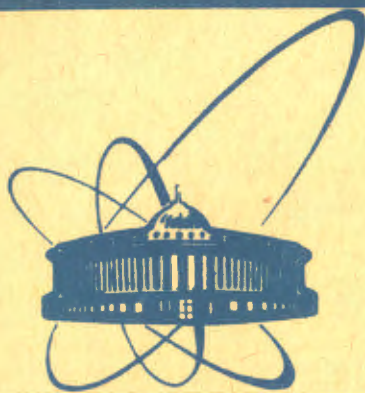


83-383



**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Е.И.И.И.И.

P1-83-583

И.А.Голутвин, В.А.Никитин, В.А.Свиридов

**ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА  
ПО ПОИСКУ АНОМАЛЬНЫХ ФРАГМЕНТОВ  
И ИССЛЕДОВАНИЮ ИХ СВОЙСТВ**

**1983**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Эксперименты <sup>1,4/</sup>, в которых получено указание на необычно большое сечение взаимодействия ядерных фрагментов высокой энергии с веществом, инициировали интерес к проблеме существования "аномалонив", впервые возникший в опытах с космическими лучами еще в середине 60-х годов <sup>6-7/</sup>. Работа <sup>1/</sup> выполнена на пучках <sup>18</sup>O /2,1 ГэВ/нукл./, которыми облучалась ядерная эмульсия. Прослеживались вторичные фрагменты с зарядами  $3 \leq z \leq 26$  в угле  $\theta \leq 0,1$  рад и с энергией  $E_F \geq 1$  ГэВ/нукл. Заряд  $z$  определялся с точностью  $\pm 1$ , масса фрагмента оставалась неизвестной. Частицы прослеживались до их взаимодействия или до выхода из эмульсионной стопки. Строилось распределение наблюдаемого числа фрагментов с зарядом  $z$  по расстоянию  $x$  от первичной звезды  $\Delta N_z(x)/\Delta x$ . Эта функция, усредненная по всей наблюдаемой группе частиц, показана на рис.1. Пунктирная кривая вычислена по формулам

$$\Delta N_z(x)/\Delta x = C_z \exp(-x/\lambda_z), \quad /1/$$

$$\lambda_z = \Lambda z^{-b} : \Lambda = (30,4 \pm 1,6) \text{ см}; \quad b = 0,44 \pm 0,02 \quad /2/$$

путем усреднения по  $z$ . Параметры в /2/ получены по известным данным о полных сечениях взаимодействия ускоренных ионов с эмульсией. Отклонение экспериментальной кривой от расчетной в области  $x \leq 3/4$  см авторы объясняют наличием у вторичных фрагментов аномального /повышенного/ взаимодействия с веществом эмульсии. В частности, данные можно объяснить, предположив, что в потоке вторичных фрагментов имеется примесь в количестве 6% аномальных частиц, для которых  $\lambda = 2,5$  см. Для нормальных фрагментов  $\bar{\lambda}_z \approx \approx 10$  см.

Работы <sup>2,3/</sup> выполнены с помощью ядерной эмульсии на пучках <sup>40</sup>Ar, <sup>56</sup>Fe с энергиями 2 и 1 ГэВ/с/нуклон. По методике и результатам они аналогичны работе <sup>1/</sup>.

Эффект повышенной ядерной активности "юных" фрагментов наглядно демонстрируется функцией  $\Lambda(x)$ . Этот параметр формулы /2/ по определению не зависит от  $z$ , поэтому через него удобно выразить средний пробег всей совокупности фрагментов:

$$\Lambda(x) = \sum_z \lambda_z(x) N_z(x) z^b / \sum_z N_z(x).$$

График функции  $\Lambda(x)$  из работ <sup>1,2/</sup> приведен на рис.2. Видно, что в области  $x \leq 2$  см фрагменты имеют пониженный пробег.

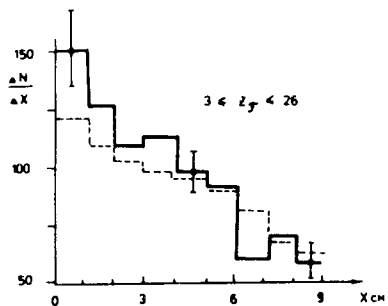
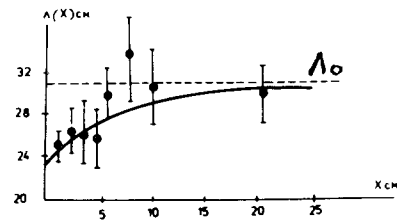


Рис.1. Количество фрагментов в зависимости от расстояния от первичной звезды. Пунктирная кривая - расчет. Рисунок взят из работы <sup>/1/</sup>.

