

## МАКСИМУМЫ В СКОРОСТНЫХ СПЕКТРАХ ПРОТОНОВ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЯДЕР БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ

*В.Г. Антоненко, В.М. Галицкий, Ю.И. Григорьян,  
М.С. Ипполитов, К.В. Караджев, Е.А. Кузьмин  
В.И. Манько, А.А. Оглоблин, Г.Б. Янчков,*

В работе приведены результаты экспериментов по исследованию скоростных спектров однозарядных частиц, возникающих при взаимодействии частиц высоких (3,6 ГэВ/нуклон) энергий со свинцом. Отмечена характерная особенность спектров — наличие максимума при  $\beta = 0,5$ . Результаты сравниваются с литературными данными, с которыми они находятся в хорошем согласии.

В последние годы широкое внимание привлекли явления, происходящие при ядро-ядерных столкновениях для больших (от нескольких сотен МэВ/нуклон до нескольких ГэВ/нуклон) энергий налетающих частиц. Такие столкновения характеризуются большой плотностью частиц и плотнос-

тью энергии в зоне взаимодействия. В настоящее время, это, по-видимому, единственный способ создания в ядерном веществе экстремальных условий, резко отличающихся от обычных, дающих возможность исследовать его свойства в широком диапазоне температур и давлений. Большой интерес вызывает вопрос о возможности значительного уплотнения ядерного вещества в процессе таких соударений и возникновения в нем движений коллективного типа.

Экспериментальные исследования в этой области пока находятся на начальном этапе. Самые первые работы [1], основной целью которых были поиски ядерных ударных волн, дали противоречивые результаты. Большое количество экспериментальных данных было получено в работах [1 - 4], в которых под разными углами измерялись энергетические спектры вторичных частиц, испускаемых при бомбардировке тяжелых ядер ускоренными ионами (от  $\alpha$ -частиц до ядер аргона).

Нам представлялось целесообразным исследовать скоростные спектры продуктов реакции, поскольку, по-видимому, в них прежде всего должны проявиться гидродинамические аспекты процессов создания и распада высоковозбужденного ядерного вещества, так как гидродинамические движения характеризуются направленными потоками, определяющими скорости участвующих в них частиц. Отсюда и вытекал выбор методики эксперимента — измерение времени пролета вторичных частиц и энергии, выделяемой в одном из детекторов. Такая система позволяет измерить скорость частицы, одновременно идентифицируя ее по заряду. Методика эксперимента, процедура обработки и анализ экспериментальных данных подробно будут описаны в отдельной работе. Этот метод, кроме того, давал возможность охватить более широкий диапазон энергий вылетающих частиц ( $v$  от 0,3 с до с), чем в опытах с полным поглощением ( $\Delta E - E$  — методика) [3], что особенно важно на начальном этапе работы.

В работе [5] были опубликованы результаты исследований скоростных спектров продуктов взаимодействия альфа-частиц с энергией 3,6 Гэв/нуклон со свинцовой мишенью, полученные на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. В этих спектрах, помимо максимума при  $\beta \approx 1$ , связанного с рождающимися  $\pi$ -мезонами [6], имелся четко выраженный максимум при  $\beta \approx 0,45 - 0,5$  на малых углах наблюдения ( $\sim 30^\circ$ ), который сглаживался при переходе к углу  $75^\circ$ . После этого нами были проведены эксперименты по исследованию скоростных спектров вторичных частиц испускаемых при бомбардировке свинцовой мишени протонами, дейтронами и ядрами  $C^{12}$  с такими же как и для альфа-частиц энергиями, приходящимися на один нуклон. Результаты этих исследований вместе с данными работы [5] показаны на рис. 1. Легко видеть, что если для опыта с налетающими протонами в области  $\beta$  от 0,3 до положения  $\pi$ -мезонного пика наблюдается плавно-спадающие с возрастанием  $\beta$  спектры, не имеющие особенностей, то в случае бомбардировки  $\alpha$ -частицами и ядрами  $C^{12}$  в скоростных спектрах однозарядных частиц при угле наблюдения  $30^\circ$  имеется максимум, более четко выраженный в случае облучения ионами  $C^{12}$ . Этот максимум находится при  $\beta \approx 0,5$ , причем в последнем случае он, хотя и менее четко выраженный, виден

и при угле  $75^\circ$ . Спектры полученные при бомбардировке дейтронами, представляют собой, как бы промежуточную картину между случаем с протонами и более тяжелыми налетающими частицами. С увеличением угла также уменьшается относительная доля вылетевших  $\pi$ -мезонов.

