

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР ПУЧКОВ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

ГАЙСАК И.И., ГОРНОВ М.Г.\*, ГУРОВ Ю.Б.\*, МЕРЗЛЯКОВ С.И., ОГАНЕСЯН К.О.,  
ОСИПЕНКО Б.П., ПАСЮК Е.А., ПОРОХОВОЙ С.Ю., РУДЕНКО А.И.,  
ХОМУТОВ А.А\*., ШИШКОВ А.В.\*

Описано устройство для измерения импульсного распределения пучка положительных пионов низких энергий. Спектр определяется посредством измерения энергий сопутствующих тяжелых заряженных частиц ( $p$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $\alpha$ ) в тонком полупроводниковом детекторе. Точность определения среднего импульса пучка  $\leq 10^{-3}$ . Предложенная методика позволяет оперативно контролировать и корректировать параметры пионного пучка в ходе эксперимента на ускорителе.

В последние годы развитие физики частиц промежуточных энергий (до 1 ГэВ) предъявляет все более жесткие требования к точности эксперимента. В частности, в связи с проблемой поиска узких дибарионных резонансов актуальны измерения энергетических зависимостей дифференциальных и полных сечений различных реакций. Ожидаемые в таких экспериментах небольшие отклонения от плавных зависимостей требуют высокой точности знания характеристик импульсного распределения пучка, хорошей воспроизводимости параметров при изменении энергии пучка, оптимизации режимов канала. Существуют различные способы измерения импульса частиц в пучке: время-пролетная методика, измерение пробегной кривой, черенковский метод и другие.

Каждый из этих методов имеет свои преимуще-

\* Московский инженерно-физический институт.

ства и недостатки в определенных энергетических диапазонах. В настоящей работе предлагается использовать полупроводниковый спектрометр для измерений параметров импульсного распределения низкоэнергетичных пионных пучков.

Пионные пучки получают на протонных ускорителях на внутренней или внешней мишени. Пионы, образованные в мишени, захватываются магнитным трактом и транспортируются к экспериментальным установкам. При этом одновременно с положительными пионами в канал захватываются и другие заряженные частицы: протоны, дейтроны, тритоны,  $\alpha$ -частицы. При достаточно узком импульсном захвате частиц в магнитный канал пространственное и импульсное распределения на выходе канала не зависят от сорта частицы и определяются только магнитной оптикой канала. В области импульсов  $< 300$  МаВ/с пробеги

тяжелых заряженных частиц малы, и поэтому оказывается эффективным использование тонких полупроводниковых детекторов для измерения энергетических спектров частиц по полному поглощению с высоким разрешением. Полупроводниковый пучковый телескоп из двух кремниевых поверхностно-барьерных детекторов  $\phi$  32 мм впервые был использован в экспериментах по захвату отрицательных пионов ядрами для выделения останавливающихся в мишени пионов [1].

В настоящей работе для определения импульсных распределений пионов при измерениях на канале пионов низких энергий ускорителя Ленинградского института ядерной физики АН СССР (ЛИЯФ) [2] было использовано устройство с тонким полупроводниковым детектором, который измерял энергетические характеристики сопровождающих пионы тяжелых заряженных частиц: протонов, дейтронов, тритонов,  $\alpha$ -частиц. Возможность применения тонкого полупроводникового детектора (п.п.д.) определяется малыми пробегами сопровождающих частиц. В зависимости от диапазона энергий пионов можно выбирать удобный тип сопутствующих частиц с пробегом, полностью укладываемым в п.п.д.

Разработанное нами устройство (рис. 1) представляет собой цилиндрическую камеру 1 с располагающимися внутри нее на подвижных вакуумноуплотненных штоках 2 п.п.д. 3 и  $\alpha$ -источником 4 для калибровочных измерений. Камера сочленяется с выходным фланцем вакуумпровода 5 магнитного тракта через резиновое уплотнение 6. Выходное окно камеры заглушено майларовой пленкой 7 и служит окончанием вакуумпровода. П.п.д. и  $\alpha$ -источник закреплены на штоках в оправках, которые могут поворачиваться на  $90^\circ$  при перемещении штоков. Возврат оправок в исходное состояние происходит под действием пружин. Передвигая шток, можно вводить детектор в пучок и выводить из него. Соответственно  $\alpha$ -источник подводится к п.п.д. для калибровки. На рисунке показан вариант, когда п.п.д. стоит в пучке частиц, а  $\alpha$ -источник опущен к стенке камеры.

Были использованы поверхностно-барьерные п.п.д.  $\phi$  46 мм и толщиной 750 мкм. Детектор полностью перекрывал сечение пионного пучка. Собственное энергетическое разрешение детекторов составляло  $\sim 60$  кэВ. В условиях работы на ускорителе разрешение составляло  $75 \div 80$  кэВ. Ухудшение разрешения детектора связано с высокочастотными наводками от работающего ускорителя. Для уменьшения их влияния камера была электрически изолирована от трубы вакуумпровода магнитного тракта. При определении импульса частиц

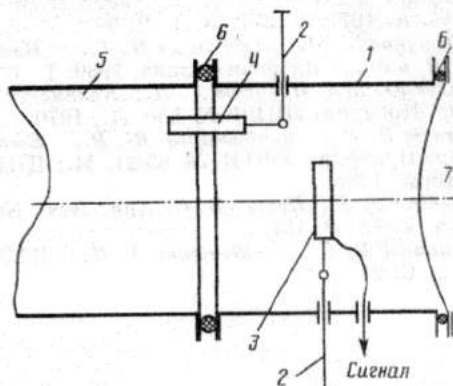


Рис. 1. Схема камеры с п.п.д.

в пучке такое разрешение позволяет достичь относительной точности  $\lesssim 10^{-3}$ .

Энергетические спектры частиц при определении характеристик пучка выводились непосредственно во время измерений на дисплей э.в.м. Время набора определялось интенсивностью частиц выбранного сорта. Пионный канал низких энергий ускорителя ЛИЯФ располагается под углом  $60^\circ$  к направлению выведенного протонного пучка, в который помещаются мишени из Ве, С, Си. Под этим углом количество генерированных в мишени тяжелых заряженных частиц вплоть до  $\alpha$ -частиц было достаточно для достижения необходимой статистической точности за время  $\lesssim 10$  мин. Толщина детектора (750 мкм) была достаточна для определения импульсных распределений пионов с импульсами  $< 135$  МэВ/с по полному поглощению протонов с импульсами  $< 230$  МэВ/с и дейтронов с импульсами  $< 290$  МэВ/с.

Пучковый полупроводниковый спектрометр был использован в совместном эксперименте ОИЯИ — МИФИ — ЛИЯФ по исследованию процессов рассеяния и поглощения пионов с энергиями  $20 \div 60$  МэВ на установке «Пион» [3]. В качестве примера на рис. 2 приведено импульсное распределение пучка в одном из режимов работы, определенное по измерениям присутствующих в пучке протонов и дейтронов со средним импульсом 103,3 МэВ/с. На рис. 3 представлено импульсное распределение для среднего импульса 253,5 МэВ, определенное по пучковым  $\alpha$ -частицам. Здесь следует отметить, что для такого импульса пучковые протоны и дейтроны проходили через п.п.д. насквозь. Номинальные значения импульсного разрешения канала определялись условиями эксперимента и конкретным выбором размеров мезообразующей мишени и ширины щели коллиматора в канале.

Главным достоинством применения полу-

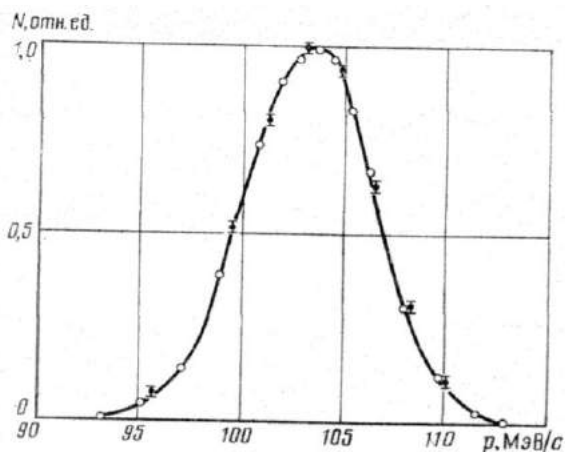


Рис. 2. Импульсные спектры: светлые точки — протонов, черные точки — дейтронов

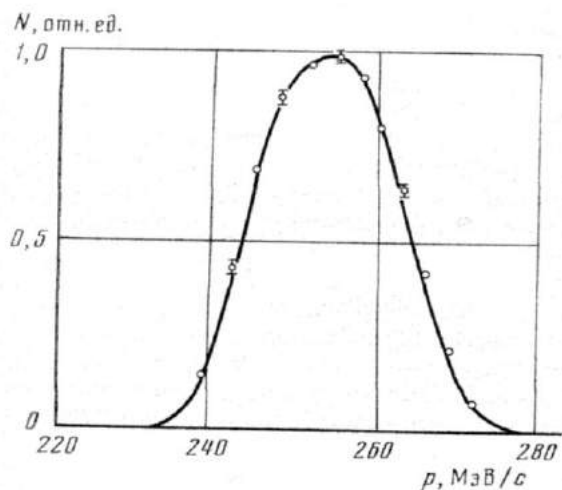


Рис. 3. Импульсный спектр  $\alpha$ -частиц

проводникового спектрометр является возможность определения и контроля с высокой точностью импульсного распределения непосредственно во время измерений. Очевидно, что другие способы измерения энергетических характеристик, такие, как время пролетный или по измерению кривой поглощения,

не могут конкурировать по разрешению с этим методом. Кроме того, полупроводниковый спектрометр позволяет эффективно корректировать характеристики пучка в случае их отклонения от номинальных, например, из-за магнитного гистерезиса в элементах канала или других причин.

Для улучшения фоновой загрузки от сквозных частиц можно варьировать толщину чувствительного слоя п.п.д., ограничивая ее величиной, соответствующей полному пробегу частиц, выбранных для определения импульсных распределений пионов. При необходимости измерений в режиме работы мезонных каналов с большими импульсами можно использовать Li-дрейфовые п.п.д. толщиной в несколько миллиметров, а также два детектора на совпадение.

Такое устройство может быть использовано и в случае измерений энергий пионов «на пролет», когда пион оставляет в телескопе часть своей энергии. В этом случае реперные пики от тяжелых частиц дают возможность независимой калибровки всего пучкового спектрометра.

Следует подчеркнуть, что описанная методика осуществлена благодаря успехам в изготовлении светосильных п.п.д. Этот факт существенно расширяет возможности применения п.п.д. в экспериментах на ускорителях.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность сотрудникам вакуумной группы ускорительного отдела ЛИЯФ за помощь при монтаже спектрометра на пионном канале синхроциклотрона ЛИЯФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gornov M. G., Gurov Yu. B., Lukin A. S. et al // Nucl. Instrum. and Methods. 1984. V. 225. P. 42.
2. Волченков В. А., Гордеев В. А., Елисеев В. А. Препринт ЛИЯФ № 612. Ленинград, 1980.
3. Акимов Ю. К., Гайсак И. И., Дорчиоман Д. и др. // ПТЭ. 1981. № 4. С. 24.