

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУ1.2Г

28/a-77

Б-902

13 - 10216

747/2-77

А.П.Бугорский, В.А.Карнаухов, А.Ф.Новгородов,
Ю.В.Норсеев, С.М.Поликанов, В.И.Райко, В.М.Сидоров

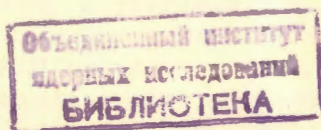
ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПОПЫТКЕ
ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХПЛОТНЫХ ЯДЕР

1976

13 - 10216

А.П.Бугорский,* В.А.Карнаухов, А.Ф.Новгородов,
Ю.В.Норсеев, С.М.Поликанов, В.И.Райко, В.М.Сидоров

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПОПЫТКЕ
ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХПЛОТНЫХ ЯДЕР



* ИФВЭ, Серпухов.

Бугорский А.П. и др.

13 - 10216

Об экспериментальной попытке получения сверхплотных ядер

Обсуждается возможность применения масс-сепаратора в экспериментах по поиску сверхплотных ядер, которые могут образовываться в результате взаимодействия релятивистских частиц с ядрами. Вольфрамовая мишень облучалась протонами с энергией 60 ГэВ потоком $\sim 4 \cdot 10^{15}$ и через ~ 11 часов помещалась в высокотемпературный ионный источник с поверхностной ионизацией масс-сепаратора. В фокальной плоскости масс-сепаратора были собраны продукты фрагментации вольфрама в диапазоне массовых чисел от 6 до 47. Сборники затем экспонировались между слоями фотоэмульсии. Сделана попытка обнаружить протоны, возникающие при распаде изомеров плотности.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Введение

В последнее время широко обсуждается вопрос о возможности существования состояний ядер с повышенной плотностью. Впервые идея о возможности таких состояний была высказана Е.Файнбергом и Х.Примаковым тридцать лет назад^{1/}. Недавно Т.Ли и Д.Вик предложили специфическую модель для их описания^{2/}. Ранее А.Мигдалом развита теория пионной конденсации, в которой при определенном наборе параметров предсказывается существование сверхплотных состояний ядерной материи^{3/}. Анализ различных теоретических подходов, приводящих к появлению состояний с аномальной плотностью, дан в докладе Д.Брауна^{4/}. В настоящее время состояние теории таково, что она не претендует на определенное предсказание свойств состояний с повышенной плотностью. Так, при изменении параметров расчета в разумных пределах энергия связи на нуклон меняется значительно, становясь как больше, так и меньше таковой для нормального состояния^{5/}. Весьма неопределенны результаты и для критической плотности. Это следует учитывать при постановке экспериментов.

Количество экспериментальных работ по поиску сверхплотных ядерных состояний пока заметно отстает от числа теоретических. В работе Р.Хольта и др.^{6/} искался стабильный радон с энергией связи на нуклон порядка сотни МэВ по реакции радиационного захвата нейтронов, сопровождающейся аномально большим энерговыделением. В этих экспериментах для приготовления образца, содержащего гипотетический сверхплот-

ный радон, было переработано 150 000 тонн воздуха. В работе С.Френкеля и др.^{/8/} для анализа образцов на примесь сверхплотных ядер с большой энергией связи использовалось рассеяние назад протонов с энергией 600 и 800 МэВ. Были исследованы естественные образцы и мишени из золота и платины, облучавшиеся длительное время протонами с энергией 300 и 3 ГэВ соответственно. В экспериментах П.Прайса и Д.Стивенсона сверхплотные ядра искались в продуктах взаимодействия релятивистских ионов аргона со свинцом^{/9/}. Использовался метод прямой регистрации следов сверхплотных фрагментов с помощью трековых твердотельных детекторов. В.И.Алешин и др.^{/10/} исходя из предположения, что нормальное состояние может быть метастабильным относительно перехода в сверхплотное, провели поиск соответствующих переходов по γ -излучению с энергией более 3 МэВ. Исследовались следующие элементы: С, F, Na, J, W. Результаты всех этих экспериментов - отрицательные. Однако нет оснований считать, что это является доказательством неправильности предположения о возможности существования аномального состояния ядерной материи.

