождение на 20-30% с экспериментом для углерода /11/. Слюда же по среднему атомному номеру занимает промежуточное положение между алюминием и углеродом.

### Глава IV . Методика основных экспериментов

При исследовании взаимодействия тритонов с кислородом применялись различные мишени, содержащие кислород. Мишени из окиси бериллия оказались неудовлетворительными потому, что отделять процессы, идущие на кислороде, от реакций на бериллии (имеющих большое сечение), очень трудно. Мишени из окиси никеля также оказались непригодными для измерений, так как содержание кислорода в них изменялось под действием пучка. Вполне удовлетворяли всем необходимым условиям твердые мишени из алунда и слюды, а также газовые мишени, наполненные  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ .

Основные измерения выполнены в цилиндрической вакуумной камере диаметром 400 мм. Полупроводниковый детектор, расположенный в камере на вращающемся барабане, позволял измерять угловые распределения заряженных частиц, вылетающих из мишени, в диапазоне углов  $0-155^\circ$ . Второй (неподвижный) полупроводниковый детектор располагался под углом  $90^\circ$  к направлению бомбардирующего пучка. Так как в большинстве измерений, выполненных с этими детекторами, требовалось определять абсолютное число регистрируемых частиц, приходившихся на пики в спектрах, то особое внимание было обращено на низкоэнергетические "хвосты", доходящие с малым убыванием до нуля энергии.

Регистрация частиц осуществлялась спектрометрическими трактами, включающими в себя детекторы, усилители, пересчетные схемы и многоканальные амплитудные анализаторы.

#### Глава V . Дифференциальные сечения реакций

$D(t, \alpha)_n$  и  $^{14}N(t, \alpha)^{13}C$

Для проверки методики измерений на газовых мишенях, применяемой при исследовании дифференциальных сечений реакций  $^{16}O + T$  и  $^{14}N + T$ , удобно использовать реакцию  $D(t, \alpha)_n$ . Желание получить сечения реакции  $D(t, \alpha)_n$  при энергиях, больших 250 кэВ, с точностью, с которой известны сечения при энергиях до 250 кэВ, вызвало необходимость проведения этих экспериментов.

В экспериментах использовались газовые мишени, наполненные дейтерием. Для регистрации  $\alpha$ -частиц, вылетающих из мишени под углом  $90^\circ$  л.с., применялся детектор, изготовленный из кремния  $p$ -типа, компенсированного литием.

Подробная таблица полученных нами дифференциальных сечений реакции  $D(t, \alpha)_n$  под углом  $90^\circ$  л.с. и сравнение их с литературными данными приведены в работе /3/. При энергиях тритонов от 115 до 300 кэВ полученные нами сечения совпадают в пределах экспериментальных ошибок с результатами опубликованных работ. При энергиях от 300 до 1450 кэВ сечения отличаются (до 10%), а при энергиях от 1450 до 1650 кэВ сечения снова хорошо совпадают. Расхождение сечений в области энергий от 300 до 1450 кэВ обусловлено, вероятно, тем, что в этой области энергий большинство авторов использовали методику регистрации нейтронов, которая нам представляется менее надежной. Это подтверждается тем, что для областей энергий, при исследовании которых другие авторы использовали методику регистрации  $\alpha$ -частиц, результаты хорошо согласуются.

При исследовании реакции  $^{16}O + T$  часть измерений выполнена на газовой мишени, наполненной воздухом. На спектрах вылетающих из мишени частиц оказалось не сложно выделить пики от  $\alpha$ -частиц из реакций  $^{14}N(t, \alpha_0)^{13}C$  и  $^{14}N(t, \alpha_1)^{13}C$ . Таблица дифференциальных сечений этих реакций под углом  $90^\circ$  л.с. приведена в диссертации. На рис. 2 показано сравнение полученных нами сечений реакции  $^{14}N(t, \alpha_0)^{13}C$  с опубликованными в работе /12/. Если учесть, что в работе /12/ кривые сечений приведены в зависимости от энергии тритонов, бомбардирующих мишень, а не от энергии взаимодействующих тритонов, то сдвиг кривых примерно на 100 кэВ вполне понятен.

Сечения реакции  $^{14}N(t, \alpha_0)^{13}C$  применялись для определения примеси азота в кислороде при наполнении последним газовых мишеней.