Рис.2. Параметр  $\Lambda(x)$  формулы <sup>/2/</sup> как функция расстояния от первичной звезды,  $\Lambda_0 = 30,4$  - значение, полученное из полных сечений взаимодействия с эмульсией первичных ионов. Сплошная кривая - расчет в предположении, что доля аномальных фрагментов 6%, а их средний пробег составляет  $2,5 \text{ см}^{/1/}$ .



В работе <sup>/3/</sup> сделано еще одно интересное утверждение: аномалия исчезнет при энергии первичных ионов 1 ГэВ/нукл. Не наблюдается аномалия для фрагментов с  $z = 2$ .

Работа <sup>/4/</sup> выполнена в ЛВЭ ОИЯИ с помощью 2-метровой пропановой камеры, экспонированной пучком  $^{12}\text{C}$  /4,2 ГэВ/с/нукл./ . Измерены сечения взаимодействия вторичных фрагментов с  $z = 2 \div 5$  с пропаном в области пробегов  $x \geq 7 \text{ см}$ . Точность измерений составляет 10%. Для фрагментов  $z = 5 \div 6$  сечения оказываются на  $10 \pm 15\%$  выше сечений соответствующих ядер, полученных от ускорителя. Построены также распределения  $\Delta N/\Delta x$ . Кривые для  $z = 2 \div 5$  представляются одной экспонентой во всей наблюдаемой области  $0 < x < 21 \text{ см}$ . Кривая для  $z = 6$  имеет увеличенный наклон в области  $0 \leq x \leq 6 \text{ см}$ , однако авторы объясняют такое поведение методическими причинами.

Сотрудничество 2-метровой пропановой камеры продолжает работу по данной теме. На увеличенной статистике подтверждены результаты работы <sup>/4/</sup>. Зарегистрированы  $u$ -кванты, которые могут быть ассоциированы с первичной звездой или со вторичными фрагментами <sup>/8/</sup>.

## 2. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Из опубликованных данных следует, что в релятивистской ядерной физике возникла весьма интересная проблема. Ряд независимых

экспериментов дает указание на существование аномальных релятивистских фрагментов, которые вблизи родительской звезды имеют необычно высокое сечение взаимодействия или распадаются с временем жизни  $\sim 10^{-11} \text{ с}$ .

В литературе обсуждается несколько механизмов возникновения аномалии <sup>/9/</sup>:

- Фрагменты рождаются в состоянии со скрытым цветом. Энергия возбуждения у этих гипотетических систем, согласно теоретическим оценкам, должна быть больше 100 МэВ, а об их размерах ничего не известно <sup>/10/</sup>.

- Пленение цветных кварков и глюонов может быть не абсолютным законом природы. Кварк /или глюон/ может оказаться в составе ядра, но за пределами нуклонной оболочки. Такие фрагменты могут иметь любые экзотические свойства <sup>/11/</sup>, в частности, они могут нести дробный заряд. Согласно этой точке зрения, следует возобновить поиск частиц с дробным зарядом, распространив его на ядерные фрагменты.

## 3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

### Требования к методике и аппаратуре

Для решения проблемы аномальных фрагментов необходимо создание методики и аппаратуры, позволяющей исследовать явление с хорошей статистической точностью и по нескольким параметрам:

- зависимость от энергии первичного пучка;
- зависимость от  $z$  фрагмента;
- зависимость от характеристик первого взаимодействия /глубина неупругости, переданный импульс фрагменту и др./;
- выполнение поиска распадов фрагментов;
- исследование событий с высокой кратностью взаимодействия с целью проследить судьбу аномалона вплоть до его остановки.

### Топология событий

#### А. Сечение неупругого взаимодействия ядер и выход фрагментов

Для дальнейших расчетов мы используем следующие характерные сечения неупругого взаимодействия ядер <sup>/12/</sup>:

$$\sigma^{\text{in}}(^4\text{He}, ^{12}\text{C}) = 440 \text{ мб}, \quad \sigma^{\text{in}}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{C}) = 840 \text{ мб}$$

при энергии 4 ГэВ/с/нукл.

