

1125

ESV

18
0-36



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Ю.Ц. Оганесян, А.П. Кабаченко, А.Ф. Линев

1125

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ЦИКЛОТРОНА
МЕТОДОМ НАНОСЕКУНДНОГО АНАЛИЗА

Дубна 1962 г.

Ю.Ц. Оганесян, А.П. Кабаченко, А.Ф. Линев

1125

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ЦИКЛОТРОНА
МЕТОДОМ НАНОСЕКУНДНОГО АНАЛИЗА

1714/6 38.

Дубна 1962 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Приводятся результаты измерений энергии, фазового положения и временной структуры сгустка ионов внутреннего пучка 300 см циклотрона МЗИ ОИЯИ. Определены допуски на стабильность некоторых параметров циклотрона для стабилизации фазового положения сгустка ионов в заданных пределах.

При выборе оптимального режима ускорения, расчете системы вывода пучка, а также в ряде физических исследований необходимо знать временные характеристики потока ускоренных ионов.

Ряд методов, с помощью которых определялось временное распределение ускоренных частиц, описан в работах /1-3/.

Измерение временной структуры внутреннего пучка 300 см циклотрона ОИЯИ производилось нами с целью определить:

1. Положение импульса тока пучка относительно амплитудного значения высокочастотного ускоряющего напряжения /фазовый угол/.
2. Длительность токового импульса /область фаз ускоренных ионов/.
3. Зависимость фазы ускоренных ионов от амплитуды ускоряющего потенциала, изменения магнитного поля и радиуса ускорения.

Наряду с этими измерениями в ряде опытов исследовался энергетический спектр ионов, что представляет самостоятельный интерес для проведения физических экспериментов на внутреннем пучке.

Остановимся кратко на характере движения частиц в процессе циклотронного ускорения.

Известно, что в начале ускорения ионы, вытянутые из источника, испытывают резкое изменение фазы, приводящее к группировке частиц относительно некоторой начальной фазы ϕ_H . В дальнейшем, по мере увеличения радиуса орбиты, когда частица большую часть времени находится в экранированной полости дуантов, фазовое движение определяется радиальным распределением магнитного поля.

Если предположить, что в точке амплитудного значения ускоряющего напряжения $\phi_{вч}=0$, то изменение фазы частицы в процессе ускорения будет следующим: в области, где величина магнитного поля H больше резонансного $H_{рез.}$ будет иметь место движение в область отрицательных значений фаз $\phi \rightarrow -\frac{\pi}{2}$; наоборот, при $H < H_{рез.}$ характер движения изменится и смещение будет происходить в сторону положительных углов $\phi \rightarrow \frac{\pi}{2}$. Естественно, ускорение заканчивается при $\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq -\frac{\pi}{2}$.

С другой стороны, для заданного радиального распределения магнитного поля изменение магнитной индукции в центре приводит к изменению характера фазового движения ионов /резонансная кривая/. Это обстоятельство было использовано в работе /3/ для определения абсолютного значения фазы частиц.

Суть метода заключается в следующем.

Измеряется временной спектр ионов при постоянном значении напряжения на дуантах в максимуме тока пучка, затем плавно изменяется величина магнитного поля до тех пор, пока интенсивность частиц существенно не уменьшится. Легко понять, что при

уменьшении поля движение фазы происходит в положительную сторону; максимальное значение $\phi_{max} = \frac{\pi}{2}$ /нулевая интенсивность/. Поэтому временное положение сгустка, при интенсивности существенно меньше максимальной, соответствует $\phi = \frac{\pi}{2}$. Аналогичные рассуждения можно провести для случая увеличения магнитного поля. Точность этого метода, по-существу, определяется разрешающей способностью анализатора, которая может быть достаточно высокой.

Экспериментальные результаты

Схема эксперимента по измерению временной структуры внутреннего пучка ионов схематически представлена на рис. 1.

Ионы O_{16}^{+3} , Ne_{20}^{+4} , Ne_{22}^{+4} бомбардировали медную мишень, укрепленную на специальном пробнике. Интенсивность пучка измерялась регистратором ИСТ-1^{/4/}. Вблизи мишени располагался полупроводниковый детектор / Si + Au / для измерения энергетического спектра ионов^{/5/}. Собственное разрешение детектора, измеренное по α -линии Po_{212} / $E_{\alpha} = 8.8$ Мэв /, составляло 1%.