#### Глава VI . Исследование ядерных реакций трития с кислородом

Из приведенного в диссертации краткого обзора опубликованных работ видно, что до сих пор нет надежных измерений дифференциальных сечений реакций  $^{16}O(t, t)^{16}O$ ,  $^{16}O(t, \alpha)^{15}N$  и  $^{16}O(t, p)^{18}O$ , а также достаточного количества угловых распределений этих реакций при энергиях ионов трития ниже 2 МэВ. Цель описанных в этой главе экспериментов - восполнить этот пробел.

Измерения дифференциальных сечений под углом  $90^\circ$  л.с. проводились с использованием тонких газовых и твердых мишеней. Для регистрации  $\alpha$ -частиц и протонов из реакции  $^{16}O + T$  сохранены все условия регистрации  $\alpha$ -частиц из реакции  $D(t, \alpha)_n$ .

Полученные дифференциальные сечения реакций  $^{16}O(t, \alpha)^{15}N$  и  $^{16}O(t, p)^{18}O$  под углом  $90^\circ$  л.с. приведены на рис. 3. Сложная форма кривых дифференциальных сечений позволяет предположить существование многих уровней в составном ядре  $^{19}F$ .

Основные измерения угловых распределений заряженных частиц из реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$  выполнены на мишени из слюды толщиной  $0,24 \text{ мг/см}^2$ . В исследованном диапазоне энергий и углов ( $0,9\text{--}1,7 \text{ Мэв}$ ,  $10\text{--}155^\circ$ ) наблюдались две группы протонов, соответствующие основному и первому возбужденному состоянию ядра  $^{18}\text{O}$ , а также одна группа  $\alpha$ -частиц, соответствующая основному состоянию ядра  $^{15}\text{N}$ .

Краткое описание полученных угловых распределений следует ниже.

$^{16}\text{O}(t, \alpha_0)^{15}\text{N}$ . Угловые распределения  $\alpha$ -частиц не симметричны относительно угла  $90^\circ$  с.ц.м. и сильно зависят от энергии бомбардирующих тритонов. Во всем диапазоне энергий выход в переднюю полусферу больше, чем в заднюю.

$^{16}\text{O}(t, p_0)^{18}\text{O}$ . Угловые распределения протонов резко зависят от энергии тритонов. Преобладание "выхода вперед" чередуется с преобладанием "выхода назад".

$^{16}\text{O}(t, p_1)^{18}\text{O}$ . В диапазоне энергий тритонов от  $0,99$  до  $1,53 \text{ Мэв}$  выход протонов в переднюю и заднюю полусферы примерно одинаков. При меньших и больших энергиях преобладает "выход назад".

Полные сечения реакций, полученные при интегрировании измеренных угловых распределений, приведены на рис. 4. Отсутствие на кривых полных сечений некоторых максимумов, обнаруженных в дифференциальных сечениях, вероятно, объясняется более крупным шагом по энергии при измерении угловых распределений. Контрольные измерения угловых распределений, выполненные на тонких алундовых мишенях, показали, что толщина слюдяных мишеней не играла существенной роли.

Исследование упругого рассеяния тритонов на кислороде было сделано на мишенях из алунда и газовых мишенях. Газовые мишени, как правило, наполнялись, кроме кислорода, ксеноном или аргоном. Меньший разброс экспериментальных результатов при использовании мишеней со смесями обусловлен измерением

рассеяния на кислороде относительно газа - монитора, рассеяние на котором принимается равным резерфордовскому.

Как видно из рис. 5, форма кривых рассеяния тритонов на кислороде мало меняется в зависимости от угла. На всех кривых в диапазоне энергий  $0,90\text{--}1,66 \text{ Мэв}$  четко видно по одному максимуму и по два минимума. На кривой рассеяния, измеренной под углом  $150^\circ$  в большем диапазоне энергий, виден еще один максимум при энергии  $1,70 \text{ Мэв}$ . На всех кривых нет других максимумов и минимумов, превышающих относительную ошибку измерений, равную 2%.

#### Глава VII . Анализ экспериментальных результатов по исследованию реакции $^{16}\text{O} + \text{T}$

В дифференциальных и полных сечениях всех исследованных каналов реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$  для изученного нами диапазона энергий тритонов  $0,6\text{--}1,75 \text{ Мэв}$  имеются четкие резонансы, откуда следует, что механизм реакции через составное ядро играет важную роль в исследованном взаимодействии.

Далее можно отметить сильное различие в энергетической зависимости полных сечений для каналов  $\alpha + ^{15}\text{N}$  и  $p + ^{18}\text{O}$  в изученной нами области энергий: для канала  $p + ^{18}\text{O}$  плавная подложка сечения относительно мала, и ее величина не возрастает с увеличением энергии, положения наиболее сильных резонансов обоих каналов не коррелированы. Все это указывает на то, что распределение парциальных ширин между открытыми каналами сильно меняется при переходе от резонанса к резонансу.