Относительный выход фрагментов в угле  $\theta \leq 0,07$  при  $^{12}\text{C}$  пропан-взаимодействии приведен в табл.1 <sup>/4/</sup>. В статистику включены

только стриппинговые частицы, для которых  $p \geq 3$  ГэВ/с. Их средняя множественность составляет 3.

Таблица 1

Выход фрагментов с зарядом  $z$  и импульсом  $p \geq 3$  ГэВ/с.  
Полное число взаимодействий  $N = 3700$

$z$	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$
$N_z$	6140	2892	645	517	481	329	11004

### Б. Угловое распределение фрагментов

Основная часть быстрых фрагментов образуется как частицы - наблюдатели. Средний угол эмиссии для них можно оценить по формуле

$$\theta = p^f / p, \quad /3/$$

где  $p^f$  - проекция импульса Ферми на плоскость, нормальную к пучку,  $p$  - продольный импульс частицы. Известно, что  $p_p^f$  для протона равен 120 МэВ/с. Для фрагмента с массой  $m_x$  импульс Ферми можно оценить из соотношения

$$p_F^f / p_p^f = \sqrt{m_F / m_p}, \quad /4/$$

которое справедливо в капельной модели ядра.

Средний поперечный импульс для неупругого нуклон-нуклонного взаимодействия составляет  $p^{in} = 370$  МэВ/с, провзаимодействовавшие частицы получают средний угол эмиссии  $\theta^{in} = p^{in} / p$ . Некоторые характерные углы эмиссии приведены в табл.2. Предполагается, что первичное ядро имеет импульс 4 ГэВ/с/нукл., а фрагменты имеют продольный импульс  $p_F = A_F^{-4}$  ГэВ/с, где  $A_F$  - число нуклонов во фрагменте.

### В. Количество частиц в событии

Интересующее нас событие состоит из двух или более звезд. Среднее число лучей в конусе 0,1 рад от одного взаимодействия составляет 3. Все эти частицы появляются от фрагментации пучкового ядра  $^{12}C$ .

По данным работ /13/, при взаимодействии иона  $^{12}C$  с энергией 4,5 ГэВ/нукл. с легким ядром эмульсии в конусе  $10 \pm 90^\circ$  в лаб.

Таблица 2

Средние углы эмиссии  $\theta$ , рассчитанные по формулам /3/, /4/, и средние отклонения частиц от оси пучка  $r_1, r_3$  на расстояниях  $l_1 = 1$  см и  $l_3 = 3$  см от первичного взаимодействия. Экспериментальные данные  $\theta^{эксп.}$  взяты из работы /13/

Частицы	$\theta$ /рад/	$\theta^{эксп.}$ /рад/	$r_1$ /мкм/	$r_3$ /см/
$^6Li$	0,012	0,0127	120	3,7
$\alpha$	0,015	0,0144	150	4,5
p	0,030	0,020	300	9,0
p (inel)	0,100		1000	30

системе, в среднем образуется 6 $\alpha$  и  $g$ -частиц. Это достаточно быстрые частицы, которые могут быть зарегистрированы средствами электроники /например, пропорциональными камерами/. Они дадут информацию о координатах и других характеристиках изучаемых событий. Таким образом, событие из двух ассоциативных звезд будет иметь в среднем 6 быстрых частиц в узком конусе вперед  $\theta \leq 0,1$  рад и 12 быстрых частиц в конусе  $10-90^\circ$ .

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

1. Основные проблемы, с которыми сталкиваются эксперименты по поиску аномалонов, связаны с измерением заряда фрагмента, вызывающего вторичное взаимодействие. Необходимо также отделение взаимодействий исследуемого фрагмента от взаимодействий сопровождающих его нуклонов и легких ядер - продуктов первичного взаимодействия.