Представляется весьма перспективным использовать метод масс-сепаратора как один из способов выделения сверхплотных ядер из смеси продуктов соответствующих ядерных реакций и их идентификации. Если энергия связи на нуклон в аномальном состоянии отличается на величину $\Delta\epsilon$ от таковой для нормального состояния, то это для данного числа нуклонов A приведет к отличию в массах, равному $\Delta M = A \cdot \Delta\epsilon$. Если для оценки относительно легко детектируемого различия в массах взять величину $\Delta M \geq 0,2$ атомной единицы массы, то для $A = 50$ это соответствует $\Delta\epsilon \geq 3,7$ МэВ. На рис. 1 приведены расчетные кривые для ϵ из работы А.Б.Мигдала^{/5/} при различных значениях параметра γ , который учитывает вклад нуклонных корреляций. Штриховка выделяет две области, отвечающие, согласно этой оценке, детектируемой разнице в массах нормального и сверхплотного состояний. Кривая "а" демонстрирует случай, когда энергия связи сверхплотных ядер превышает энергию

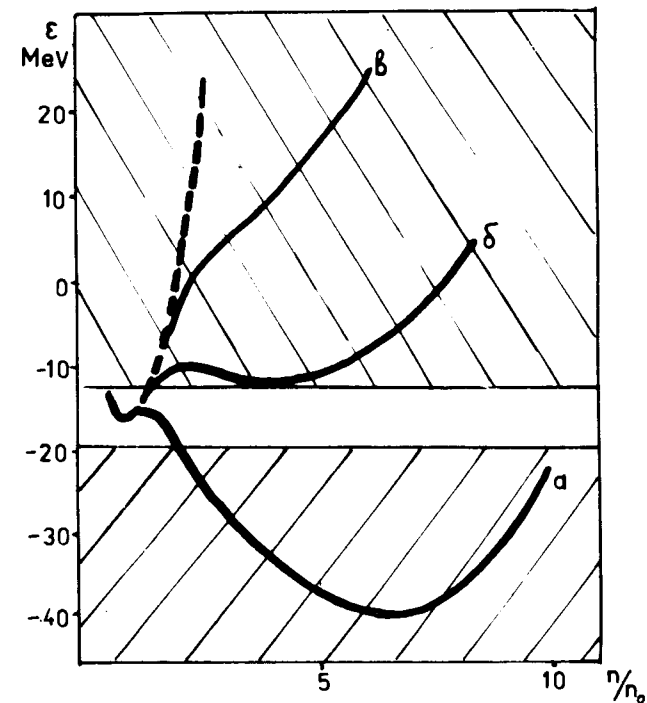


Рис. 1. Энергия связи на нуклон /из работы А.Мигдала^{/5/}/ в зависимости от плотности для различных значений параметра γ : а/ $\gamma = 0,45$; б/ $\gamma = 0,5$; в/ $\gamma = 0,55$. Штриховка выделяет две области, отвечающие детектируемой разнице в массах для сверхплотного и нормального состояний.

связи нормальных, которые являются метастабильными относительно перехода в состояние с повышенной плотностью. Переход из сверхплотного состояния в обычное невозможен, поэтому в этом случае следует ожидать существования стабильных и долгоживущих изотопов / β^+ -и β^- -активных/ сверхплотных ядер. Этот вариант теории оправдывает применение масс-сепарации "off-line". Для варианта "б" сверхплотное состояние является метастабильным относительно перехода в нормальное. Вероятность перехода определяется формой барьера между двумя состояниями и соответствующим массовым

коэффициентом. Для этого варианта также возможны долгоживущие состояния, хотя это и не обязательно в отличие от варианта "а". Если $A \cdot \Delta \epsilon$ превышает энергию связи нуклона в нормальном состоянии, то переход из сверхплотного состояния в нормальное может привести к запаздывающей эмиссии нуклонов.

В настоящей работе с помощью масс-сепарации "off-line" исследовались радиоактивные продукты взаимодействия протонов с энергией 60 ГэВ с вольфрамом на предмет обнаружения сверхплотных ядер. Проводился поиск запаздывающего излучения тяжелых заряженных частиц и бета-активных изотопов с аномальными массами.

Экспериментальная методика

Облучение проводилось на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/. Мишени были изготовлены в виде пучков вольфрамовых проволок ϕ 50 мкм. Диаметр пучка проволок - 4 мм, длина - 25 мм, вес - около 2 г. Через 10-11 часов облучения мишень помещалась во внутреннюю полость высокотемпературного ионного источника с поверхностной ионизацией масс-сепаратора ЯСНАПП Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ¹¹. Ионизатор представлял собой вольфрамовый стакан диаметром 7 мм и длиной 30 мм, со стенками толщиной ~0,5 мм. Открытый конец стакана был герметизирован конической танталовой пробкой, в доньшке стакана имелось выходное отверстие диаметром ~0,4 мм. Ионизатор нагревался электронной бомбардировкой до ~2200 °С. Радиоактивные изотопы диффундировали из тонкой проволоки мишени и после термоионизации на раскаленных внутренних стенках стакана-источника извлекались через выходное отверстие электрическим полем вытягивающего электрода /20 кВ/, ускорялись и разделялись по массам в магнитном анализаторе сепаратора. Разделенные изобары принимались на магнитофонную ферромагнитную ленту, помещенную в фокальной плоскости масс-сепаратора.

Было проведено два облучения. В первом полный поток протонов, прошедших через мишень, был равен $3 \cdot 10^{15}$, во втором - $4 \cdot 10^{15}$. При проведении масс-сепарации прибор настраивался на выделение изобар в следующих диапазонах массовых чисел: $6 \leq A \leq 8$ /расстояние между соседними массами $\Delta \approx 46$ см/, $20 \leq A \leq 27$ / $\Delta \approx 12$ см/, $31 \leq A \leq 43$ и $35 \leq A \leq 47$ / $\Delta \approx 7$ см/.

Сборники с активностью в течение нескольких десятков часов экспонировались на ядерной фотоэмульсии с целью регистрации вылета тяжелых заряженных частиц и для получения радиографической картины распределения активности на сборнике.

Результаты

При просмотре эмульсии было найдено несколько звезд с вершиной вне слоя, возможно, на сборнике, и около трехсот следов одиночных протонов, начинающихся на поверхности. Измерение фона на участках, не находившихся в контакте со сборником, показало, что величина его в пределах статистической точности совпадает с "эффектом". Это соответствует верхней границе сечения образования протонно-активных метастабильных состояний $3 \cdot 10^{-34}$ см². При оценке принято, что эффективность сепарации равна 1%, период полураспада - 30 дням, а вероятность распада метастабильного состояния с испусканием протонов - 100%. Этот эксперимент проверяет вариант теории, которому соответствует кривая "б" на рис. 1 при условии, что разность полных энергий метастабильного и нормального состояний превышает на несколько МэВ энергию связи протона в нормальном состоянии.

В качестве побочного результата измерение с фотоэмульсией дало радиографию распределения бета- и гамма-активности на сборниках. На фотоэмульсиях наблюдаются четкие пятна, отвечающие известным изотомам Na и K. Кроме того, имеются пятна, соответствующие массам, для которых нет долгоживущих изотопов у Na, K и соседних элементов, и пятна, соответствующие