Вклад в реакцию  $^{16}\text{O} + \text{T}$  таких прямых процессов, как срыв, подхват, тяжелый срыв и кластерный обмен, не может быть значительным, так как форма измеренных угловых распределений часто резко меняется в небольшом интервале изменения энергии бомбардирующих тритонов.



Кроме того, так как ядро  $^{16}\text{O}$  является "а-частичным" ядром, можно ожидать, что кластер-обменный механизм должен составлять значительную часть прямых процессов взаимодействия. Но из того факта, что значение полного сечения реакции  $(t, \alpha)$  на ядре  $^{16}\text{O}$  не отличается от среднего значения сечений на соседних "не а-частичных" ядрах  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$  и  $^{19}\text{F}$ , следует, что кластер-обменный механизм должен играть незначительную роль в реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$ .

Из изложенных выше рассуждений можно сделать вывод, что основным процессом взаимодействия ядер трития с кислородом (до энергий 1,8 Мэв) является механизм реакции через составное ядро, прямые процессы играют второстепенную роль и их вклад при имеющихся экспериментальных результатах и методах оценок невозможно определить точно. В сложившейся ситуации представляется целесообразным рассматривать полученные нами экспериментальные результаты по исследованию реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$  только с точки зрения составного ядра как одного из предельных механизмов ядерной реакции.

На кривых дифференциальных и полных сечений реакций  $^{16}\text{O}(t, \alpha_0)^{15}\text{N}$  и  $^{16}\text{O}(t, p_0)^{18}\text{O}$ , измеренных в настоящей работе, обнаружено 8 резонансов при энергиях тритонов от 0,6 до 1,75 Мэв, что соответствует возбуждению ядра  $^{19}\text{F}$  от 12,2 до 13,16 Мэв. Положения и полные ширины уровней ядра  $^{19}\text{F}$  найдены из рассмотрения зависимости коэффициента  $a_0$ , полученного при разложении угловых распределений реакций  $(t, \alpha_0)$  и  $(t, p_0)$  по полиномам Лежандра, от энергии бомбардирующих тритонов. Подгонка коэффициентов  $a_0$  для реакции  $(t, \alpha_0)$  с помощью суммы отдельных резонансов приведена на рис. 6. Форма всех резонансов бралась брейт-вигнеровской, но так как резонансы лежат ниже кулоновского барьера для бомбардирующих тритонов, то учитывались сильные искажения, обусловленные быстрым изменением факторов проницаемости с энергией. Параметры выделенных резонансов приведены в табл. 1.

они подбирались так, чтобы наилучшим образом удовлетворить значениям  $a_0$ , полученным из эксперимента. Удовлетворительность такой подгонки видна на рис. 6, где сплошная кривая есть сумма вкладов от всех выделенных резонансов. Причём

$$a_0^i(E_{\text{рез.}}) = \frac{2J_i + 1}{2} \frac{\Gamma_{\text{вх.}}^i(E_{\text{рез.}}) \Gamma_{\text{вых.}}^i(E_{\text{рез.}})}{\Gamma_i^2}$$

где  $E_{\text{рез}}$  - энергия резонанса,  $J_i$  - спин  $i$ -го компаунд-состояния,  $\Gamma_{\text{вх.}}^i$  и  $\Gamma_{\text{вых.}}^i$  - парциальные ширины,  $\Gamma_i$  - полная ширина. Параметры резонансов реакции  $(t, p_0)$ , выделенные тем же способом, что и в реакции  $(t, \alpha_0)$ , также приведены в табл. 1. В последней колонке таблицы даны энергии возбуждения ядра фтора-19, соответствующие выделенным резонансам.