Для измерения фазовых характеристик пучка ускоренных ионов использовался наносекундный спектрометр, построенный по принципу время-амплитудного преобразования, с последующим анализом амплитуды многоканальным амплитудным анализатором^{/6/}. Собственное временное разрешение /на самосовпадениях/ составляло $5 \cdot 10^{-10}$ сек, минимальная ширина канала при использовании серийного стоканального анализатора АИ-100 была $2 \cdot 10^{-10}$ сек.

В связи с импульсной работой ускорителя /длительность посылки ВЧ $t_H = 1$ мсек, частота повторения 200 гц/ в электронной схеме введены необходимые блокировки.

Ввиду того, что γ -излучение является по-существу мгновенным процессом, временное распределение зарегистрированных γ -квантов должно полностью повторять временное поведение внутреннего пучка на данном радиусе.

Если интенсивность регистрации γ -квантов такова, что при попадании одного сгустка на мишень регистрируется не более одного кванта, то появление импульсов во времени относительно "центра тяжести" сгустка будет носить вероятностный характер. Порог регистрации выбирался таким образом, чтобы регистрировалось γ -излучение энергией $E_{\gamma} > 0,5$ Мэв. Это позволяло получать надежную дискриминацию от мягкого γ -излучения, обусловленного электронами в промежутке дуант-крышка камеры, которое также следует в определенной временной последовательности^{/7/} /максимум счета соответствует максимуму ВЧ потенциала/.

На рис. 2 представлена измеренная данным методом форма сгустка при облучении медной мишени Ne_{22}^{+4} с энергией 155 Мэв / $R = 120$ см/.

Расстояние между пиками распределения в точности соответствует периоду ВЧ, равному в нашем случае $2,0 \cdot 10^{-7}$ сек. / $f_0 = 5$ Мгц/.

Временной спектр γ -квантов в этой реакции, измеренный в различных точках

резонансной кривой, приведен на рис. 3. Нетрудно видеть, что при уменьшении магнитного поля наблюдается смещение максимума и сужение распределения. Интенсивность пучка в точке 1 резонансной кривой составляет $1/10$ от максимальной, поэтому фазовое положение пика соответствующего этому значению магнитного поля можно считать равным $\frac{\pi}{2}$. Таким образом достигается абсолютная калибровка фазы на временной шкале анализатора.

Следует заметить, что фаза сгустка частиц может быть определена другим методом. В работе ^{/7/} было показано, что интенсивность и спектр тормозного излучения электронов существенно зависят от амплитуды ускоряющего напряжения. Ввиду того, что спектр γ -лучей, возникающих в реакции, существенно жестче ^{/8/}, можно выбрать порог дискриминации таким образом, чтобы наряду с γ -квантами реакции частично регистрировалось мягкое γ -излучение. В этом случае временной спектр будет иметь два максимума, один из которых соответствует сгустку ионов, а другой - амплитудному значению ВЧ напряжения.

В табл. 1 приведены фазовые и энергетические характеристики пучка ускоренных ионов Ne_{20}^{+4} и O_{16}^{+3} , измеренные на различных радиусах ускорения при напряжении на дуантах $2V = 280$ Кв. Для ионов O_{16}^{+3} на радиусе $R = 130$ см измерялась зависимость фазы ионов от амплитудного значения ускоряющего напряжения в интервале $250 \text{ Кв} \leq 2V \leq 290 \text{ Кв}$. Было найдено, что $\frac{\Delta\phi}{\Delta V} = 0,35 \frac{\text{град}}{\text{Кв}}$ эти измерения были проведены с целью определения допуска на нестабильность амплитуды напряжения на дуантах для стабилизации фазы в заданных пределах.

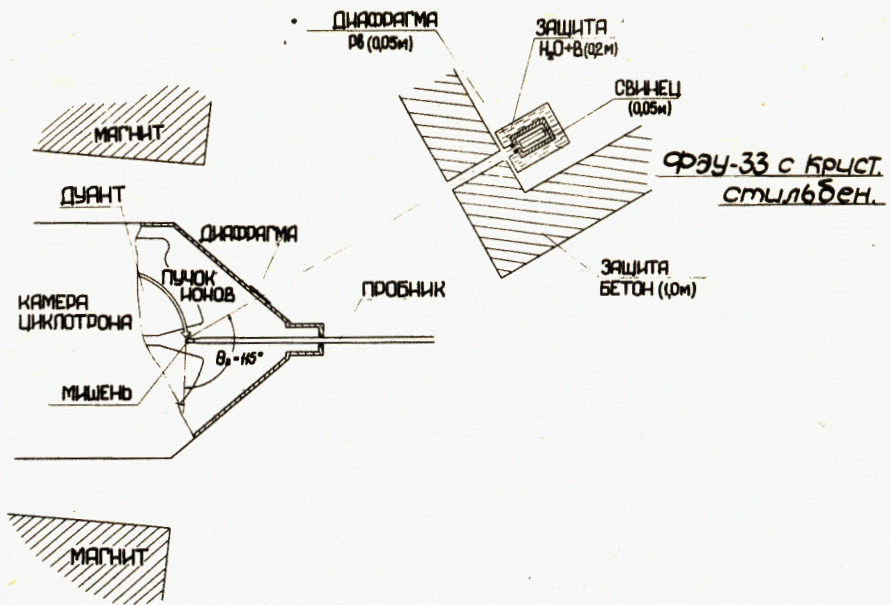
Результаты, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о том, что используемый метод измерения может быть успешно применен для исследования временных характеристик внутреннего пучка ионов.

В связи с тем, что измерения временной структуры пучка ионов получены из γ -излучения, образуемого в реакции, данный метод может быть использован лишь для энергий ионов, превышающей кулоновский барьер реакции, который в нашем случае для $Si + Ne_{20}$ составляет 47 Мэв.

Авторы благодарны Ши Шуан-уй за помощь в измерениях.

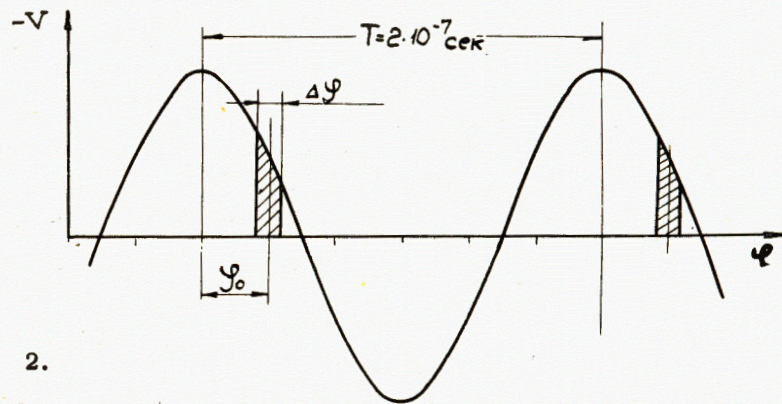
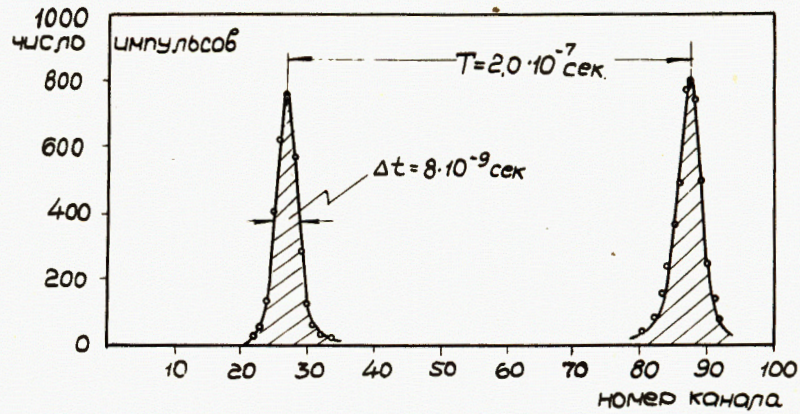
Л и т е р а т у р а

1. P. Tinta, N. Martalong et al Nucl. Instr., 12, (1961).
2. А.П. Бабичев, А.С. Князатов, Н.А. Федоров. "Ускорители" Атомиздат 114 /1960/.
3. Н.И. Веников. Атомная энергия II, 421 /1961/.
4. А.Ф. Курашов, А.Ф. Лиев. ПТЭ, 2, 71 /1957/.
5. В.В. Бредель, В.Л. Михеев, С.М. Поликанов. ПТЭ 6, 44 /1961/.
6. А.Ф. Лиев. Препринт ОИЯИ Р-722. Дубна /1961/.
7. А.Ф. Лиев, Г. Индреаш, Ю.В. Лобанов, Б.Н. Марков, Ю.Ц. Оганесян. Препринт ОИЯИ Р-873, Дубна /1962/.
8. Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов, Б.Н. Марков, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-803, Дубна 1961 г.



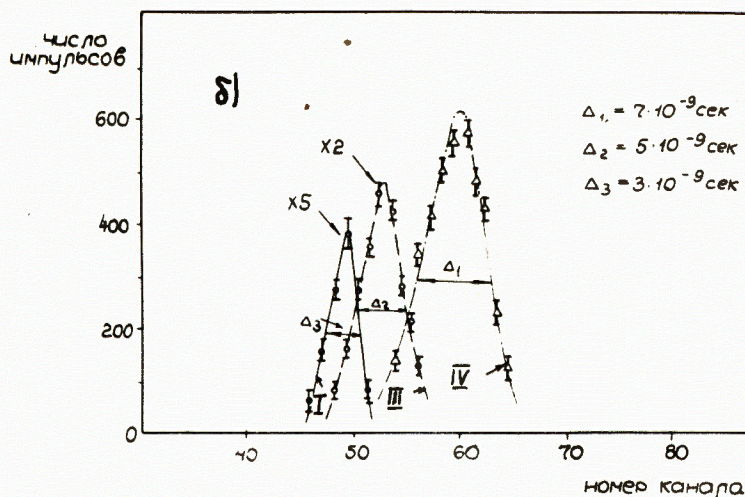
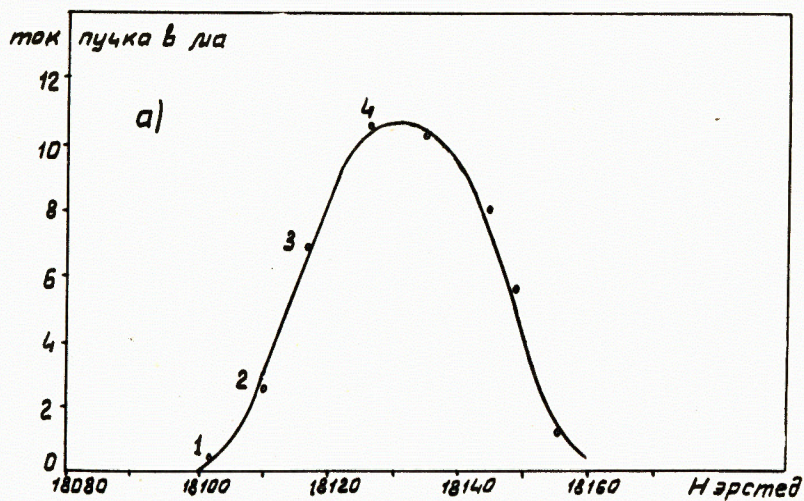
Р и с. 1.

Расположение сцинтилляционного счетчика с защитой у циклотрона.



Р и с. 2.

Временной спектр сгустка ионов Ne_{22}^{+4} на радиусе 120 см.



Р и с. 3.

Фазовое движение сгустка ионов Ne^{+4} на радиусе 120 см в зависимости от величины магнитного поля: а/Резонансная кривая; б/ Фазовое движение сгустка; 1,3, 4 положение сгустка при величине магнитного поля в т. 1, 3, 4 резонансной кривой.

Ускоря- емый ион	Радиус ускоре- ния в см	E МэВ	$\frac{\Delta E}{E} \%$	φ_0 в градусах	$\Delta \varphi$ в градусах
Ne^{+4}	110	124,5	4,2	$50 \pm 3,5$	25 ± 2
	120	139	3	$54 \pm 3,5$	21 ± 2
	125	142,5	2,5	$60 \pm 3,5$	18 ± 2
	130	147,5	1,9	$68 \pm 3,5$	14 ± 2
O_{16}^{+3}	125	113,2	2	$61 \pm 3,5$	30 ± 2
	130	114,8	1,8	—	16 ± 2

Т а б л и ц а 1

Фазовые и энергетические характеристики пучка ускоренных ионов Ne_{20}^{+4} , O_{16}^{+3} для некоторых радиусов ускорения.