

ИЗУЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ МАТЕРИИ В ЖЕСТКИХ
ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ И ЯДРО-ЯДЕРНЫХ
СТОЛКНОВЕНИЯХ НА УСКОРИТЕЛЕ У-70
(ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА «ФЛУКТОН»)

*Н. Н. Антонов¹, А. А. Балдин², В. А. Викторов¹,
В. А. Гапиенко^{1,*}, Г. С. Гапиенко¹, В. Н. Гресь¹,
М. А. Илюшин¹, В. А. Коротков¹, А. И. Мысник¹,
А. Ф. Прудкогляд¹, Д. С. Пряников¹, А. А. Семак¹,
А. В. Ставинский³, В. И. Терехов¹, В. Я. Углеков¹,
М. Н. Уханов¹, Б. В. Чуйко¹, С. С. Шиманский²*

¹ Институт физики высоких энергий Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт», Протвино, Россия

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

³ Институт теоретической и экспериментальной физики им. А. И. Алиханова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва

На базе детектора СПИН (ИФВЭ, Протвино) предполагается создание двухплечевого спектрометра «Флуктон» для исследований по программе релятивистской ядерной физики при энергиях У-70. Основная цель этих исследований — получение новых данных о сгустках холодной сверхплотной ядерной материи. Предполагается получение результатов как с высокоинтенсивным протонным пучком при использовании ядерных мишеней, так и с ионным пучком, взаимодействующим с жидководородной и ядерными мишенями.

On the basis of already existing SPIN detector (IHEP, Protvino), it is proposed to create a two-arm spectrometer FLUKTON for investigation on relativistic nuclear physics at U-70 energies. The main goal of the experiment is to get new data on the cold superdense clusters (fluctons) inside the nuclear matter. The results are supposed to be obtained both in interactions of high-intensity proton beams with nuclear targets and in interactions of ion beams with the liquid hydrogen and nuclear targets.

PACS: 21.65.Qr; 25.75.Nq; 13.85.-t; 29.30.Ep

*E-mail: Vladimir.Gapienko@ihep.ru

Главной задачей предлагаемого эксперимента «Флуктон» будет продолжение изучения холодных сверхплотных образований (флуктонов) в ядерной материи, которое уже ведется на установке СПИН в протон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях. Полученные на установке СПИН данные [1] впервые показали наличие кумулятивного эффекта для заряженных частиц в области больших поперечных импульсов ($p_T > 2$ ГэВ/с), где согласно теоретическим оценкам [2] основной вклад должны давать взаимодействия с флуктонами. Было получено указание на локальный характер образования как протонов и пионов, так и легчайших ядерных фрагментов (d и t) [3, 4]. Другими словами, было показано отсутствие существенного влияния внутриядерного перерассеяния при образовании частиц в области больших p_T ($p_T > 2$ ГэВ/с).

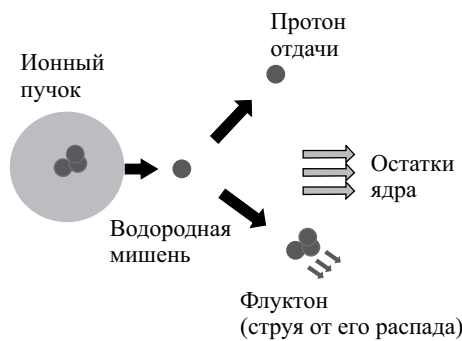


Рис. 1. Схематичное представление идеи предлагаемого эксперимента

В новом эксперименте предполагается исследовать свойства мгноноклонных конфигураций, находящихся внутри ядер, в измерениях корреляционного типа. Подавляющее количество экспериментальных данных по изучению кумулятивных процессов получено при регистрации кумулятивных частиц, летящих из ядер в заднюю полу сферу и описываемых как результат фрагментации флуктона. В предлагаемом эксперименте появляется возможность осуществить визуализацию самого флуктона путем его выбивания и последующей регистрации (или регистрации струй от его фрагментации). На рис. 1 схематично показана основная идея предлагаемого эксперимента. Ионный пучок с энергией в диапазоне $10A-20A$ ГэВ направляется на водородную мишень. Протон, после того как по нему ударит флуктон ядра, регистрируется в плече отдачи в кумулятивной кинематической области и является триггерной частицей. Флуктон (либо струя от его фрагментации) после его выбивания протоном летит в переднее плечо. Остатки ядра летят по направлению пучка и не мешают регистрации продуктов реакции. Данные СПИН [3] по рождению кумулятивных частиц показывают, что при больших p_T влиянием ядра можно пренебречь. Предполагается использовать уже существующее плечо отдачи установки СПИН и дополнить его вновь созданным передним плечом, состоящим из трековой системы и адронного калориметра. При расчетах размеров детекторов переднего плеча учитывалось, что струя от распада будет узкой, поскольку известно, что энергетические спектры кумулятивных частиц описываются $f = C \exp(-T/T_0)$ при $T_0 \approx 100$ МэВ [5].

Природа образования флуктонов и процесса их фрагментации до сих пор не ясна. Оценки вероятности событий в предлагаемом эксперименте сделаны на основе уже полученных на установке СПИН данных, что рождение кумулятивных d и t с большими значениями p_T в pA -взаимодействиях происходит при взаимодействии с двух- и трехнуклонными конфигурациями внутри ядра. Существование двух- и трехнуклонных образований подтверждается и при анализе структурных функций в эксперименте [6] по глубоконеупругому eA -рассеянию. Поэтому попытка визуализации флуктона через выбивание, прежде всего двух- и трехнуклонных образований, представляется обоснованной. В табл. 1 в строках 1–4 приведены кинематические параметры рассеяния $d + p \rightarrow d + p$ при разных углах плеча отдачи и при импульсе дейтрона $2 \cdot 15$ ГэВ/с. Для сравнения в строках 5, 6 показаны импульсы протонов для упругого pp -рассеяния. Из таблицы видно, что в случае выбивания двухнуклонного объекта протоном мишени сигнатурой этого процесса должно стать появление кумулятивного протона в плече отдачи одновременно с выделением в калориметре энергии в ~ 2 раза больше, чем можно было бы ожидать от обычного взаимодействия $pp \rightarrow pp$. Еще большее отличие в регистрируемых величинах от обычного pp -взаимодействия должно быть в случае выбивания протоном трехнуклонной системы. На основании данных по измерению сечений упругого $p + d$ -процесса [7] и с учетом того, что доля двухнуклонных состояний в ядре углерода составляет $\sim 20\%$ [6], проведена оценка ожидаемых выходов при взаимодействии углеродного пучка с жидководородной мишенью (ЖВМ). Расчет проведен для двух значений энергии пучка 10А и 15А ГэВ, интенсивность выведенного из У-70 пучка принималась равной 10^9 ионов/цикл. При расчетах учитывался предполагаемый акцептанс детектора (табл. 2).

В качестве фона для изучаемого процесса рассматривалось случайное совпадение появления кумулятивного протона в плече отдачи и одновре-

Таблица 1. Кинематические параметры рассеяния $d + p \rightarrow d + p$ при разных углах плеча отдачи и при импульсе дейтрона $2 \cdot 15$ ГэВ/с

№	Параметр	Угол протона «отдачи», °			
		45	48	50	52
1	$-t$, ГэВ ²	3,10	2,54	2,22	1,94
2	Импульс протона «отдачи», ГэВ/с	2,41	2,09	1,90	1,73
3	Импульс дейтрона, ГэВ/с	28,34	28,64	28,81	28,97
4	Угол вылета дейтрона, °	3,45	3,11	2,90	2,70
5	Импульс протона «отдачи» в упругом pp , ГэВ/с	2,23	1,95	1,78	1,63
6	Импульс протона вперед в упругом pp , ГэВ/с	13,51	13,77	13,92	14,06

Таблица 2. Сечения и ожидаемые выходы в рассеянии $^{12}\text{C} + p \rightarrow d + p$ при разных углах протона «отдачи»

Параметр	Угол протона «отдачи», °			
	45	48	50	52
10А ГэВ/с				
$d\sigma/dt$, мкб/ГэВ ²	1,35E-03	9,7E-03	3,4E-02	1,0E-01
Выход/ч	~ 0,4	3,1	12	33
15А ГэВ/с				
$d\sigma/dt$, мкб/ГэВ ²	3,1E-04	3,0E-03	1,1E-02	3,7E-02
Выход/ч	0,1	1	3,5	12

менно регистрации энерговыделения в калориметре выше пороговой (для pp -рассеяния). Источником выделения энергии выше порогового значения является попадание в калориметр частиц, образованных внутриядерным каскадом. Расчет, проведенный с помощью HIJING (версия 1.34), показал, что доля фоновых событий для изучаемых процессов составляет не более нескольких процентов.

Кроме решения главной задачи по исследованию свойств многонуклонных конфигураций (флуктонов) двухплечевой детектор даст возможность провести исследование еще одной интересной проблемы — измерение ядерной (цветовой) прозрачности при энергиях У-70. Согласно КХД точечные

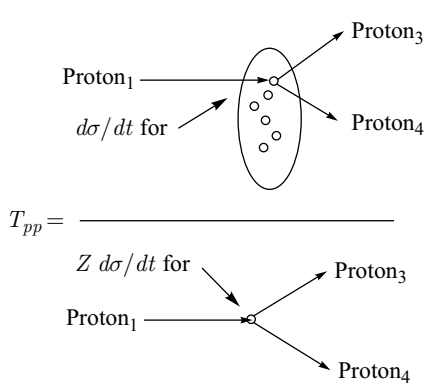


Рис. 2. Определение T_{pp} через отношение сечений квазиупругого и упругого рассеяний. Рисунок взят из [8]

бесцветные объекты, рожденные в эксклюзивных процессах при больших переданных импульсах, должны иметь малые поперечные размеры. Как следствие, такие объекты слабо поглощаются ядерной материей. Поведение измеренной ядерной (цветовой) прозрачности в квазиупругом рассеянии при углах, близких к 90° в с.ц.м. (см. обзор [8]), сначала увеличивающейся с ростом импульса, а затем после ~ 9 ГэВ/с падающей до уровня предсказания по глауберовской модели, остается непонятным [9], несмотря на ~ 30 лет, прошедшие с момента появления первых результатов.

Прозрачность ядра T_{pp} измеряется сравнением сечений упругого pp - и квазиупругого $A(p, 2p)$ -рассеяний, как это показано на рис. 2. В случае установки «Флуктон» предполагается изме-

рять T_{pp} в доступном диапазоне энергий 25–70 ГэВ путем сравнения сечения квазиупругого рассеяния протонов на ядерных мишенях с сечением упругого pp -рассеяния при использовании жидководородной мишени. Предполагаемая структура трековой системы переднего плеча оптимизировалась с помощью расчетов по методу Монте-Карло для регистрации pp - и $A(p, 2p)$ -процессов.

Идея создания нового детектора «Флуктон» базируется на результатах, полученных ранее в эксперименте СПИН по рождению кумулятивных частиц в области больших поперечных импульсов. Расчеты для двухплечевого спектрометра подтверждают возможность решения поставленных физических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аммосов В. В. и др. // ЯФ. 2013. Т. 76, № 10. С. 1275–1280.
2. Ефремов А. В., Ким В. Т., Лыкасов Г. И. // ЯФ. 1986. Т. 44. С. 241–249.
3. Аммосов В. В. и др. // ЯФ и инжиниринг. 2013. Т. 4, № 9–10. С. 773–778; arXiv:1410.5582v2 [nucl-ex].
4. Антонов Н. Н. и др. // Письма ЖЭТФ. 2015. Т. 101, вып. 10. С. 746–749.
5. Лексин Г. А. // ЯФ. 2002. Т. 65. С. 2042–2051.
6. Egiyan K. S. et al. (CLAS Collab.) // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 96. P. 082501.
7. Warren G. et al. // Nucl. Phys. B. 1982. V. 207. P. 365–373.
8. Aclander J. et al. (E834 + E850 Experiments) // Phys. Rev. C. 2004. V. 70. P. 015208.
9. Miller G. A. Color Transparency. arXiv:1208.3668 [nucl-th].