

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



C343e2

0-511

1 - 8578

31/11-75

Э.О.Оконов

1215/2-75

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
РЕАКЦИИ СТРИППИНГА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

**1975**

1 - 8578

Э.О.Оконов

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
РЕАКЦИИ СТРИППИНГА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В настоящее время достигнут большой прогресс в ускорении ядер до релятивистских энергий: до 5 ГэВ/нуклон на синхрофазотроне ОИЯИ /1/ и до 2,1 ГэВ/нуклон на бэватроне /2,3/.

Используемый способ получения пучков релятивистских ядер заключается в ускорении ядер на протонном ускорителе, выводе их из ускорителя и формировании в пучок, который затем направляется в экспериментальные установки для физических исследований. Таким способом могут быть получены релятивистские ядра /как правило, основные изотопы/, обладающие определенным отношением атомного номера ( $A$ ) и заряда ( $Z$ ). При этом получение релятивистских ядер с другим отношением  $A/Z$  требует переделки /перестройки/ систем ввода, ускорения и формирования частиц.

Получение известным способом ионов редких /дорогостоящих/ изотопов приводит к значительно большим затратам, чем получение ионов основного изотопа. Что касается получения пучков релятивистских ядер радиоактивных изотопов с периодом полураспада ( $T$ ), меньшим десятков часов, то оно оказывается неосуществимо применяемым методом. Можно, однако, получить одновременно пучки релятивистских ядер - изотопов с разным отношением  $A/Z$  /включая и радиоактивные ядра с  $T \geq > 10^{-9}$  с/, если использовать кинематические особенности реакции стриппинга /срыва/ релятивистских ядер. Для этого нужно пучок ускоренных и выведенных из ускорителя ядер основного изотопа пропустить через мишень, а образовавшиеся в результате реакции срыва изотопы с необходимым отношением  $A/Z$  выделить магнитным полем и сформировать системой магнитных линз.

При этом могут быть получены пучки ядер любых изотопов, масса и заряд которых меньше основного /ускоренного/.

Как правило, релятивистское ядро, оставшееся после срыва одного или нескольких нуклонов в результате реакции стриппинга, практически сохраняет направление движения и скорость первичного ядра. Так, средний поперечный импульс остаточного ядра углерода после срыва составляет  $P_{\perp} \approx 140 \text{ МэВ/с}^{1/4}$ , что при начальном импульсе первичного ядра  $P \approx 25 \div 60 \text{ ГэВ/с}$  приводит к изменению упомянутых характеристик на десятые доли процента.

Импульс ядра (P), оставшегося после реакции срыва, определяется его массой /т.е. его атомным номером A /  $P \approx A \cdot P_H$ , где  $P_H$  - импульс, приходящийся на нуклон в первичном ускоренном ядре.

Траектория такого остаточного ядра в поперечном магнитном поле H имеет радиус кривизны

$$R = \frac{P}{HZ} = \frac{A}{Z} \cdot \frac{P_H}{H}$$

Таким образом, ядра с различным A/Z с помощью магнитного поля разделяются пространственно и могут быть сформированы обычными методами магнитной оптики в пучки, пригодные для дальнейших исследований. В сформированных пучках ядра с определенным Z можно выделить по ионизации, с помощью соответствующих детекторов "dE/dx", например, сцинтилляционных счетчиков или пропорциональных камер. Сечение реакции срыва составляет значительную часть неупругого сечения взаимодействия релятивистских ядер\*, поэтому при

\*Доля реакции стриппинга  $\alpha$ -частиц с импульсом  $P_{\alpha} \approx 17 \text{ ГэВ/с}$  в неупругих процессах на среднем ядре эмульсии ( $A_{эф} \approx 70$ ) составляет около 30%<sup>7/8</sup>, соответствующая величина на ядре  ${}^6\text{Li}$  /по предварительным оценкам/ - свыше 70%.

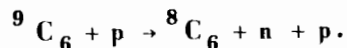
сравнительно тонких мишенях /несколько г/см<sup>2</sup> / можно получить пучки исследуемых вторичных ядер с интенсивностью примерно на 2 порядка меньшей, чем интенсивность пучка первичных /ускоренных/ ядер. Очевидно, что для этой цели необходимо использовать легкие мишени /с малым Z /, чтобы многократное кулоновское рассеяние "не портило" параметры пучка вторичных ядер. В случае, если длина каналов, формирующих пучки вторичных ядер, значительна, в этих каналах могут быть применены магнитные элементы, частично компенсирующие небольшую угловую расходимость частиц в пучке, которая возникает в результате реакции срыва и сепарации в раздаточном магните.

