

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В КАНАЛЕ НА 30 МэВ УСКОРИТЕЛЯ ЛУЭ-300

*В.М. Хвастунов, В.В. Деняк, В.И. Касилов*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,  
Харьков, Украина*

*E-mail: khvastunov@kipt.kharkov.ua*

Рассчитана система параллельного переноса пучка электронов в канале на 30 МэВ ускорителя ЛУЭ-300. Добавление в канале одного магнита позволит иметь на экспериментальной мишени пучок электронов с энергетическим разбросом 1%, меньшим фоном и получить надежные данные об асимметрии углового распределения легких и тяжелых осколков при фотоделении ядер и о соотношении фото- и электропроцессов.

Создание бесфоновых пучков электронов с малым энергетическим разбросом, используемых для проведения экспериментальных исследований по фото- и электродезинтеграции ядер в области энергий возбуждения гигантских резонансов и особенно в припороговой области реакций, является довольно трудной задачей.

Известно, что взаимодействие фотонов и электронов с ядрами имеет общие закономерности. Однако имеются важные отличия, которые проявляются в том, что когда фотон поглощается ядром, переданный импульс совпадает с направлением провзаимодействовавшего фотона, в то время, как в передаче энергии ядру при рассеянии электронов возникает распределение переданных импульсов и взаимодействие электрона с ядром происходит через спектр виртуальных фотонов [1-3].

Основная сложность изучения фото- и электро-ядерных реакций заключается в том, что спектр тормозных и виртуальных фотонов является непрерывным, поэтому в экспериментально измеряемый выход продуктов реакции вносят вклад процессы, происходящие во всем диапазоне энергий – от порога до верхней границы спектра. При использовании тормозного  $\gamma$ -излучения для исследований спектр  $N(E_e, E_\gamma)$  может быть измерен экспериментально. Этот спектр определяется условиями формирования фотонного пучка и не зависит от исследуемого ядра. Спектр же виртуальных фотонов определяется свойствами ядра мишени и характером исследуемой реакции. Поэтому анализ результатов по электродезинтеграции, которые являются более информативными, чем данные по фотодезинтеграции, оказывается значительно более сложным. Следует отметить также, что в спектре виртуальных фотонов присутствуют как поперечные, так и продольные фотоны, и спектр виртуальных фотонов зависит от их мультипольности. Последнее обстоятельство позволяет по соотношению фото- и электропроцессов определить мультипольность  $\gamma$ -квантов, которые вызывают эти процессы [4-6].

Вместе с тем следует отметить, что сечение реакции под действием электронов примерно на два порядка меньше, чем фотоядерных реакций. Поэтому к электронному пучку предъявляются более высокие требования в отношении различных фонов, главным образом, от  $\gamma$ -квантов и нейтронов, а также к энергетическому разбросу. Особенно это важно

для проведения экспериментов по определению вклада нечетных гармоник в угловое распределение осколков фотоделения тяжелых ядер. Поскольку этот эффект можно наблюдать в припороговой области энергий и измерения необходимо проводить с шагом по энергии не более 0,2 МэВ, то для этого спектр фотонов должен иметь достаточно крутой спад со стороны высоких энергий. Эти требования могут быть реализованы при энергетическом разбросе пучка электронов меньше 1%.

Асимметрия в угловом распределении легких и тяжелых осколков является источником информации о прямом делении ядер, идущем без промежуточной стадии компаунд-ядра (или, по крайней мере, для установки ограничений на амплитуды прямых процессов), и о статических свойствах компаунд-состояний. Исследование асимметрии необходимо для дальнейшего изучения свойств делительных каналов и определения вклада нечетных гармоник [7], которые входят в выражение для описания углового распределения осколков деления с учетом вклада интерференции амплитуд деления из компаунд-состояний разной четности. Для наблюдения вклада нечетных гармоник необходимо различать легкие и тяжелые осколки. Это следует из самого определения нечетной гармоники [7].

Эксперименты по определению вклада нечетных гармоник и получению отношения фото- и электропроцессов планируются выполнить в канале на 30 МэВ ускорителя ЛУЭ-300 [8]. В настоящее время на ускорителе получают пучок электронов с большим разбросом по энергии, чем необходимо для выполнения этих экспериментов. Получить пучок электронов с необходимым разбросом по энергии можно с помощью создания системы параллельного переноса (ПП) при соответствующем выборе размера монохроматора.

Предлагаемая схема ПП показана на Рис.1. Часть этого ПП от ускорителя до выходного окна (на Рис.1 обозначено буквой О) в настоящее время уже существует. Для создания ПП необходимо установить магнит М2 и изготовить вакуумную камеру от выходного окна О до мишени М.

С помощью программы TRANSPORT [9] проведен расчет системы ПП пучка электронов в канале на 30 МэВ ускорителя ЛУЭ-300. Система состоит из двух одинаковых магнитов. В качестве образца вы-

бран магнит, который существует в этом канале и является секторным магнитом с однородным полем и углом поворота  $35^\circ$ . В предлагаемой схеме ПП второй магнит расположен на расстоянии 0,3 м от выходного окна существующей части канала.

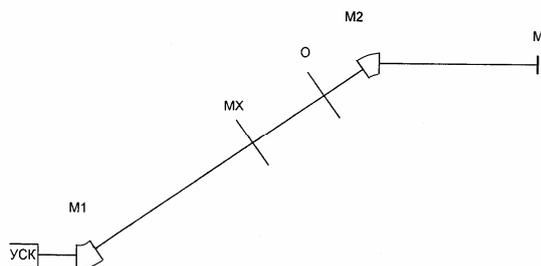


Рис.1. Схема параллельного переноса в канале на 30 МэВ ЛУЭ-300:

УСК – линейный ускоритель электронов;  
 M1 – первый поворотный магнит; MX – монохроматор; O – выходное окно существующей части параллельного переноса; M2 – второй поворотный магнит; M – экспериментальная мишень

Параметры пучка определяются по отношению к центральной траектории, и на всем пути, от ускорителя до экспериментальной мишени, используются следующие обозначения:

$x$  (см) – половина размера пучка вдоль оси  $x$ , которая перпендикулярна оси движения пучка и лежит в медианной (горизонтальной) плоскости магнита;

$y$  (см) – половина размера пучка вдоль оси  $y$ , которая перпендикулярна медианной плоскости магнита;

$\theta$  (мрад) – половина угла расходимости пучка в горизонтальной плоскости;

$\varphi$  (мрад) – половина угла расходимости пучка в вертикальной плоскости;

$\delta$  – половина разброса пучка по импульсу в процентах  $\Delta p/p$ , где  $p$  (ГэВ/с) – импульс частицы, идущей по центральной траектории.

Каждый из этих пяти параметров вводится как положительная величина, но это должно быть понято как  $\pm x$ ,  $\pm \theta$ , и т.д., следовательно, полная ширина пучка –  $2x$ , полное горизонтальное расхождение пучка –  $2\theta$ , и так далее. Для параметров пучка используются обозначения, которые приняты в программе TRANSPORT.

В результате расчета получены следующие характеристики системы:

1. Для определения собственного разрешения системы проведен расчет со следующими параметрами

На входе системы			На монохроматоре			На выходном окне			На экспериментальной мишени		
$x=y$ , см	$\theta=\varphi$ , мрад	$\delta$ , %	$R_p$ , см/%	$2x$ , см	$h$ , %	$R_p$ , см/%	$2x$ , см	$h$ , %	$R_p$ , см/%	$2x$ , см	$h$ , %
0	1,5	0	0,77	0,32	0,42	1,08	0,4	0,37	0,58	0,034	0,059
0,25	–	0	–	0,47	0,61	–	0,8	0,74	–	0,3	0,51
–	–	0,55	–	0,97	1,26	–	1,44	1,33	–	0,71	1,21
–	–	0,46	–	0,85	1,1	–	1,28	1,19	–	0,62	1,06

На Рис.2 показаны размеры пучка  $x$  и  $y$  вдоль всей системы ПП для параметров пучка на входе системы  $x = y = 0$ ,  $\theta = \varphi = 1,5$  мрад и  $\delta = 0$ . Вдоль оси  $x$  пучок достигает максимального размера  $x = 0,225$  см на входе второго поворотного магнита и затем уменьшается до  $x = 0,017$  см на мишени. Размер пучка

рамы пучка на входе в систему: размером  $x=y=0$  с одинаковой угловой расходимостью в обеих взаимно перпендикулярных плоскостях  $\theta=\varphi=1,5$  мрад и с разбросом по импульсу  $\delta=0\%$ . В этом случае размер пучка на монохроматоре в плоскости поворота составляет  $2x=0,32$  см, а дисперсия по импульсу –  $R_p=0,77$  см/%. Тогда собственное разрешение системы в этом месте  $h=0,42\%$ .

При размере пучка на входе в систему  $2x=0,5$  см размер пучка на монохроматоре составляет  $2x=0,47$  см и разрешение системы получается  $h=0,61\%$ . В настоящее время монохроматор в канале на 30 МэВ имеет щель шириной 1 см. Через эту щель пройдет весь пучок с  $x=y=0,25$  см,  $\theta=\varphi=1,5$  мрад и  $2\delta=1,1\%$ . Так как в настоящее время на ускорителе пучок получают с большим разбросом по импульсу, чем  $2\delta=1,1\%$ , то остальная часть тока пучка будет задерживаться в районе монохроматора.

2. На выходном окне существующей системы (расстояние от M1 1,75 м)  $R_p=1,086$  см/%. Для пучка с  $x=0,25$  см,  $\theta=\varphi=1,5$  мрад и  $2\delta=1,1\%$  расчет дает размер пучка  $2x=1,44$  см. Если монохроматор размером 1 см установить в этом месте, то он будет пропускать пучок с разбросом по импульсу  $2\delta=0,92\%$ . Такой разброс пучка по импульсу является удовлетворительным для проведения планируемого эксперимента по определению вклада нечетных гармоник в угловое распределение осколков фотоделения тяжелых ядер.

3. Экспериментальная мишень находится на расстоянии 1 м от выходного среза второго поворотного магнита. Длина центральной траектории частицы в системе ПП от ускорителя до экспериментальной мишени составляет  $l=3,857$  м. На мишени дисперсия по импульсу имеет значение  $R_p=0,58$  см/%. Для нулевого размера пучка на входе в систему при  $\delta=0$  размер пучка на мишени в плоскости поворота  $2x=0,034$  см. Такие параметры дают разрешение  $h=0,059\%$ . При размере пучка на входе в систему  $2x=0,5$  см и  $\delta=0$  размер пучка составляет  $2x=0,30$  см и энергетическое разрешение на мишени  $h=0,51\%$ . Учет разброса пучка по импульсу в  $2\delta=1,1\%$  приводит к увеличению размера пучка до  $2x=0,71$  см. Это соответствует разрешению  $h=1,21\%$ .

Основные параметры пучка электронов на входе системы ПП, на монохроматоре и на экспериментальной мишени приведены в таблице.

вдоль оси  $y$  постоянно увеличивается и имеет максимальный размер  $y=0,58$  см на мишени.

На Рис.3 показаны размеры пучка  $x$  вдоль всей системы ПП для параметров пучка на входе системы  $x=y=0,25$  см,  $\theta=\varphi=1,5$  мрад при трех значениях  $\delta=0$ ,  $\delta=0,46\%$  и  $\delta=0,55\%$ .

Как видно из таблицы и Рис.3, основной вклад в размеры пучка по оси  $x$  дают энергетический разброс и размеры  $x$  на входе системы.

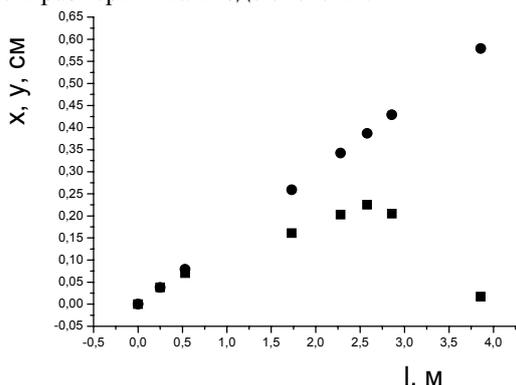


Рис.2. Изменение размеров пучка  $x$  и  $y$  в системе ПП при начальных параметрах пучка  $x=y=0$ ,  $\theta=\varphi=1,5$  мрад,  $\delta=0$ . ■ –  $x$ , ● –  $y$

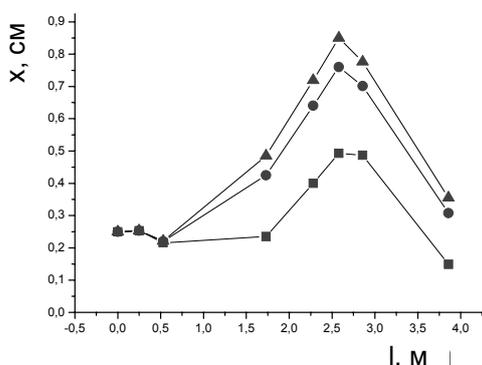


Рис.3. Изменение размеров пучка  $x$  в системе ПП при начальных параметрах пучка  $x=y=0,25$  см,  $\theta=\varphi=1,5$  мрад. ■ –  $x$  при  $\delta=0$ ; ● –  $x$  при  $\delta=0,46\%$ , ▲ –  $x$  при  $\delta=0,55\%$

При улучшении параметров пучка ускорителя уменьшение энергетического разброса и размера  $x$  пучка на входе системы приведет к уменьшению размеров пучка на мишени, что, в свою очередь, позволит приблизиться в эксперименте к собственному энергетическому разрешению системы  $6 \times 10^{-4}$ . Изменение разброса пучка по импульсу  $\delta$  не оказывает заметного влияния на размеры пучка вдоль оси  $y$  и он остается такой же, как показано на Рис.2, и его максимальный размер существенно меньше зазора в магните с учетом размеров вакуумной камеры. Размеры пучка вдоль оси  $x$  увеличиваются с

увеличением  $\delta$ , и максимальной величины они достигают на входе второго поворотного магнита. Так для  $\delta=0,55\%$  в этом месте величина  $2x=1,7$  см, что много меньше ширины полюса магнита. Из этого следует, что пучок электронов при прохождении системы ПП с таким разбросом по импульсу будет создавать минимальный фон для регистрирующей аппаратуры при проведении экспериментов.

Таким образом, создание параллельного переноса в канале на 30 МэВ ускорителя ЛУЭ-300 даст возможность иметь на экспериментальной мишени пучок электронов с разбросом по импульсу 1% и малым фоном, что позволит получить надежные данные об асимметрии углового распределения легких и тяжелых осколков при фотоделении ядер и об соотношении фото- и электропроцессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. F.F. Weizsaker // *Zeits. Phys.* 1934, В.88, с.612.
2. E.J. Williams. Nature of the High Energy Particle of Penetrating Radiation and Status of Ionization and Radiation Formulae // *Phys. Rev.* 1934, v.45, с.729.
3. R.H. Dalitz and D.R. Yennie. Pion Production in Electron-Proton Collision // *Phys. Rev.* 1957, v.105, с.1598.
4. Ю.Н. Ранюк, П.В. Сорокин // *Ядерная физика.* 1967, т.5, №3, с.531.
5. В.И. Нога, Ю.Н. Ранюк, П.В. Сорокин. Сечение реакции  $C^{12} \rightarrow C^{11}$ ,  $Cu^{63} \rightarrow Cu^{62}$ ;  $Al^{27} \rightarrow Na^{24}$ ;  $Si^{28} \rightarrow Na^{24}$ ;  $P^{31} \rightarrow Na^{24}$ ;  $Cu^{63} \rightarrow Co^{59}$  под действием  $\gamma$ -квантов и электронов с энергией до 260 МэВ // *УФЖ.* 1968, т.13, №12, с.2003.
6. В.И. Касилов, Ю.Н. Ранюк, П.В. Сорокин // *Ядерная физика.* 1970, т.11, с.1324.
7. В.В. Фламбаум. Нечетные гармоники в угловом распределении осколков деления // *Ядерная физика.* 1985, т.42, с.578.
8. И.А. Гришаев и др. Система формирования и параметры пучков в каналах вывода линейного ускорителя электронов на энергию 360 МэВ // *Атомная энергия.* 1970, 29, №2, с.138.
9. K.L. Brown, F. Rothacker, D.C. Carey, Ch. Iselin. *TRANSPORT. A computer program for designing charged particle beam transport systems:* Preprint CERN 80-04, Geneva, 1980, p.251.

Статья поступила в редакцию 31.03.2010 г.

## CALCULATION OF THE PARALLEL TRANSPORT SYSTEM FOR AN ELECTRON BEAM AT THE 30 MeV CHANNEL OF THE ACCELERATOR LUE-300

V.M. Khvastunov, V.V. Denyak, V.I. Kasilov

The parallel transport system of electron beam has been calculated for 30 MeV channel of LUE-300 accelerator. One additional magnet in the channel will allow to have an electron beam with 1% energy spread on an experimental target and to obtain reliable information about the asymmetry of angular distribution of light and heavy fragments in nuclear photofission and about relationship between photo- and electro-processes.

## РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСУ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ В КАНАЛІ НА 30 МеВ ПРИСКОРЮВАЧА ЛПЕ-300

В.М. Хвастунов, В.В. Деняк, В.І. Касилов

Розрахована система параллельного переносу пучка електронів в каналі на 30 МеВ прискорювача ЛПЕ-300. Додавання в каналі одного магніту дозволить мати на експериментальній мішені пучок електронів з енергетичним розкидом 1%, меншим фоном і одержувати надійні дані про асиметрію кутового розподілу легких і важких уламків при фотоподілу ядер і про співвідношення фото- і електропроцесів.