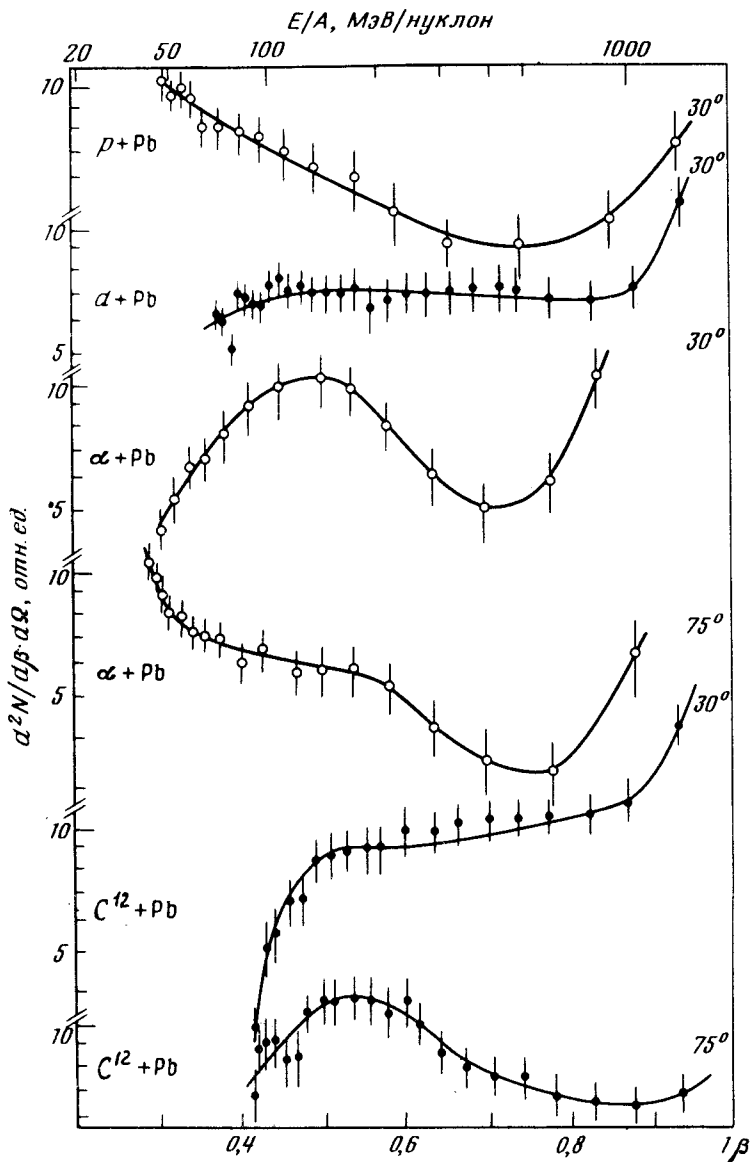


Рис.1. Скоростные спектры однозарядных частиц, испускаемых при взаимодействии  $p$ ,  $d$ ,  $\alpha$ ,  $C^{12}$  с энергией 3,6 ГэВ/нуклон со свинцовой мишенью

Удивительной особенностью полученных спектров, помимо самого факта существования максимума, является независимость (либо очень слабая зависимость) положения их, во-первых, от полной энергии, налетающей частицы, и во-вторых, от угла наблюдения.

Этот результат находится в явном противоречии с моделью фэйрбола [2], широко применяющейся в настоящее время для описания ядерных взаимодействий при больших энергиях.

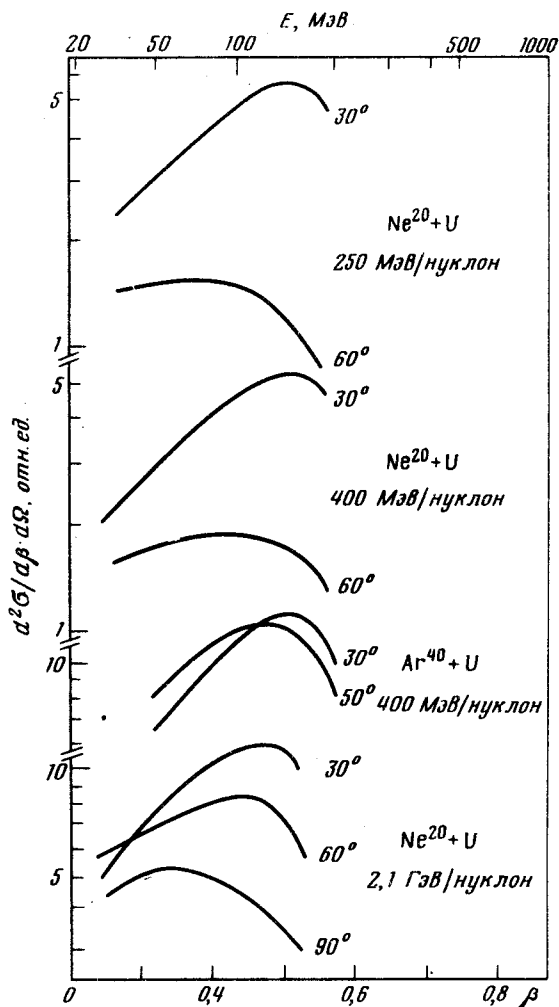


Рис.2. Скоростные спектры протонов, испускаемых при взаимодействии  $\text{Ne}^{20}$  и  $\text{Ar}^{40}$  с урановой мишенью, полученные путем пересчета данных работы [3]

Для выяснения вопроса о том, специфичен ли наблюдаемый эффект для энергий порядка 4 ГэВ/нуклон мы проанализировали ряд опубликованных экспериментальных данных, полученных на ускорителе Бэвалак (Беркли, США) с помощью пучков различных тяжелых ионов (от  $\text{He}^4$  до  $\text{Ar}^{40}$ ) в диапазоне удельных энергий  $0,25 \div 2,1$  ГэВ/нуклон. Методика измерений позволяла регистрировать вторичные однозарядные частицы в интервале энергий 20 – 200 МэВ/нуклон. Энергетические спектры приведенные в [3], были преобразованы нами в скоростные спектры. Некоторые из этих спектров приведены на рис.2. Легко видеть, что характер кривых аналогичен характеру кривых из наших экспериментов. Обнаруживаются те же особенности: имеются максимумы при  $\beta \approx 0,5$ ; положение максимума не зависит, либо слабо зависит от полной энергии налетающей частицы; максимум сглаживается на больших углах для реак-

ций  $Ne^{20} + U$  при относительно малых энергиях 250 и 400 МэВ/нуклон; его положение очень слабо зависит от угла рассеяния при взаимодействии  $Ne^{20}$  и  $Ar^{40}$  с ядрами  $U$  при больших полных энергиях (2,1 ГэВ/нуклон) и 400 МэВ/нуклон соответственно.

Следует заметить, что до сих пор речь шла об инклюзивных спектрах, хотя большой интерес представляет вопрос — каким образом изменится картина при включении отбора событий с высокой множественностью. Такого типа данные были переведены нами в скоростное представление. Результаты обработки указывают на наличие максимума в скоростных спектрах при малых углах наблюдения, однако, сейчас трудно сделать выводы о его положении.

В заключение нужно сказать, что происхождение максимума в скоростных спектрах пока не получило надежного теоретического объяснения. Ясно, только, что такая форма и поведение скоростного спектра при изменении условий наблюдения не может быть описана на основе модели "файербола", а также на основе так называемой модели "файерстрика", являющейся развитием первой теории. Для полного понимания происходящих явлений требуются дальнейшие более широкие экспериментальные и теоретические исследования.

Авторы пользуются случаем выразить свою благодарность А.М.Балдину за внимание к работе и полезные обсуждения, И.П.Семенюшкину, Л.Г.Макарову, И.Б.Иссинскому и С.А.Новикову за помощь в организации и проведении экспериментов на синхрофазотроне ЛВЭ ИОЯИ, всему персоналу этого ускорителя за обеспечение его надежной работой. За разработку измерительной системы и помощь в измерениях авторы благодарят В.В.Парамонова, А.А.Курашова, А.А.Цветкова, А.А.Виноградова.

Поступила в редакцию  
3 октября 1978 г.

### Литература

- [1] A.M.Poskanzer, R.G.Sextro, A.M.Zebelman, H.H.Gutbord, A.Sandoval, R.Stock. Phys. Rev. Lett., 35, 1701, 1975.
- [2] G.D.Westfall, J.Gosset, P.J.Johansen, A.M.Poskanzer, W.G.Meyer, H.H.Gutbrod, A.Sandoval, R.Stock. Phys. Rev. Lett., 37, 1202, 1976.
- [3] J.Gosset, H.H.Gutbrod, W.G.Meyer, A.M.Poskanzer, A.Sandoval, R.Stock, G.D.Westfall. Phys. Rev., C16, 629, 1977.
- [4] A.M.Poskanzer. Proc. Int. Conf. on Nucl. Structure, Tokyo, Japan, Sept. 5 — 10, 1977.
- [5] К.В.Караджев, Е.А.Кузьмин, А.А.Курашов, В.И.Манько, А.А.Оглоблин, В.В.Парамонов, А.А.Цветков, Г.Б.Яньков, Тезисы и доклад на XXVIII совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Алма-Ата, 28 31 марта 1978 г.
- [6] P.A.Pirone, A.J.S.Smith. Phys. Rev., 148, 1315, 1966.