Получение пучков релятивистских радиоактивных ядер - продуктов реакции срыва - открывает новые экспериментальные возможности для исследования короткоживущих изотопов с использованием трековых детекторов /магнитных спектрометров/, располагаемых в этих пучках. Подобным методом можно исследовать распады ядер с постоянной распада примерно от  $10^6 \text{ с}^{-1}$  до  $10^9 \text{ с}^{-1}$ , а если реакция срыва осуществляется внутри детектора - вплоть до  $10^{10} \div 10^{11} \text{ с}^{-1}$ , при больших значениях постоянной распада  $10^{12} \div 10^{19} \text{ с}^{-1}$  /, точку возникновения радиоактивного ядра и точку его распада разделить практически нельзя. В этом случае, как отмечалось В.Глаголевым<sup>10/</sup>, для наблюдения нейтроноизбыточных ядер типа  ${}^6\text{He}$  можно с успехом использовать реакцию  ${}^7_3\text{Li} + p \rightarrow {}^6\text{He} + p + p$  и метод недостающих масс при анализе двух протонов. С другой стороны, радиоактивный распад нейтронодефицитных ядер может быть установлен по сильным корреляциям между дочерним ядром и заряженными продуктами распада. Отмеченные возможности рассматриваемого метода перекрывают существенную часть интервала вероятностей, предсказываемого для протонной и двухпротонной радиоактивности<sup>6-8/</sup>. Особенности такого экспериментального подхода являются возможность идентифицировать исследуемые ядра по ионизации (Z) и по кривизне траектории в магнитном поле (A/Z), и в то же время возможность наблюдать

всю картину распада в "4π - геометрии" \*. Последнее может оказаться весьма важным, например, при изучении корреляций по энергиям протонов - продуктов двухпротонного радиоактивного распада. С другой стороны, для последующего более детального исследования двухпротонной радиоактивности могут быть эффективно использованы управляемые трековые детекторы, триггер которых использует кинематические особенности двухпротонного радиоактивного распада моноэнергетического релятивистского ядра.

При достаточно большой интенсивности первичного пучка релятивистских ядер эффективней было бы /учитывая возможности улучшения фоновых условий/ использовать реакцию срыва, осуществляемую в несколько последовательных этапов, на каждом из которых получают и выделяются изотопы исследуемого ядра, например, со все меньшими значениями Λ.

Так, ядра изотопа  ${}^9\text{C}_6$ , полученные в результате реакции  ${}^{16}\text{O}_8 + \text{Be} \rightarrow {}^9\text{C}_6 + \dots$  /4/, можно использовать для поиска ядра  ${}^8\text{C}_6$  \*\* с помощью реакции срыва, в которой один из нейтронов ядра  ${}^9\text{C}_6$  взаимодействует с протоном мишени:



Изучение короткоживущих радиоактивных ядер с использованием ускоренных до релятивистских скоростей ионов и трековых детекторов может оказаться полезным при поиске /исследовании/ испускания очень мягкого излучения, трудно доступного для наблюдения обычно применяемыми методами. В этом случае энергия /импульс/ продуктов радиоактивного распада будут в лабораторной

\* Очевидно, при такой постановке исследований радиоактивных ядер Е-захват будет "заморожен", что, возможно, позволит изучать конкурирующие процессы.

\*\* На важность экспериментов по поиску и исследованию ядра  ${}^8\text{C}_6$  обратил мое внимание В.М.Сидоров.

системе координат значительно большими за счет релятивистских скоростей распадающихся ядер \*.

В заключение следует отметить, что продукты реакции стриппинга релятивистских ядер могут дать важную информацию о характере сопутствующего взаимодействия. Так, например, при взаимодействии релятивистских α-частиц с ядром присутствие "стриппинговых" /неразвалившихся/  ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$  означает, что произошло взаимодействие нейтрона /протона/ с малой передачей импульса. Отбор таких периферических взаимодействий и сравнение относительного числа образованных при этом  $\pi^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ -мезонов с тем, что имеет место при взаимодействии "свободных" нуклонов, позволяют получить сведения о поверхностном "слое" ядер /"нейтронная шуба"/.

С другой стороны, если среди продуктов реакции стриппинга при взаимодействии α-частиц с протоном отсутствуют заряженные частицы, это указывает на то, что во взаимодействии участвовало по крайней мере 2 нуклона налетающего ядра.

При исследованиях с использованием управляемых трековых детекторов кинематические особенности реакции стриппинга релятивистских ядер позволяют вести отбор событий по характеру взаимодействия с помощью соответствующего триггера.

Выражаю благодарность А.М.Балдину, Ю.Д.Безногих, А.И.Голохвастову, К.Я.Громову, Ю.Р.Лукстыньшу, А.Л.Любимову, М.И.Подгорецкому, В.М.Сидорову, С.А.Хорозову, В.М.Цупко-Ситникову за обсуждение затронутых здесь вопросов.

Благодарю также В.В.Глаголева, ознакомившего меня с рукописью своей статьи /10/ до ее опубликования.

\* Это замечание относится и к случаям радиоактивного распада /изомерного перехода/ с испусканием γ-квантов, если исследования ведутся с помощью, например, стримерной камеры с γ-конвертором внутри ее рабочего объема /9,11/.

## Литература

1. А.М.Балдин и др. ОИЯИ, Р9-5442, Дубна, 1970.
2. M.White et al. Science, 174, 1121 (1971).
3. H.Grunder et al. Science, 174, 1128 (1971).
4. H.Heckman, preprint LBL-2052 (1973).
5. Э.Скжипчак и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-8313, Дубна, 1974.
6. Б.С.Джеленов. Изв. АН СССР, сер.физ., 15, 498 /1951/.
7. В.И.Гольданский. ЖЭТФ, 39, 497 /1960/.
8. А.И.Базь, В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович. УФН, 72, 211 /1960/.
9. Г.Л.Варденга и др. Труды международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, стр. 362 /1970/.
10. В.В.Глаголев. Сообщение ОИЯИ, 8309, стр. 101 /1974/.
11. Э.О.Оконов. Сообщение ОИЯИ, 8309, стр. 104 /1974/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 февраля 1975 года.