Таблица 1  
Параметры резонансов реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$

| $E_{\text{рез.}}^i$ ,<br>Мэв | $\Gamma_i$ ,<br>Мэв | $a_0^i(E_{\text{рез.}})$<br>$(t, \alpha_0)$ | $a_0^i(E_{\text{рез.}})$<br>$(t, p_0)$ | Уровни<br>$^{19}\text{F}$ ,<br>Мэв |
|------------------------------|---------------------|---|--|------------------------------------|
| 1,00±0,05                    | 0,12±0,03           | 0,005±0,002                                 | 0,0008±0,0003                          | 12,54±0,05                         |
| 1,16±0,02                    | 0,10±0,02           | 0,018±0,002                                 | 0,004±0,0008                           | 12,67±0,02                         |
| 1,27±0,02                    | 0,11±0,02           | 0,010±0,003                                 | 0,006±0,003                            | 12,67±0,02                         |
| 1,34±0,02                    | 0,13±0,02           | 0,014±0,003                                 | 0,010±0,003                            | 12,82±0,02                         |
| 1,45±0,02                    | 0,10±0,02           | 0,010±0,005                                 | -                                      | 12,91±0,02                         |
| 1,52±0,03                    | 0,10±0,02           | 0,010±0,006                                 | 0,010±0,002                            | 12,97±0,03                         |
| 1,62±0,03                    | 0,10±0,02           | 0,020±0,010                                 | 0,002±0,0015                           | 13,06±0,03                         |

Сравнение положения уровней, найденных в настоящей работе - включая полученные на основании дифференциальных сечений реакции  $^{16}\text{O}(t, \alpha_{1+2})^{15}\text{N}$  - с уровнями, найденными при исследовании реакции  $^{18}\text{O} + p$  в недавно опубликованной работе /13/, приведено в табл. 2. Видно, что согласие между данными обеих работ очень хорошее.

В реферируемой диссертации сделана попытка определить по результатам измеренных нами угловых распределений спины найденных уровней. Для этого на ЭВМ было сделано несколько десятков проб подгонки полученных зависимостей коэффициентов при полиномах Лежандра ( $a_l$ ) от энергии с помощью различных наборов спинов и чётностей выделенных резонансов. Удовлетворительного набора спинов и чётностей, которые бы воспроизводили поведение всех коэффициентов  $a_l$ , найти не удалось. Оптимальный набор параметров в диапазоне энергий от 0,9 до 1,5 Мэв приведен в табл. 2. Безусловно, надежность такого набора мала. С достоверностью можно лишь утверждать, что в этом диапазоне энергий сильные резонансы имеют спины не более 5/2.

Рассмотрена природа найденных уровней. В работе /14/ утверждается, что практически у всех ядер при больших энергиях возбуждения (10-30 Мэв) должны существовать целые системы поверхностных кластерных уровней, связанных с порогом двух-частичного развала ядра. Эти уровни должны легко идентифицироваться, так как приведенная ширина для распада в пороговый канал у них должна быть велика (порядка вигнеровского предела). Оценка приведенных  $a$ -ширин и  $p$ -ширин уровней ядра по результатам, полученным нами и в работах /13-15/, показывает, что найденные нами уровни не кластерного характера.

В диссертации рассматривается также вопрос о том, не могут ли являться некоторые из этих состояний аналоговыми уровнями. Для расчёта взяты уровни ядра  $^{19}\text{O}$ , приведенные в работе /16/, и величина (7,441 Мэв) смещения уровней

Таблица 2  
Уровни ядра фтора-19

| Настоящая работа |       | Дин /13/ | Аналоговые уровни |                    |
|------------------|-------|----------|-------------------|--------------------|
| Мэв              | J     | Мэв      | Мэв               | J <sup>π</sup>     |
| 12,41±0,03       |       | 12,44    | 12,44             |                    |
|                  |       | 12,52    |                   |                    |
| 12,54±0,05       | ≤ 5/2 | 12,57    | 12,59             | 5/2 <sup>+</sup>   |
| 12,63±0,03       | ≤ 5/2 | 12,63    |                   |                    |
| 12,67±0,02       | 1/2   | 12,69    |                   |                    |
| 12,72±0,02       | 5/2   |          |                   |                    |
| 12,76±0,02       | ≤ 3/2 | 12,75    |                   |                    |
| 12,79±0,03       | 7/2   | 12,79    |                   |                    |
| 12,82±0,02       | ≤ 3/2 | 12,82    |                   |                    |
| 12,88±0,02       |       |          |                   |                    |
| 12,91±0,02       |       | 12,92    | 12,90             | (3/2) <sup>+</sup> |
| 12,97±0,03       |       |          |                   |                    |
| 13,06±0,02       |       | 13,06    |                   |                    |
| 13,14±0,03       |       | 13,17    | 13,15             |                    |

в  $^{19}\text{F}$  по отношению к уровням  $^{19}\text{O}$ , вычисленная в работе /13/. Результаты расчёта приведены в табл. 2. Видно, что вычисленные аналоговые уровни совпадают с уровнями, обнаруженными в ядре  $^{19}\text{F}$ . Поэтому не исключено, что часть рассматриваемых уровней ядра  $^{19}\text{F}$  — аналоговые уровни. Конечно, окончательный вывод можно будет сделать только тогда, когда будут известны характеристики сравниваемых уровней.

#### Основные результаты

1. Обобщен опыт работы по ускорению ионов трития и использованию его в мишенях. Подробно рассмотрен вопрос о составе тритонного пучка электростатического ускорителя.

2. Показано, что слюда типа мусковит является хорошим материалом для окон газовых мишеней и сама может быть использована как кислородная мишень. Измерены тормозные способности слюды для протонов и  $\alpha$ -частиц. Исследовано многократное рассеяние ионов водорода в слюде.

3. Рассмотрены некоторые свойства использованных полупроводниковых детекторов. Детально исследован вопрос о величине размазывания пиков на спектрах регистрируемых частиц.

4. Измерены дифференциальные сечения реакции  $D(t, \alpha)n$  под углом  $90^\circ$  л.с. Подтверждены измеренные ранее другими авторами сечения реакции в диапазонах энергий от 115 до 300 кэВ и от 1450 до 1650 кэВ. Найдено отличие (до 10%) в сечениях от ранее полученных данных в области энергий от 300 до 1450 кэВ.

5. Измерены дифференциальные сечения реакции  $^{14}\text{N}(t, \alpha)^{13}\text{C}$  под углом  $90^\circ$  л.с.

6. Детально изучены различные каналы реакции трития с кислородом до энергий тритонов 1,8 МэВ. Получены функции возбуждения, угловые распределения и полные сечения. В области энергий возбуждения ядра фтора-19 от 12,2 до 13,2 МэВ найден ряд ранее неизвестных уровней. Рассмотрен вопрос о природе этих уровней. Для некоторых из них грубо оценены возможные спины.

7. Показано, что основным механизмом взаимодействия ядер трития с кислородом при энергии до 1,8 МэВ является механизм реакций, идущей через составное ядро.

#### Литература

1. Д.А. Бромли. В кн. "Строение ядра". Госатомиздат, 1962, стр. 142.
2. В.И. Салацкий, И.В. Сизов. Препринт ОИЯИ, Р-387, Дубна, 1959.
3. А.М. Говоров, Ли Га Ен, Г.М. Осетинский, В.И. Салацкий, И.В. Сизов. Препринт ОИЯИ, Р-725, Дубна, 1961.
4. А.П. Кобзев, В.И. Салацкий, С.А. Тележников. Ядерная физика, 3, 1060 (1966); Препринт ОИЯИ, Р-2386, Дубна, 1965.
5. А.П. Кобзев, А.В. Громов, К. Кашлик, К. Недведюк, В.И. Салацкий, С.А. Тележников. Ядерная физика, 5, 510 (1967). Препринт ОИЯИ, Р-2796, Дубна, 1966.
6. А.П. Кобзев, К. Недведюк, В.И. Салацкий, И.В. Сизов, С.А. Тележников. Препринт ОИЯИ, Р6-3314, Дубна, 1967.
7. А.П. Кобзев, В.И. Салацкий, С.А. Тележников. Препринт ОИЯИ, Р15-3756, Дубна, 1968.
8. А.М. Говоров, В.И. Салацкий, С.А. Тележников. Препринт ОИЯИ, Р15-3998, Дубна, 1968.
9. S.K. Allison, S.D. Warshaw. Rev.Mod.Phys., 25, 779(1953).
10. А.А. Бедняков, В.Н. Дворецкий, И.А. Савенко, А.Ф. Тулинов. Вестн. Моск. ун-та, сер. физ., астрономии, №1, 55 (1965).
11. А.А. Бедняков, А.Н. Бояркина, И.А. Савенко, А.Ф. Тулинов. ЖЭТФ, 42, 740 (1962).
12. R.V. Schwartz, H.D. Holmgren, L.M. Cameron, A.R. Knudson. Phys. Rev., 134, B577 (1964).
13. G.U. Din. Nucl.Phys., A134, 655 (1969).
14. А.И. Базь, В.И. Манько. Ядерная физика, 10, 78 (1969).

15. G. Bergdolt, G. Guillame, J. Physique, 30, 145 (1969).

16. J.L. Wiza, R. Middleton, Phys.Rev., 143, 676 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 сентября 1970 года.