Для определения заряда фрагментов и отбора событий с кратными взаимодействиями мы предлагаем использовать черенковское излучение. Для прозрачной пластины толщиной  $l$  с коэффициентом преломления  $n$  число фотонов  $N_\phi$  и угол черенковского излучения  $\theta$  даются формулами

$$N_\phi \approx 500 l z^2 \sin^2 \theta,$$

$$\cos \theta = 1/\beta n.$$

Число фотоэлектронов, собираемых ФЭУ, составляет

$$N_{\phi\Phi} = \epsilon_1 \epsilon_2 N_\phi,$$

/5/

/6/

где  $\epsilon_1$  - квантовый выход фотокатода,  $\epsilon_2$  - эффективность сбора фоонов на фотокатод. Для  $z = 5$ ,  $l = 0,5$  см,  $n = 1,42$ ,  $\beta = 0,98$ ,  $\epsilon_1 = 0,1$  и  $\epsilon_2$  порядка единицы получаем  $N_{ф\phi} \approx 10^3$ . Статистическая точность определения  $z$  одним счетчиком оказывается достаточно высокой: например, для ядра  $^{22}_{10}\text{Ne}$   $\delta z = +0,15$ . Здесь предполагалась близкая к единице эффективность светосбора от иона и низкая эффективность сбора света от  $\delta$ -электронов. Для соблюдения этих условий необходимо выбрать  $n$  так, чтобы  $\theta$  был несколько больше угла полного внутреннего отражения  $\theta' = \arcsin 1/n$ . Черенковское излучение  $\delta$ -электронов из-за широкого углового распределения будет в значительной мере покидать пластину и существенно не ухудшит зарядового разрешения прибора.

Важным элементом установки является активная мишень, состоящая из нескольких десятков черенковских счетчиков. Толщина пластины каждого счетчика  $\sim 0,5$  см. Взаимодействие пучкового ядра или фрагмента в  $i$ -ом счетчике мишени будет отмечено значительной разностью сигналов  $a_{i-1} - a_{i+1}$  в двух счетчиках  $i-1$ ,  $i+1$ ,  $(a_{i-1}/a_{i+1} = z^2/\sum z_k^2)$ . Здесь  $z$  - заряд первичного ядра,  $a_k$ ,  $z_k$  - заряды вторичных релятивистских частиц. Например, для реакции  $^{12}_6\text{C} + \text{A} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + \text{p} \dots$  имеем скачок сигнала  $a_i/a_{i+1} = 36/26$ , что легко регистрируется, если иметь в виду высокое  $z$ -разрешение. Аналогично выделяются все вторичные взаимодействия. На рис.3 для иллюстрации вышесказанного представлены результаты моделирования амплитудного распределения сигналов черенковских счетчиков в случае, когда падающее ядро в девятом счетчике взаимодействует с образованием фрагмента с зарядом  $z = 9$ ; последний, в свою очередь, в 29-м счетчике переходит в ядро с  $z = 8$ . Реакции без изменения  $z$  ядра типа  $z + \text{A} \rightarrow z + \text{X}$  не будут зарегистрированы стопкой из одних только черенковских счетчиков /доля таких событий не превышает 10%, см. табл.1/, однако включение в состав аппаратуры координатных детекторов позволяет изучать и эти события.

Замечательной особенностью предлагаемого устройства является его почти полная нечувствительность к медленным и сильно ионизирующим вторичным продуктам, а также пониженная чувствительность к релятивистским частицам, которые значительно отклонились от оси пучка.

Исследование возможности использования черенковских счетчиков с тонким плоским радиатором для измерения заряда фрагментов проведено в работе [14]. Полученная на пучке релятивистских ядер  $^{22}_{10}\text{Ne}$  дисперсия амплитудного распределения для радиаторов из плексигласа приведена на рис.4. Для радиатора толщиной  $\Delta = 0,5$  см относительное стандартное отклонение амплитудного распределения составляет  $\sim 7\%$ . Для зарядового разрешения при  $z = 10$  получаем  $\delta z = 1/2 z \sigma_A \approx 0,35$ . Этого уже достаточно для выполнения эксперимента по поиску аномалонов, хотя величина  $\delta z = 0,35$  в  $\sim 4$  раза больше теоретического предела, вычисляемого по формулам [5], [6].