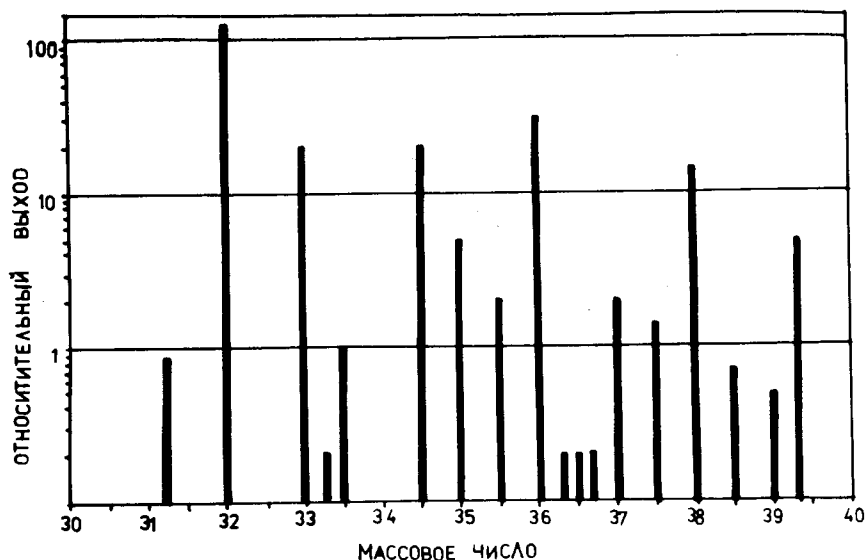


Рис. 2. Участок спектра масс, полученный после сепарирования радиоактивных продуктов взаимодействия протонов с энергией 60 ГэВ с вольфрамом.

нецелым значениям A в предположении ионного заряда, равного 1. С помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -гамма-спектрометра было найдено, что полное число ядер ^{24}Na , собранных в фокальной плоскости масс-сепаратора после первого облучения, равно $\sim 10^9$.

На рис. 2 показан участок спектра масс. Рисунок получен в результате грубой обработки радиограммы путем сравнения размеров пятен с учетом формы линии сепарированного пучка. Появление изотопов с массой, значительно отличающейся от массы известных изобар с тем же A , - эффект, который искался в настоящей работе. Однако возможно тривиальное объяснение полученного результата. Конструкция ионного источника не исключает многократную ионизацию нейтралей, выходящих из источника, электронным пучком, используемым для разогрева ионизатора. Было проведено измерение спектра гамма-лучей со сборника в диапазоне A от 30 до 40. Были найдены линии изотопов ^{67}Cu ,

^{69}Ge , ^{71}Ge (^{71}As), ^{72}Ga , ^{74}As , ^{76}As , ^{77}Ge , которые при ионном заряде +2 попадают в положения, соответствующие

к $\frac{A}{Z_{\text{ион}}}$, равным соответственно 33,5; 34,5; 35,5;

36; 37; 38; 38,5. Кроме того, найдены изотопы $^{95\text{m}}\text{Tc}$, ^{100}Pd , ^{113}Sn , которые при ионном заряде +3 попадают

в положения с $\frac{A}{Z_{\text{ион}}}$, равным соответственно 31,66;

33,33; 37,66. Эти активности, по-видимому, и объясняют появление большинства активностей с "дробными" массовыми числами.

В дальнейшем предполагается повторение этих экспериментов после усовершенствования ионного источника.

Авторы благодарны академику А.А.Логунову, профессорам В.П.Джелепову, Л.И.Лапидусу, К.Я.Громову, Л.Д.Соловьеву и В.А.Ярбе за интерес к работе и поддержку, А.И.Мухину и А.С.Вовенко за помощь при организации облучения на ускорителе, Ю.Юшкевичу, У.Шмидт, Ц.Вылову и В.Фромму за помощь в измерениях.

Литература

1. E. Feenberg, H. Primakoff. *Phys. Rev.*, 70, 980 /1946/.
2. T. D. Lee. *Rev. Mod. Phys.*, 47, 267 /1975/.
3. А. Б. Мигдал. *ЖЭТФ*, 61, 2209 /1971/.
4. А. В. Мигдал. *Phys. Lett.*, 52B, 172 /1974/.
5. А. Б. Мигдал. В "Трудах Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра", Дубна, 1976. ОИЯИ, Д-9920, т. II, Дубна, 1976.
6. G. Brown. В "Трудах Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра", Дубна, 1976. ОИЯИ, Д-9920, т. 2, Дубна, 1976.
7. R. Holt, J. Schiffer et al. *Phys. Rev. Lett.*, 36, 183 /1976/.

8. *S.Frankel et al. Phys.Rev., 13C, 737 /1976/.*
9. *P.B.Price, J.Stevenson. Phys.Rev.Lett., 34, 409 /1975/.*
10. *В.И.Алешин и др. Письма в ЖЭТФ, 24, 114 /1976/.*
11. *R.Arlt et al. Nucl.Instr. and Meth., 102, 253 /1972/;*
A.Latuszynski, V.I.Raiko. Nucl.Instr. and Meth., 125, 61 /1975/.

*Рукопись поступила в издательский отдел
10 ноября 1976 года.*