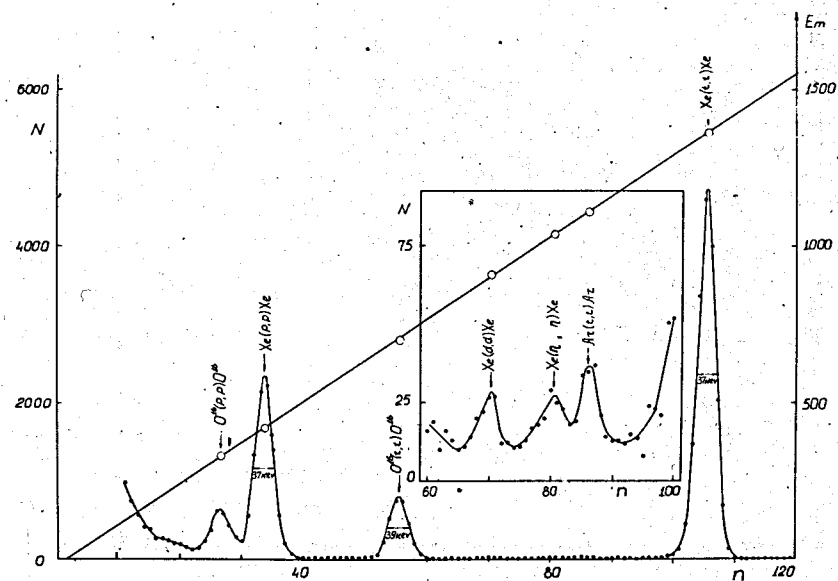


Рис. 1. Спектр частиц, рассеянных на газовой мишени.  $E_T = 1572$  кэв,  $\Theta = 144^\circ$ . Мишень -  $^{16}\text{O} + \text{Xe}$ . На осях:  $N$  - число отсчётов на канал,  $E_m$  - энергия частиц в килоэлектрон-вольтах,  $n$  - номера каналов анализатора.

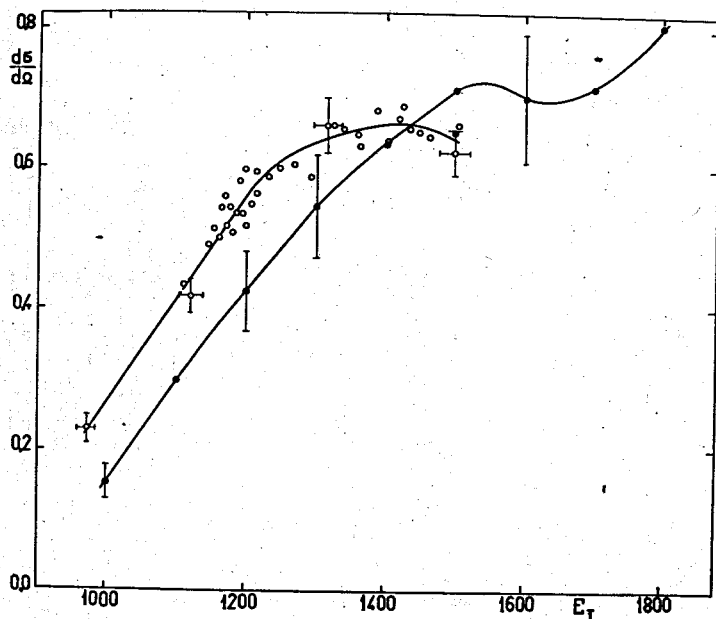


Рис. 2. Дифференциальные сечения реакции  $^{14}\text{N}(t, \alpha_0) ^{13}\text{C}$  под углом  $90^\circ$  л.с. На осях:  $E_T$  - энергия тритонов в килоэлектрон-вольтах,  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  - сечения в миллибарнах на стерадиан,  $\odot$  - данные настоящей работы,  $\bullet$  - данные работы [12].

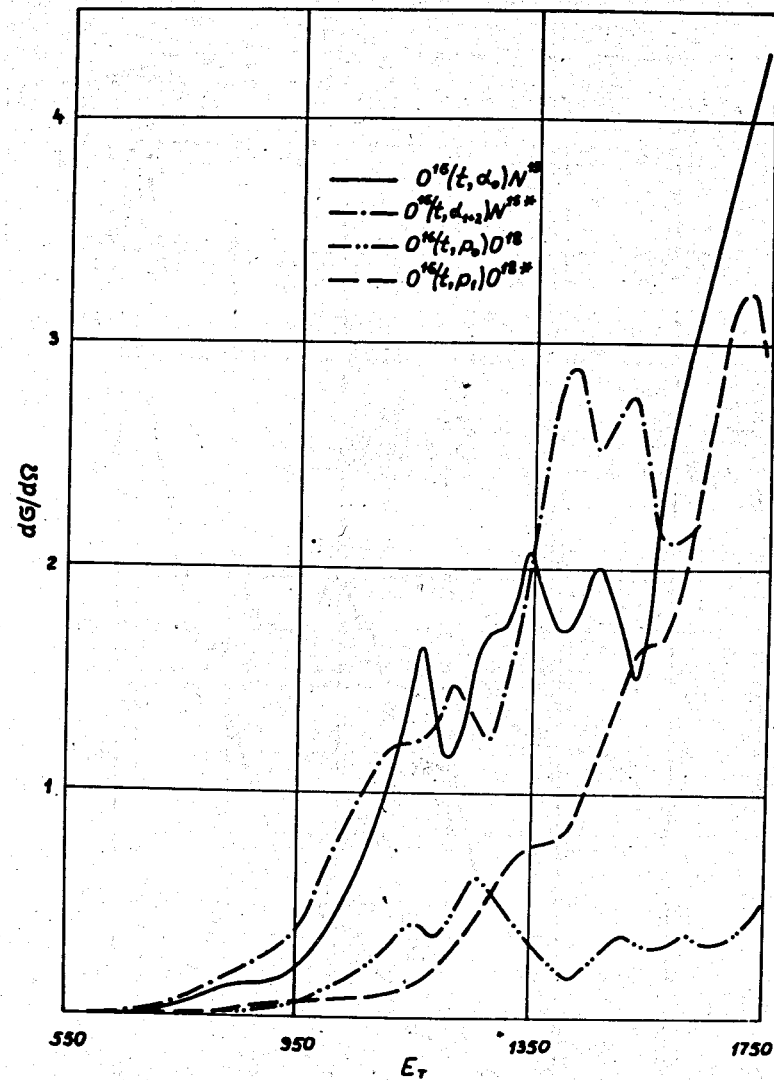


Рис. 3. Дифференциальные сечения реакции  $^{16}\text{O} + \text{T}$  под углом  $90^\circ$  л.с. На осях:  $E_T$  - энергия тритонов в килоэлектрон-вольтах,  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  - сечения в миллибарнах на стерадиан.

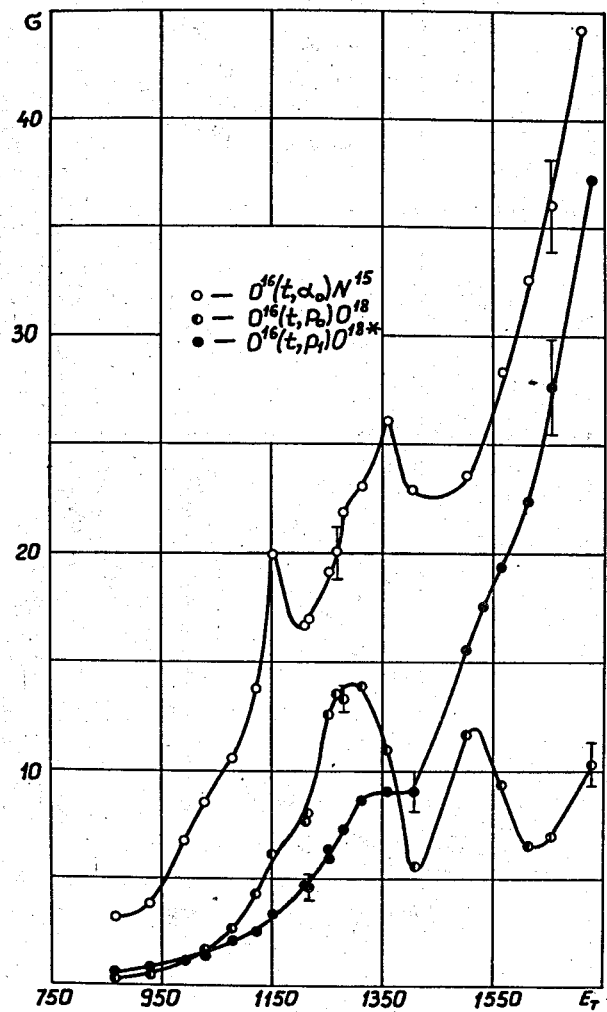


Рис. 4. Полные сечения реакций (в мбн.). Энергия тритонов в килоэлектрон-вольтах.

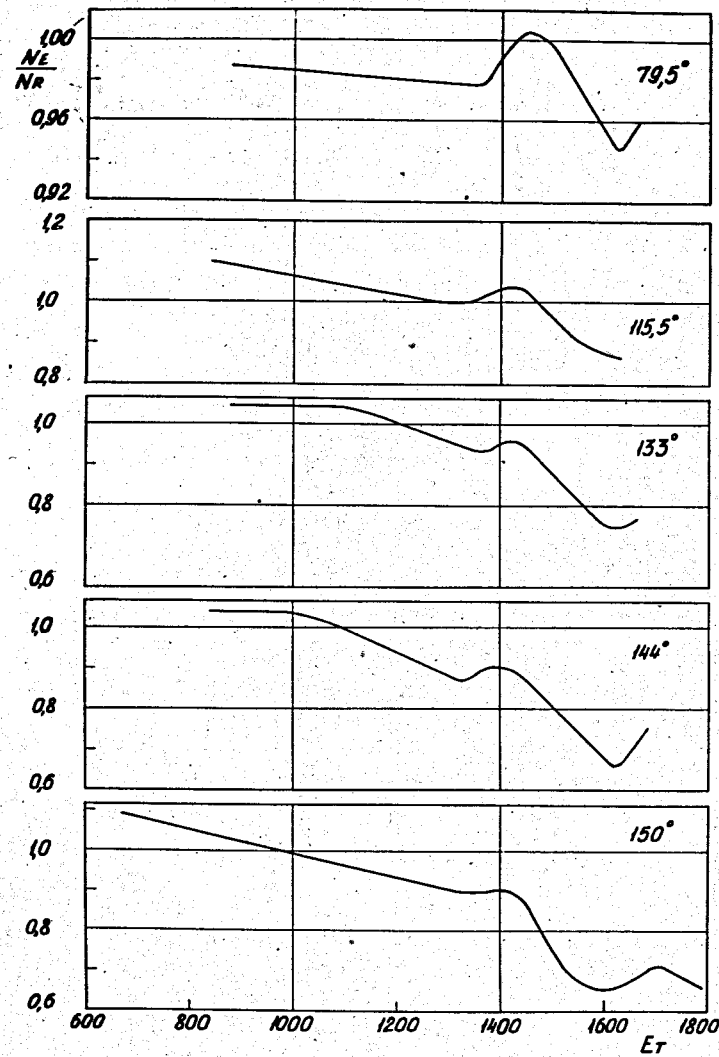


Рис. 5. Сравнение упругого рассеяния тритонов на кислороде, полученного экспериментально, с резерфордским. На осях:  $E_T$  - энергия тритонов в килоэлектрон-вольтах,  $\frac{\sigma_E}{\sigma_R}$  - отношение экспериментальных сечений к резерфордским.

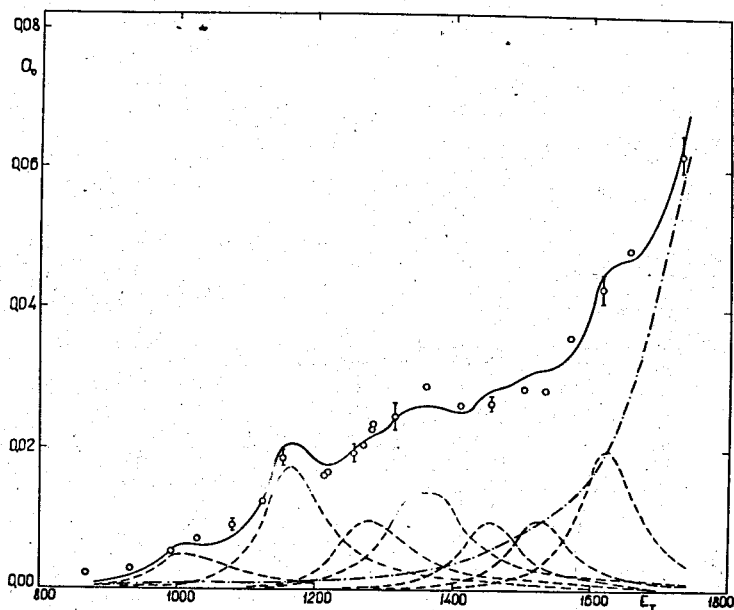


Рис. 6. Подгонка коэффициента  $a_0$ , полученного при разложении угловых распределений реакции  $^{16}\text{O}(t, \alpha)^{15}\text{N}$  по полиномам Лежандра, с помощью суммы отдельных резонансов.