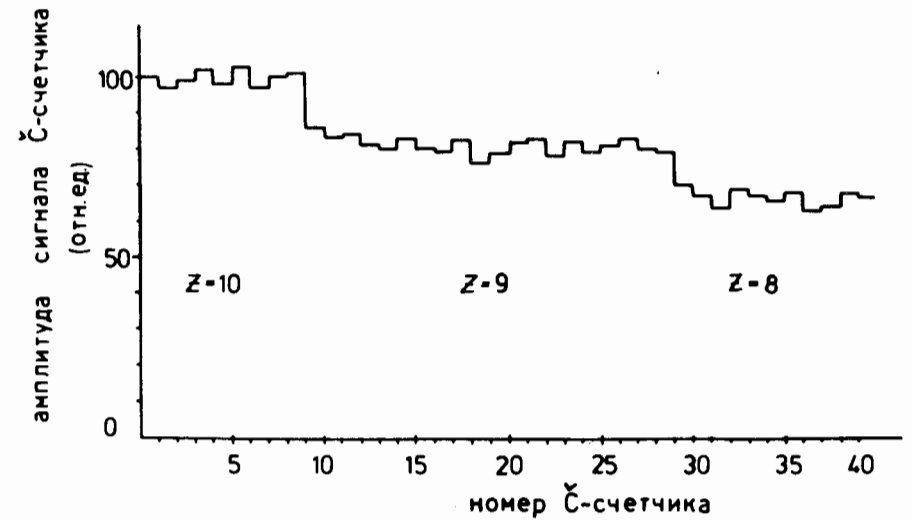


Рис.3. Иллюстрация амплитудного распределения сигналов с черенковских счетчиков при прохождении через них ядра  $^{22}_{10}\text{Ne}$ . В 9-м и 29-м счетчиках происходит последовательное уменьшение заряда ядра на единицу.

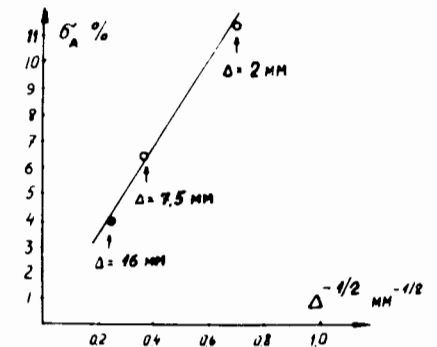


Рис.4. Дисперсия амплитудного распределения как функция толщины радиатора черенковского излучения /материал радиатора - плексиглас, импульс ядра неона  $p = 4,2$  ГэВ/нукл./ . Открытые точки получены с ФЭУ-85, заштрихованная - с DVP-56.

Схема установки показана на рис.5. Она располагается на введенном пучке ядер. Пропорциональные камеры ПК-1-4 измеряют координату и угол первичной частицы. Антисовпадательный кольцевой счетчик С исключает гало пучка. Счетчики  $S_2 - S_4$  измеряют заряд первичного ядра и вырабатывают триггерный сигнал. Мишенью для первичных ядер и их фрагментов служат радиаторы черенковских счетчиков  $\check{C}_{1-40}$ . Пропорциональные камеры ПК 5-8 предназначены для уточнения координат взаимодействия первичного ядра и вторич-

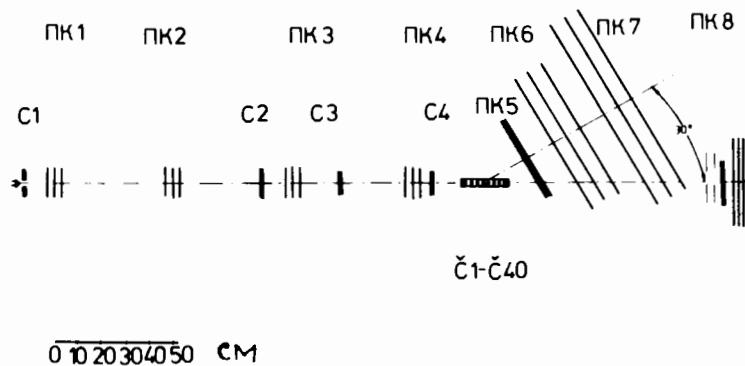


Рис.5. Схема установки для поиска и изучения свойств аномальных фрагментов.

ных фрагментов. Черенковские счетчики измеряют заряд ядра и вторичных фрагментов по интенсивности черенковского излучения.

#### 5. КАЛИБРОВКА АППАРАТУРЫ

Для определения эффективности регистрации неупругих взаимодействий фрагментов с ядрами мишени установку необходимо прокалибровать на пучках  $^4\text{He}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ . Интерполяция на другие ядра может быть сделана по известным полуэмпирическим формулам  $^{12}/^{12}$ . Другим способом калибровка может быть выполнена на стриппинговых фрагментах, полученных от удаленной внешней мишени. Эти же ядра могут быть использованы для контроля амплитудного разрешения черенковских счетчиков.

