

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

4903/82

1-82-399

**С.А.Азимов, Н.С.Амаглобели, В.Г.Гришин,  
Р.А.Кватадзе, М.И.Соловьев,  
А.А.Юлдашев, Б.С.Юлдашев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРИНО  
И АНТИНЕЙТРИНО С ЯДРАМИ И НУКЛОНАМИ  
В 2-МЕТРОВОЙ ПРОПАН-ФРЕОНОВОЙ  
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ  
(Предложение эксперимента)**

**1982**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы стало очевидным, что использование атомных ядер в качестве мишеней позволяет получить важную информацию о пространственно-временной структуре ядер и адронов. Благодаря большому числу проведенных экспериментов по адрон-ядерным ( $\Lambda$ ) взаимодействиям удалось установить, что множественное образование частиц на ядрах представляет собой сложный процесс, сочетающий в себе несколько механизмов рождения частиц, относительный вклад которых изменяется с ростом как энергии, так и с массовым числом ( $A$ ) ядра-мишени.

Обнаружено одно из фундаментальных свойств взаимодействий частиц с ядрами - вторичные адроны больших энергий не формируются мгновенно. Этот факт, в частности, привел к идее о необходимости введения такого важного параметра, как "время /длина/ формирования" адронов /из кварков или глюонов/, величина  $r_\phi$  которого зависит от модельного подхода <sup>/1-3/</sup>. Например, в рамках кварковых моделей <sup>/3/</sup> значение  $r_\phi$  определяется соотношением

$$r_\phi \approx \frac{r}{m_0^2} \approx \frac{r}{(0,2-0,3) \text{ ГэВ}^2}, \quad /1/$$

откуда видно, что вторичные адроны с импульсами  $P \geq 4-5/ \text{ ГэВ}/c$  формируются из кварков или глюонов на больших расстояниях

( $r_\phi \geq 3 \text{ фм}$ ) и поэтому проходят ядро, практически не взаимодействуя.

Таким образом, измерение длины формирования адронов является весьма актуальной задачей и связано, в частности, с определением вклада процессов внутриядерного перерассеяния вторичных адронов, рожденных в ядре.

Решение этой проблемы связывается с изучением лептон-ядерных ( $\Lambda$ ) взаимодействий, так как лептоны /например, нейтрино/ не участвуют в сильных взаимодействиях и в связи с этим адроны, образованные на одном из внутриядерных нуклонов, являются "рожденными" частицами, время формирования которых можно определить, исследуя  $A$ -зависимости характеристик адронов в глубоконеупругом  $\Lambda$ -рассеянии. С другой стороны, преимущество использования лептонных пучков заключается также в том, что в глубоконеупругих  $\Lambda$ -взаимодействиях, как ожидается в некоторых теоретических моделях /см., например, <sup>/2/ /,</sup>

в  $\nu_{\mu} \text{Ne}$ - и  $\bar{\nu}_{\mu} \text{Ne}$ -взаимодействиях во многом аналогичны адрон-ядерным соударениям при эквивалентной энергии. В частности, обнаружено, что  $A$ -зависимости инклюзивных спектров вторичных  $\pi^+$ -мезонов в  $\nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})\text{Ne}$ -взаимодействиях в пределах погрешностей совпадают с данными для  $\pi^{\pm} \text{Ne}$ -соударений. Совпадение свойств адронов отмечалось также при исследовании  $hp$ - и  $\nu(\bar{\nu})p$ -соударений /10/.

В планируемом эксперименте предлагается исследовать этот вопрос детальнее, так как будут использованы ядра с широким диапазоном  $A$  /от 12 до  $\approx 200$ /.

Отметим также, что исследование  $A$ -зависимости инклюзивных спектров вторичных адронов в нейтрино-ядерных соударениях необходимо для проверки принципиально важных различающихся теоретических моделей /кварковых, каскадных, модели когерентной трубки и т.д./, а также для определения вклада процессов внутриядерного перераспределения адронов. При этом особенно интересным представляется изучение дифференциальных сечений протонов, пионов и странных частиц в зависимости от переменных глубокоэластического  $\nu A$ -рассеяния.

3. Изучение корреляций вторичных пионов и протонов в  $\nu A$ - и  $\bar{\nu} A$ -взаимодействиях.

В настоящее время такой экспериментальной информации о лептон-ядерных процессах нет, так же как и теоретических предсказаний.

4. Определение сечений образования мезонных резонансов ( $\rho^0$ ,  $\omega$ ,  $f$ ) и изобар.

Эта проблема интересна тем, что согласно кварковым моделям /см., например, /11, 12/ / основными источниками вторичных пионов при фрагментации кварков являются мезонные резонансы. Учитывая тот факт, что времена жизни резонансов составляют порядка  $10^{-22}$  -  $10^{-24}$  с, в планируемом эксперименте можно получить информацию о "длине формирования" адронов на расстояниях  $\sim 1$  фм.

5. Исследование процессов образования кумулятивных частиц, в частности, протонов в  $\nu A$ - и  $\bar{\nu} A$ -взаимодействиях. Данная проблема связана с вопросами изучения локальных свойств ядерной материи /малонуклонные ассоциации, коррелированные системы, мультикварковые состояния, флюкты и т.п./. В соответствии с теоретическими предсказаниями эффекты локализации нуклонов на малых расстояниях должны особенно четко проявиться себя в глубокоэластических лептон-ядерных взаимодействиях /см., например, /13/.

В предлагаемом эксперименте будет возможность исследовать характеристики кумулятивных протонов в зависимости от массового числа ядра-мишени в  $\nu(\bar{\nu})A$ -взаимодействиях, а также от переменных глубокоэластического рассеяния. Полученные резуль-

таты представляют большой интерес в свете проверки моделей, претендующих на описание кумулятивного эффекта.

Проблема кумулятивного эффекта тесно переплетается и с вопросом об  $A$ -зависимости распределений по переменным глубокоэластического рассеяния ( $Q^2$ ,  $x_{BJ}$ ). В частности, имеются предсказания /4, 13/, что вследствие существования локальных внутриядерных систем с сильной энергией связи в глубокоэластическом лептон-ядерном рассеянии должны наблюдаться события со значениями бьеркеновской переменной  $x_{BJ} = Q^2/2m\nu > 1$ . В планируемом эксперименте этот эффект / $\approx 0,5\%$ / может быть наблюден на статистически значимом уровне.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Описанные выше проблемы предлагается исследовать с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры. После модернизации камера будет иметь следующие размеры: длина - 2,2 м, ширина - 0,7 м и глубина - 0,7 м; полный объем около  $1 \text{ м}^3$ . Весь чувствительный объем / $\sim 0,8 \text{ м}^3$ / фотографируется четырьмя объективами через одно стекло-иллюминатор на неперфорированную фотопленку шириной 50 мм.

Камера располагается в магните СП-41Г с напряженностью поля 1,5 Т, что обеспечивает при наполнении пропаном и длине треков 0,5 м точность измерения импульсов заряженных частиц не хуже 8% для всего ожидаемого интервала энергий.

Поскольку в эксперименте предлагается исследовать процессы типа /2/ и /3/, то для идентификации вторичных мюонов пузырьковая камера будет дополнена внешним идентификатором мюонов /см. рисунок/.

Внешний идентификатор мюонов /ВИМ/ предполагается создать на основе мультитрассовых пропорциональных камер /МППК/ с площадью  $\sim 1 \times 1 \text{ м}^2$  каждая.

Пузырьковая камера будет окружена приблизительно 27 МППК, установленными в три ряда по 9 штук в каждом. Таким образом, это позволит регистрировать приблизительно 90% всех мюонов, образованных в реакции /2/.

Между пузырьковой камерой и ВИМ размещается поглотитель адронов, в качестве которого можно использовать бетон толщиной  $\sim 3-5$  длин поглощения пионов / $90 \div 150 \text{ см}$ /. Для пионов, испущенных под большими углами, дополнительным поглотителем будет служить также магнит пузырьковой камеры. Использование бетона выгодно из-за его дешевизны и относительного малого  $Z/Z = 12$  /, что существенно снижает эффекты многократного кулоновского рассеяния. К тому же, бетон не является магнитным материалом. Используя координатные сигналы с МППК ВИМа и результаты экстраполяции /с учетом градиента магнитного поля/

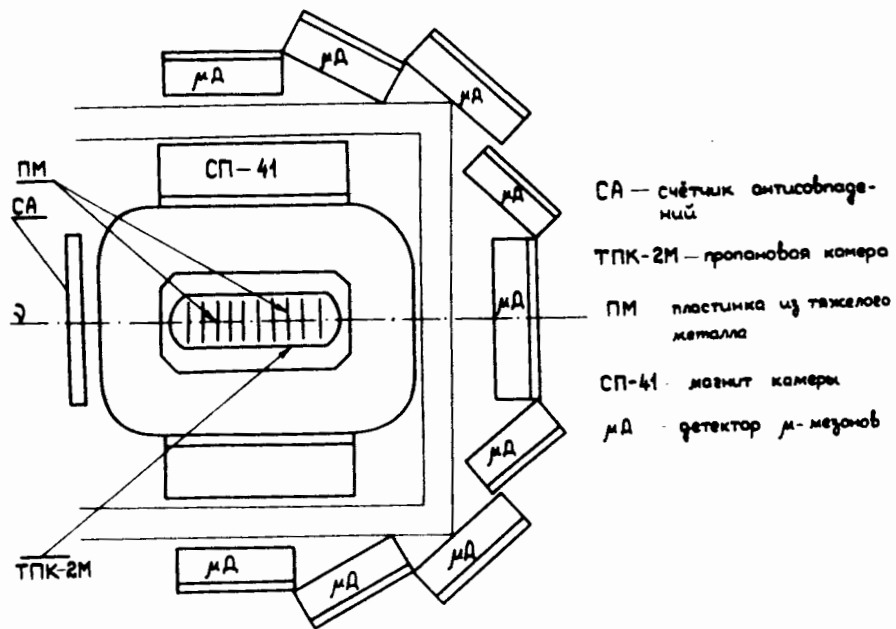


Схема 2-метровой пропановой пузырьковой камеры.

кандидатов в мюнные треки, можно достаточно уверенно идентифицировать вторичные мюны. Информация с ВИМ будет записываться на магнитную ленту ЭВМ, находящуюся на линии связи он-лайн с каждой из МППК.

#### 4. ОЖИДАЕМАЯ СТАТИСТИКА СОБЫТИЙ

##### А. Заряженные токи

Вариант 1: наполнение камеры пропаном  $C_3H_8$  /  $\rho = 0,43$  г/см<sup>3</sup>/. В этом случае в эффективном объеме камеры /  $l_{эф} \approx 180$  см / при наличии бустера ожидается  $\approx 0,06$   $\nu A$ -взаимодействий на 1 цикл ускорения. Наполнение камеры фреоном /  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup> / позволит получить  $\sim 0,2$  события на цикл ускорения.

Вариант 2: размещение тонких пластинок толщиной 3 мм из металла / Al, Cu, Fe, Ta, W, Pb, ... /. В случае использования алюминиевых пластинок /  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup> / ожидается  $\sim 0,07$  /пропан плюс пластинка/ событий на цикл ускорения. Соответственно при использовании вольфрамовых пластинок /  $\rho = 19,3$  г/см<sup>3</sup> / ожидается  $\sim 0,15$  событий на цикл ускорения.

При определении  $A$ -зависимости полных сечений  $\nu A$ -и  $\bar{\nu} A$ -взаимодействий можно разместить в пузырьковой камере пластинки толщиной до 5 см /10 штук/. Тогда ожидается приблизительно 0,1 события на Al и  $\approx 0,7$  события на W за цикл ускорения.

Следовательно, при получении с каждой тонкой мишени  $\approx 100$  тысяч кадров /общее число кадров -  $10^5 \times 6$  мишеней =  $\approx 600$  тысяч/ за  $\sim 1600$  часов работы ускорителя\* можно будет получить экспериментальные данные на статистике  $\approx 40$  тысяч нейтринных событий на мишенях:  $C_3H_8$ , фреон, Al, Cu, Ta и W. Этого материала будет вполне достаточно для решения перечисленных выше проблем.

Если соотношение нейтрино и антинейтрино в первичном пучке будет  $\approx 2:1$ , то на том же числе кадров ожидается  $\approx 7$  тысяч антинейтринных взаимодействий ( $\sigma_{\nu N} \approx 3\sigma_{\bar{\nu} N}$ ).

##### Б. Нейтральные токи

Статистика нейтринных взаимодействий под действием нейтральных токов составит  $\approx 12$  тысяч событий /  $\sigma(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\mu}) / \sigma(\nu_{\mu} \rightarrow \mu^{-}) \approx 0,29$  / и соответственно для антинейтрино  $\approx 3$  тысяч взаимодействий ( $\sigma(\bar{\nu}_{\mu} \rightarrow \bar{\nu}_{\mu}) / (\bar{\nu}_{\mu} \rightarrow \mu^{+}) \approx 0,37$ ).

Таким образом, при использовании пропановой пузырьковой камеры в сочетании с металлическими пластинками следует ожидать  $\approx 60$  тысяч нейтринных и антинейтринных взаимодействий /как под действием заряженных, так и нейтральных токов/.

#### 5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В институтах стран-участниц ОИЯИ, в том числе и СССР /Алма-Ата, Баку, Ереван, Москва, Ташкент, Тбилиси/ в настоящее время имеется оборудование для просмотра и измерений фотографий с 2-метровой пропановой камеры, есть программы математической обработки. Кроме того, имеется и опыт 10-летнего сотрудничества в совместных экспериментах. Все это позволяет надеяться, что поставленная задача будет решена в сравнительно короткие сроки после получения экспериментального материала.

В заключение нам приятно выразить глубокую благодарность сотрудникам группы пузырьковой камеры СКАТ ИФВЭ за многочисленные полезные обсуждения.

\* Работа камеры будет проводиться одновременно с другими установками и не требует выделения специального времени на ускорителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канчели О.В. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, с. 469.
2. Николаев Н.Н. УФН, 1981, 134, с. 370 /см. также ссылку /41/ в этой работе/.
3. Шабельский Ю.М. Материалы XIII зимней школы ЛИЯФ, 1978, Ленинград, с. 90.
4. Балдин А.М. ОИЯИ, E1-80-545, Дубна, 1980.
5. Miller M. et al. Preprint C00-3005-281, UR-760, University of Rochester, Rochester, New York, 1980.
6. Goodman M.S. et al. Preprint Fermilab-Pub-81/42-EXP, Batavia, 1981.
7. Burnett T.H. et al. Phys.Lett., 1978, 77B, p. 443.
8. Burnett T.H. et al. In: New Results in High Energy Physics-1978 (Eds. R.S.Panvini, S.E.Csorna). AIP, New York, 1978, p. 363.
9. Юлдашев Б.С. В кн.: Взаимодействия частиц с ядрами при высоких энергиях. "ФАН", Ташкент, 1981, с. 174.
10. Ермоллов П.Ф., Мухин А.И. УФН, 1978, 124, с. 385.
11. Anisovich V.V., Shekhter V.M. Nucl.Phys., 1973, B55, p. 455.
12. Field R.D., Feynman R.P. Phys.Rev., 1977, D15, p. 2590.
13. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. ЯФ, 1981, 33, с. 202; ЯФ, 1977, 25, с. 1177.
14. Cence R.J. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 13B, p. 245-254.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июня 1982 года.

Азимов С.А. и др. Исследование взаимодействий нейтрино и антинейтрино с ядрами и нуклонами в 2-метровой пропан-фреоновой пузырьковой камере /предложение эксперимента/ 1-82-399

Предлагается исследовать взаимодействия нейтрино и антинейтрино с ядрами и нуклонами с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЗ ОИЯИ, установленной в нейтринном канале ИФВЭ. Размещение в камере тонких пластин из различных материалов / Al, Cu, Fe, Ta, W, ... / позволит получить информацию о характеристиках  $\nu A$ -соударений в широком интервале изменения  $A$ . Для выделения процессов, вызванных заряженными и нейтральными токами, будет использован внешний идентификатор мюонов. В эксперименте будут исследоваться: 1/ зависимость полных сечений  $\nu A$ - и  $\bar{\nu} A$ -взаимодействий от массового числа ядра-мишени в области разных значений переданного 4-импульса; 2/ множественности и дифференциальные сечения образования вторичных адронов; 3/ корреляции вторичных пионов и протонов; 4/ образование резонансов; 5/ кумулятивное рождение частиц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Azimov S.A. et al. Investigation of Neutrino and Antineutrino Interaction with Nuclei and Nucleons in 2 Meter Propane-Freon Bubble Chamber 1-82-399

It is proposed to study neutrino and antineutrino interactions with nuclei and nucleons by means of 2 meter propane bubble chamber of the Laboratory of High Energies, JINR, positioned in the neutrino channel of the IHEP. Thin plates of various materials ( Al, Cu, Fe, Ta, W ... ) positioned in the chamber will permit to derive information as to the characteristics of  $\nu A$ -collisions in a wide range of  $A$  variation. To discriminate processes due to charged and neutral currents an external muon detector will be used. The following problems are planned to be investigated: a) total cross sections of  $\nu A$  and  $\bar{\nu} A$  interactions as functions of mass number of target nucleus in the region of different values of transferred 4-momentum; b) multiplicities and differential production cross sections of secondary hadrons; c) secondary pion and proton correlations; d) resonance production; e) cumulative production of particles.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.