#### 6. ОЦЕНКА ЧИСЛА СОБЫТИЙ

Оценку скорости набора статистического материала сделаем, простоты ради, для углеродной мишени /заменяв плексиглас на углерод/. В такой мишени длина пробега до ядерного взаимодействия составляет для ядер  $^{12}\text{C}$  около 17 см, для  $^{22}\text{Ne}$  ~14 см. Около 60% ядер  $^{12}\text{C}$  и 70% ядер  $^{22}\text{Ne}$  вызовут в мишени взаимодействие. Доля взаимодействий, в которых среди продуктов реакции присутствуют фрагменты с зарядом больше половины родительского ядра, составляет  $k \approx 0,45$  /см. табл.1/. Вторичные фрагменты имеют средний пробег порядка 20 см. Длина мишени для них равна половине суммарной длины радиаторов. Вероятность взаимодействия в мишени вторичных фрагментов оказывается около 30%. Таким образом, почти 10% падающих на установку ядер будут приводить к образованию исследуемых двукратных взаимодействий.

Характерный эксперимент на пучке со статистикой  $10^3 - 10^4$  событий будет длиться около одного часа.

#### 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперимент по поиску и исследованию аномальных фрагментов средствами электроники может быть выполнен на выведенных ядерных пучках синхрофазотрона ОИЯИ  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 4,5 ГэВ/нукл.

Судя по опубликованным работам, аномалия существует, но ее природа совершенно не ясна. Поэтому представляет интерес выполнить опыты новой методикой, свободной от недостатка фотоэмульсионной техники - малой скорости набора материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Friedlander E.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 45, p.1084.
2. Jain P.L., Das G. Phys.Rev.Lett., 1982, 48, p.305.
3. Aggarwal M.M. et al. Phys.Lett., 1982, 112B, p.31.
4. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-81-79, Дубна, 1981.
5. Milone A. Nuovo Cim.Suppl., 1954, 12, p.353.
6. Tokunaga S. et al. Nuovo Cim., 1957, 5, p.517.
7. Yagova H. Nuovo Cim., 1957, 6, p.559.
8. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-82-795, Дубна, 1982.
9. Fowler G.N. et al. Report presented at the Int.Conf. on High Energy Phys., Lisbon, 1981.
10. Fredriksson S., Jändel M. JINR, D1,2-81-728, Dubna, 1981, p.250.
11. De Rujula A. et al. Phys.Rev., 1978, D17, p.285.
12. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, 1-12797, Дубна, 1979.
13. Марин А. и др. ЯФ, 1979, 29, с.105,117.
14. Волков В.И. и др. Б1-1-83-584, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 августа 1983 года.

Голутвин И.А., Никитин В.А., Свиридов В.А.

P1-83-583

Предложение эксперимента по поиску аномальных фрагментов  
и исследованию их свойств

Для увеличения скорости набора и обработки экспериментальной информации и соответственного снижения ошибок измерения предложен электронный эксперимент по поиску аномальных фрагментов и исследованию их свойств. В основе эксперимента лежит использование в качестве мишени черенковских счетчиков с тонким твердым радиатором, с помощью которых измеряется заряд фрагмента и оценивается с точностью 0,5 см длина пробега фрагмента до ядерного взаимодействия. Точное измерение координат взаимодействия производится пропорциональными камерами. Точность измерения заряда ядра  $Ne \delta z = 0,15$ ; точность измерения координаты взаимодействия  $\Delta y \sim 2$  мм; скорость набора статистики  $\sim 10^3 - 10^4$  событий взаимодействия фрагментов за час работы ускорителя. Эксперимент предполагается осуществить на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения и Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Golutvin I.A., Nikitin V.A., Sviridov V.A.

P1-83-583

Proposal to Study Anomalous Fragments  
and Investigate Their Properties

Counter experiment to study anomalous nuclear fragments is designed which provides much more flexibility compared to emulsion experiments and permits to significantly improve systematic and statistical errors. 40 Cherenkov counters with thin (5 mm) solid radiators are used as a target. Pulse height analysis of Cherenkov signals makes it possible to measure unambiguously electrical charges of the fragments and to estimate the free interaction length. For precise track measurement 24 MWPC are used. The error in measuring of the electrical charge of  $^{22}Ne$  is approximately 2%. The error in free length measuring is about 2 mm.  $10^3 - 10^4$  fragment interaction will be recorded during one hour in  $^{22}Ne$  beam of the JINR synchrotron.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods and the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой