

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

C - 505

1-80-167

СМИРНОВ

Виталий Анатольевич

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
УПРУГОГО pp -, pd - И pHe -РАССЕЯНИЯ
НА МАЛЫЕ УГЛЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ ОТДАЧИ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:
кандидат физико-математических наук,
младший научный сотрудник
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

МОРОЗОВ
Борис Александрович

КОЛПАКОВ
Игорь Филиппович

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
кандидат физико-математических наук,
младший научный сотрудник

АКИМОВ
Юрий Константинович
БЪРЕМЕНКО
Валентин Иванович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий, Серпухов.

Защита диссертации состоится 22 V 1980 г. в
11 часов на заседании специализированного совета Д-047.0 Г.02
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан 22 IV 1980 г.

Ученый секретарь
специализированного совета Улиханов М.Ф. Лихачев

Исследование упругого рассеяния протонов на лёгких ядрах
вносит значительный вклад в понимание динамики сильного взаимо-
действия частиц. С развитием методики регистрации частиц и уско-
рительной техники эти эксперименты проводятся для всё более вы-
соких энергий в системе центра масс соударяющихся частиц и для
более малых значений переданного 4-импульса.

К началу 1976 года был выполнен ряд экспериментов по изуче-
нию pp- и pd-рассеяния в Серпухове (В.Д.Бартенев и др., Ядерная
физика, 15, 1972, 1174; Л.С.Золин и др., Ядерная физика, 18,
1973, 56), в Лаборатории им. Ферми (V.D.Bartenev et al., Phys.
Rev. Lett., 31, 1973, 1088; В.Д.Бартенев и др., Ядерная физика,
23, 1976, 759; Y.Akimov et al., Phys. Rev. D, 12, 1975, 3399)
и в ЦЕРНе на встречных пучках (U.Amaldi et al., Phys. Lett. B,
66, 1977, 390; G.G.Barbiellini et al., Phys. Lett. B, 39, 1972, 663).
В экспериментах по исследованию pp-взаимодействия были измерены
отношение действительной и мнимой частей амплитуды рассеяния
(R_{pp}) и параметр наклона дифракционного конуса (δ_{pp}). При
исследовании pd-взаимодействия были определены R_{pd} , δ_{pd} , а также
 R_{pn} . Эксперименты по изучению pHe-рассеяния проводились до 1976
года лишь при низких и средних энергиях (до 24 ГэВ).

Дальнейшее изучение процессов упругого рассеяния протонов
на лёгких ядрах потребовало измерения с более высокой точностью
величин R_{pp} , R_{pd} , определения R_{pn} в более широком диапазоне энер-
гий и исследования pHe-взаимодействия при высоких энергиях вплоть
до 400 ГэВ.

Диссертация написана на основе работ, выполненных в течение
1976-1979 годов в Лаборатории им. Ферми (Батавия, США) и в Ла-
боратории высоких энергий ОИЯИ/1-8/.

Целью настоящей работы явилось исследование процессов упруго-
го pp-, pd- и pHe-рассеяния на малые углы в диапазоне энергий от
40 до 400 ГэВ, исследование метода идентификации частиц отдачи
при регистрации экспериментальных данных на линии с ЭВМ PDP-11
и при их обработке, а также создание средств анализа эксперимен-
тальной информации с целью получения дифференциальных сечений
изучаемых процессов.

Актуальность работы состоит в проведении исследований упруго-
го рассеяния протонов на протонах и ядрах дейтерия и гелия в об-
ласти малых переданных 4-импульсов при высоких энергиях. Эти ис-
следования вносят существенный вклад в понимание динамики взаимо-
действия частиц.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Созданное аппаратное и программное обеспечение экспериментов позволяет эффективно идентифицировать и разделять ядра отдачи. Установка обладает малым мёртвым временем (~ 20 мкс на событие), что обеспечивает возможность её работы с большими нагрузками. Разработанное математическое обеспечение по обработке экспериментальной информации на ЭВМ PDP-11 позволяет получать дифференциальные сечения в ходе проведения эксперимента.

Автор защищает настоящей работой:

1. Результаты исследований экспериментальных данных, полученных в экспериментах по изучению упругого pp -, pd - и pHe -рассеяния на малые углы, и определение дифференциальных сечений этих процессов.
2. Разработку и создание аппаратных и программных средств регистрации и идентификации ядер отдачи при проведении вышеупомянутых экспериментов на линии с ЭВМ в реальном масштабе времени.
3. Метод проведения анализа экспериментальных данных на ЭВМ класса PDP-11 с целью получения дифференциальных сечений процессов упругого pp -, pd - и pHe -рассеяния на малые углы.

Научная новизна и значимость работы состоит в том, что впервые получены дифференциальные сечения упругого pp -рассеяния в области малых переданных 4-импульсов ($|t| \leq 0,002$ (ГэВ/с)²), pd -взаимодействия в области $|t| \leq 0,002$ (ГэВ/с)². Впервые получены дифференциальные сечения упругого pHe -рассеяния в области высоких энергий от 40 до 400 ГэВ. Впервые проведена одновременная серия экспериментов по изучению упругого pp -, pd - и pHe -рассеяния на малые углы в диапазоне энергий от 40 до 400 ГэВ с использованием одних и тех же аппаратных и программных средств. Для проведения экспресс-обработки экспериментальной информации используется ЭВМ PDP-11.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что исследование упругого pp -, pd - и pHe -рассеяния на малые углы позволило получить такие важные параметры, входящие в амплитуду рассеяния, как параметр наклона ядерной части амплитуды рассеяния (δ), отношение реальной части амплитуды рассеяния к мнимой при $t = 0$ (ГэВ/с)², полное сечение pp - и pHe -взаимодействия с высокой точностью.

Структура диссертации отвечает избранной теме. Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения, содержит 70 страниц текста, 44 рисунка, 12 таблиц, 2 приложения и библиографический список литературы из 78 названий.

Во введении описываются основные физические результаты, полученные при исследовании упругого рассеяния протонов на лёгких ядрах в области малых переданных 4-импульсов; изложено то новое, что, по мнению автора, вносится работой в избранную проблему, и перечислены основные положения, вынесенные на защиту.

Далее во введении рассматриваются вопросы, решаемые в экспериментах по исследованию упругого рассеяния частиц. Проводится анализ методов исследования упругого рассеяния частиц на малые углы и обосновывается преимущество проведения экспериментов с регистрацией угла эмиссии и импульса частиц отдачи, получаемых от взаимодействия пучка ускорителя с внутренней мишенью. Рассматриваются методы идентификации ядер отдачи. В заключительной части введения обосновывается необходимость использования $(\frac{\Delta E}{\Delta X}, E)$ -метода идентификации частиц с применением кремниевых полупроводниковых детекторов (ППД).

В первой главе диссертации рассматриваются аппаратные средства регистрации и идентификации частиц отдачи, используемые в экспериментах по изучению рассеяния протонов на лёгких ядрах в диапазоне малых переданных импульсов^{1,2,7/}. На рис. I приведена схема относительного расположения мишени, ионопровода и детекторов спектрометра ядер отдачи. Мишенью является струя газа водорода,

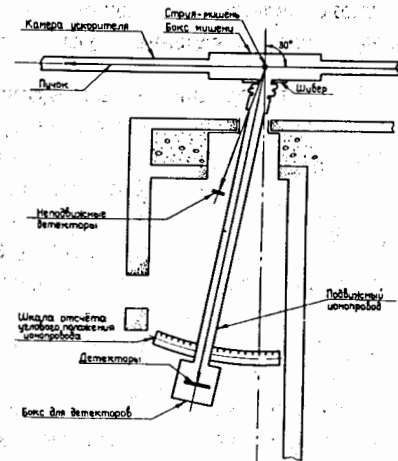


Рис. I. Схематичное изображение мишени, ионопровода и детекторов спектрометра ядер отдачи.

дейтерия или гелия, которая несколько раз впрыскивается в камеру ускорителя в течение одного цикла ускорения (см. рис. 2). Длительность одного импульса инжекции струи-газа составляет 100 мс, плотность газа мишени - 10^{-7} г/см³, размер мишени по пучку - не более 12 мм. Учёт многократного рассеяния частиц отдачи в мишени приводит к коррекциям величины дифференциального сечения в размере 3% для pp-рассеяния ($|t| = 0,0006$ (ГэВ/с)²) и для pd-рассеяния ($|t| = 0,001$ (ГэВ/с)²)/I/.

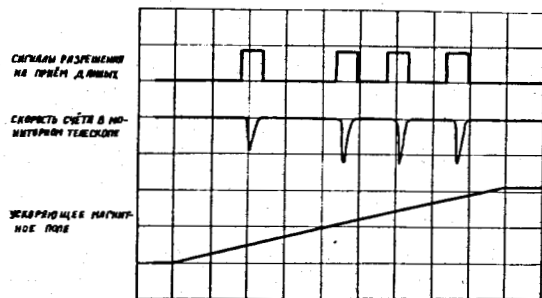


Рис. 2. Оциллограмма сигналов: разрешения на приём данных, скорости счёта в одном из неподвижных мониторинговых телескопов ПЩ, нарастания ускоряющего магнитного поля - как функций времени (цена одного деления по горизонтали равна 0,4 с, а по вертикали величина сигналов указана в условных единицах).

Для регистрации частиц отдачи используются $\Delta E, E$ -телескопы, составленные из кремниевых поверхностно-барьерных ПЩ. Толщины детекторов подбираются таким образом, чтобы обеспечить регистрацию протонов отдачи в диапазоне переданного 4-импульса $|t|$ от 0,0005 до 0,03 (ГэВ/с)², дейтонов отдачи при $0,0008 \leq |t| \leq 0,08$ (ГэВ/с)² и ядер гелия при $0,002 \leq |t| \leq 0,52$ (ГэВ/с)². Толщины детекторов при этом находятся в диапазоне от 10 до 2000 мкм.

Энергетическое разрешение ПЩ (40 - 300 кэВ) обеспечивает почти стопроцентную идентификацию ядер ¹H, ²H, ³H, ³He и ⁴He (см. рис. 3)^{/2,7/}.

Относительное мониторингирование количества взаимодействий частиц пучка с мишенью осуществляется неподвижными телескопами ПЩ. Показано, что размеры детектора, струи и расстояние от детекторов до мишени (~ 7 м) определяют угловое разрешение спектрометра, которое равно $\pm 0,8$ мрад.

Рис. 3. Двухмерный спектр, накопленный с помощью ($\frac{\Delta E}{\Delta X}, E$) - телескопов ПЩ. По вертикали отложена величина, пропорциональная энерговыделению в переднем ПЩ, а по горизонтали - в заднем. Отчётливо видны спектральные линии зарегистрированных протонов, дейтонов, ядер ³H, ³He и ⁴He. Скопление точек на линии ⁴He указывает на частицы отдачи из процесса упругого рассеяния.



Сбор экспериментальных данных осуществляется на линии с ЭВМ PDP-11. В спектрометре имеется 24 тождественных спектрометрических тракта. Каждый три тракта группируются в один спектрометрический канал. Таким образом, в экспериментах, в которых необходимо осуществлять идентификацию частиц отдачи, число каналов равно восьми^{/2,7/}. На рис. 4 приведена блок-схема спектрометрического канала для телескопа, состоящего из двух ПЩ. Заряд, индуцируемый

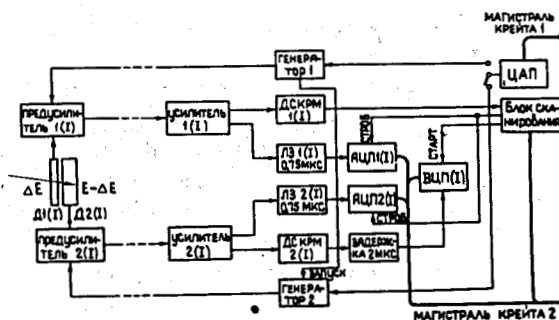


Рис. 4. Блок-схема спектрометрического канала для телескопа, состоящего из двух ПЩ.

детектором после прохождения заряженной частицы, преобразуется в амплитуду импульса с помощью предусилителя и усилителя, а затем преобразуется в цифровой код в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Контроль за стабильностью работы ПЦД осуществляется с помощью источника α -частиц ^{228}Th и тестовых сигналов, подаваемых на предусилители с генератора импульсов точной амплитуды.

Передача данных в ЭВМ осуществляется из двух блоков буферной памяти, каждый из которых имеет ёмкость 64 двадцатичетырёхразрядных слова. Показано, что промежуточное поочерёдное запоминание данных в двух блоках памяти позволяет в значительной мере сокращать мёртвое время спектрометра на один сигнал запуска и делает его равным $20 \text{ мкс} / I$. Организация передачи данных из АЦП в блоки памяти осуществляется с помощью блока сканирования, специально разработанного для этой цели. Введение запрета на запуски по всем спектрометрическим каналам на время записи данных одного события в блоки буферной памяти обеспечивает одно и то же мёртвое время для всех каналов.

Во второй главе диссертации рассматриваются вопросы сбора и первичной обработки экспериментальных данных в реальном масштабе времени ^{3,4,5/}. Синхронизация сбора данных осуществляется по сигналам внешних прерываний: по началу цикла ускорителя, по началу импульса инжекции газа, при заполнении данными одного из блоков буферной памяти и от часов реального времени. В ходе приёма данных возможны: ввод служебных констант эксперимента, контроль и частичный анализ принимаемых данных, калибровка спектрометрических трактов.

В начале главы рассматривается способ организации одновременной работы нескольких задач эксперимента в реальном масштабе времени. Взаимный обмен информацией между задачами осуществляется через общие блоки данных ^{3/}.

Подробно разбирается процесс сбора данных в течение каждого цикла ускорения. Во время импульса инжекции газа мишени данные из блоков буферной памяти запоминаются в ОЗУ ЭВМ. Между импульсами инжекции газа данные переписываются на диск с тем, чтобы освободить ОЗУ для новой порции данных. После завершения приёма в цикле ускорения информация поблочко считывается с диска в ОЗУ ^{4,5/}. Далее меняется формат данных с целью их более компактной записи. В это же время осуществляется контроль качества принимаемой информации и разрешается её анализ, после завершения которого данные записываются на магнитную ленту.

В работе подробно рассматриваются вопросы предварительного анализа данных и его роль для контроля за ходом эксперимента. Для контроля за разделением частиц отдачи по массам осуществляется накопление двумерных спектров (см. рис. 3). Возможно определение импульса частиц пучка для любого момента времени в течение цикла ускорения. Производится контроль за областью пересечения пучка с мишенью по стабильности скорости счёта числа событий в неподвижных мониторных телескопах. Контроль за качеством работы ПЦД и спектрометрических трактов осуществляется при накоплении энергетических спектров как для каждого детектора в отдельности, так и для телескопов в целом. Контроль за стабильностью момента времени инжекции струи газа в каждом цикле ускорения производится с помощью гистограммирования числа событий, зарегистрированных в одном из телескопов, в зависимости от импульса частиц пучка (см. рис. 5).

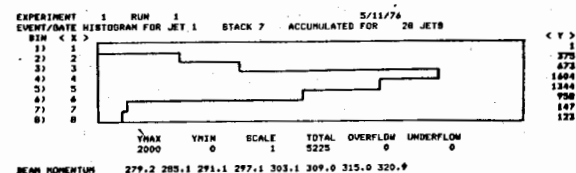


Рис. 5. Распределение числа частиц, зарегистрированных в одном из телескопов ПЦД, в зависимости от величины импульса частиц пучка.

В работе даётся описание одной из важнейших задач эксперимента – проведения автоматической калибровки спектрометрических трактов ^{4,5/}. В этой задаче методом наименьших квадратов обрабатывается информация, полученная с помощью калибровочного генератора импульсов точной амплитуды. При этом определяются порог аналого-цифрового преобразователя и наклон калибровочной прямой для спектрометрического тракта.

В третьей главе диссертации рассматриваются вопросы анализа экспериментальных данных на ЭВМ PDP-11 и определения дифференциальных сечений упругого pp-, pd- и pHe-взаимодействия^{/3-8/}.

Каждый телескоп ШЦ регистрирует частицы отдачи в некотором телесном угле $\Delta\Omega$ и, следовательно, измеряет величину дифференциального сечения $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ в лабораторной системе координат. Переход к инвариантному дифференциальному сечению $\frac{d\sigma}{dt}$ осуществляется следующим образом:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{4\pi \cdot M_{от}^2}{\beta_c \cdot \sqrt{|t|} \cdot (4M_{от}^2 + |t|)^{1,5}} \cdot \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (1)$$

где $M_{от}$ - масса частицы отдачи, β_c - скорость центра инерции системы из двух взаимодействующих частиц, t - величина переданного 4-импульса, определяемого через кинетическую энергию частицы отдачи $T_{от}$:

$$t = -2 M_{от} \cdot T_{от} \quad (2)$$

В работе изложены методы представления и преобразования экспериментальной информации в вид, удобный для анализа. Реализация этого метода^{/3,7/} осуществляется с помощью диалоговой системы программ, работающей на ЭВМ PDP-11. Рассмотрены и проанализированы основные преимущества проведения обработки данных таким методом. Для удобства проведения анализа данных предложен метод представления как экспериментальной, так и служебной информации в виде набора переменных. Экспериментатор определяет вид преобразований, проводимый над переменными. Для любой переменной возможно организовать построение гистограммы.

Далее в работе подробно рассматривается процесс определения калибровочных констант для всех спектрометрических трактов. При этом из кинематики упругого рассеяния находятся угловые положения центров тех телескопов, передние детекторы которых прокалиброваны α -частицами. По известным расстояниям между центрами телескопов определяются угловые смещения центров всех детекторов относительно указателя углового положения ионпровода. Далее с помощью кинематики упругого рассеяния по известному угловому положению детектора и центру тяжести пика упругих событий, взятого в единицах каналов АЩ, находится калибровочная константа соответствующего спектрометрического канала. Сравнение энергетической калибровки с кинематикой упругого рассеяния в процессе

определения положения пика упругих событий показывает, что расхождение не превышает 2%/6/.

Для определения числа частиц из процесса упругого рассеяния, зарегистрированных телескопом в телесном угле $\Delta\Omega$, осуществляется гистограммирование импульсов частиц отдачи. На рис. 6 приведено типичное импульсное распределение частиц отдачи, представленное экспериментатору в ходе обработки на экране дисплея. В тех случаях, когда частица отдачи регистрируется обоими детекторами телес-

РН9 - РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМ.-9 ЭКСПОЗИЦИЯ-7

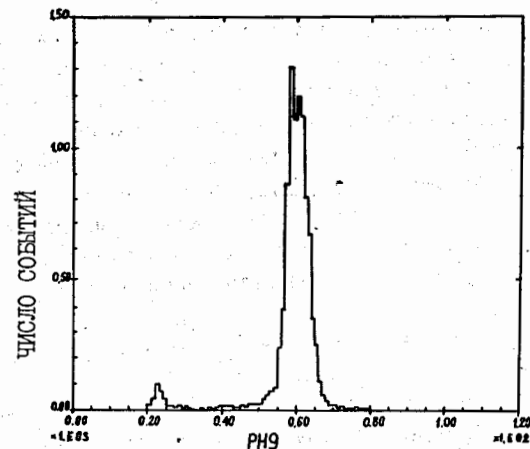


Рис. 6. Распределение импульсов частиц отдачи из процесса упругого рассеяния, зарегистрированное в одном из телескопов (распределение приведено для переменной РН9, соответствующей данным из переднего ШЦ третьего телескопа).

копа, для анализа выбираются только те события, масса которых (M) удовлетворяет следующим условиям:

$$\text{для pp-рассеяния } \frac{m_p}{m_p} - I \leq M \leq \frac{m_p}{m_p} + I,$$

$$\text{для pd-рассеяния } \frac{m_p}{m_d} - 0,7 \leq M \leq \frac{m_p}{m_d} + I,$$

$$\text{для pHe-рассеяния } \frac{m_p}{m_{He}} - 0,7 \leq M \leq \frac{m_p}{m_{He}} + I,$$

где m_p , m_d и m_{He} - массы протона, дейтона и гелия в ГэВ. В зависимости от величины заряда Q частицы отдачи её масса M удовлетворяет одному из следующих эмпирических выражений^{/6,8/}:

$$Q = 1$$

$$M = m_p \cdot \left\{ \frac{0,0133}{T} \cdot [(E_F + E_B)^{1,73} - E_B^{1,73}] \right\}^{\frac{1}{0,73}}, \quad (3)$$

$$Q = 2$$

$$M = \frac{(E_F + E_B)^{1,73} - E_B^{1,73}}{200 \cdot T}, \quad (4)$$

где T - толщина переднего детектора телескопа в мм, E_F и E_B - величины энерговыделений в переднем и заднем ПД телескопа в ГэВ.

Анализ фоновых условий экспериментов показывает, что для большинства спектров фон слабо меняется в зависимости от угла и составляет $\sim 1\%$ от общего числа зарегистрированных событий. При вычитании фона имеется в виду, что он слабо меняется в некоторой малой области пика и может быть описан полиномом или экспонентой.

Анализ спектра упругих событий заключается в согласовании функции типа $y(x)$ с экспериментальными данными:

$$y(x) = A_m \cdot \exp\left(-\frac{(x - C)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) + \text{"фон"}, \quad (5)$$

где C - центр тяжести пика упругих событий, σ - стандартное отклонение в распределении Гаусса, A_m - число событий в центре тяжести пика упругих событий. В качестве выражения "фон" используется одно из следующих выражений:

$$\begin{aligned} \text{"фон"} &= A_1 + A_2 \cdot x, \\ \text{"фон"} &= A_1 + A_2 \cdot x + A_3 \cdot x^2, \\ \text{"фон"} &= A_1 + A_2 \cdot \exp(-A_3 \cdot x). \end{aligned} \quad (6)$$

После анализа функции (5) методом наименьших квадратов экспериментатору представляются параметры A_1 , A_2 , A_3 , A , C , σ и ошибки в их определении; число анализируемых ячеек гистограммы и величина критерия согласия χ^2 ; число событий (ΔN) в пике упругих событий и ошибки в их определении (см. рис. 7). Количество событий, зарегистрированное в неподвижных мониторинговых телескопах, используется для определения величины относительной светимости установки (L), которое необходимо для вычисления относительного дифференциального сечения $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{отн}}$ по измеренному в подвижных телескопах отношению $\frac{\Delta N}{\Delta \Omega}$.

RESULT OF THE FIT
 STACKS DISTRIBUTION - EXPERIMENT 5 RUN 17 CARRIAGE POSITION 340 BEAM 182.1
 B2-APR-77 19.42.28
 FORMULA - Y=NAKINHY*EXP(-((X-CENTROID)/SIGMA)**2/2)+FIRST+SECOND*X+THIRD*X*X

ITERATION 0 6
 B= 0.4112E 02 EC=0.7638E-04 KAPPA= 0.0727E-02 LAMBDA= 0.1000E 01

PARAMETER NUMBER	PARAMETER VALUE	STANDARD DEVIATION	CORRELATION FACTOR	
NAKINHY	1	0.59425E 03	0.14709E 02	0.14973E 01
CENTROID	2	0.29510E 03	0.34555E-01	0.10103E 01
SIGMA	3	0.27700E 01	0.29828E-01	0.15666E 01
FIRST	4	0.52500E 01	THIS PARAMETER FIXED	
SECOND	5	-0.41207E-01	0.27035E-01	0.17109E 02
THIRD	6	0.10706E-03	0.13450E-03	0.17076E 03

NUMBER OF POINTS - 43.0
 CHI-SQUARE - 41.1

FOREGROUND	VALUE	ERR	ERR
FOREGROUND	7112.105		
BACKGROUND	100.244		
CORRECTION	0.000		
FOREGROUND-BACKGROUND	7003.861 +/-	84.973	
MEAN	205.176 +/-	0.035	
SDS	11.115 +/-	0.100	

SUMMARY RESULT FROM STACKS DISTRIBUTION OF DETECTOR/STACK PH17 TARGET 1.9

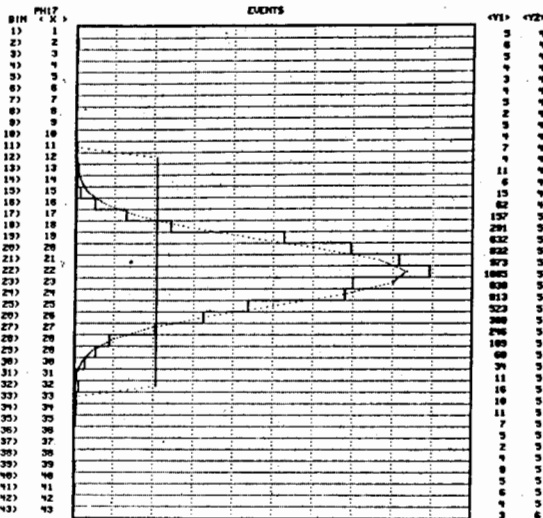
FOREGROUND	VALUE	ERR	ERR
FOREGROUND	7112.105		
BACKGROUND	100.244		
CORRECTION	0.000		
FOREGROUND-BACKGROUND	7003.861 +/-	84.973	

KINEMATIC VALUES. BEAM MOMENTUM - 102.10 GEV/C ENERGY - 102.10 GEV

	FROM CALIBRATION	FROM GEOMETRY
ANGLE (MRAD)	55.100 +/- 0.009	54.944
MOMENT (GEV/C)	205.176 +/- 0.035	204.594
ENERGY (GEV)	11.104	11.120
4-MOMENTUM (GEV/C)**2	-0.04197	-0.04174
SDS (GEV/C)	11.115 +/- 0.100	

DS/DT (A. U.) - 20703.72 +/- 349.21 20065.99 +/- 350.21

OUTPUT AFTER FITTING.



PH17 EVENTS
 X MINIMUM - 103.00 BIN WIDTH - 1.00
 TOTAL COUNT - 7211 MEAN - 205.176 SIGMA - 2.78

STACKS DISTRIBUTION - EXPERIMENT 5 RUN 17 CARRIAGE POSITION 340 BEAM 182.1

OUTPUT AFTER FITTING

Рис. 7. Результаты анализа экспериментального распределения импульсов частиц отдачи методом наименьших квадратов.

(7)

Ошибка (δ) в определении ($\frac{d\sigma}{d\Omega}$)_{отн} равна:

$$\delta = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{отн} \cdot \left(\frac{\delta^2(\Delta N)}{(\Delta N)^2} + \frac{\delta^2(L)}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

где $\delta(\Delta N)$ – ошибка в определении числа событий ΔN , а $\delta(L)$ – ошибка в определении величины светимости L .

Далее в работе рассматривается влияние геометрического разрешения спектрометра ($\sigma_{geom} \leq 0,8$ мрад.) и энергетического разрешения детекторов ($\sigma_{энерг} \approx 40$ КэВ) на точность в определении дифференциальных сечений $\frac{d\sigma}{dt}$, особенно в области малых $|t|$. Приводится метод расчёта величины сечения с учётом поправок на геометрическое разрешение спектрометра и энергетическое разрешение детекторов.

Полученные после анализа величины дифференциальных сечений являются относительными. По ним можно судить только о форме углового распределения. Нормализация дифференциальных сечений производится при аппроксимации их функцией Бете^{6,8/}, в этом случае измеренные дифференциальные сечения нормируются на дифференциальное сечение при $t = 0$ ($(\frac{d\sigma}{dt})_{t=0}$) или так называемую оптическую точку, так как $(\frac{d\sigma}{dt})_{t=0}$ связано с полным сечением ($\sigma_{полн}$) с помощью оптической теоремы:

$$\sigma_{полн}(s) = \left(\frac{d\sigma}{dt}(s, t=0) \right)^{0,5} \cdot \frac{4\pi}{(1+\rho^2)^{0,5}}, \quad (9)$$

где s – квадрат полной энергии в системе центра масс, ρ – отношение действительной и мнимой частей амплитуды рассеяния. Ошибка в нормировке не превышает 1%. На рис. 8 приведены распределения дифференциальных сечений процессов упругого pp -, pd - и pHe -рассеяния в зависимости от величины переданного 4-импульса $|t|$ для выбранных значений энергии налетающих протонов.

Систематическая ошибка ($\sim 1,5\%$), возникающая при измерениях дифференциальных сечений, в основном объясняется неопределённостью чувствительной области детекторов и их относительного положения; ошибкой в определении числа событий упругого рассеяния, зарегистрированных мониторными телескопами; наличием постоянного магнитного поля; неточностью в вычитании фона событий от взаимодействия

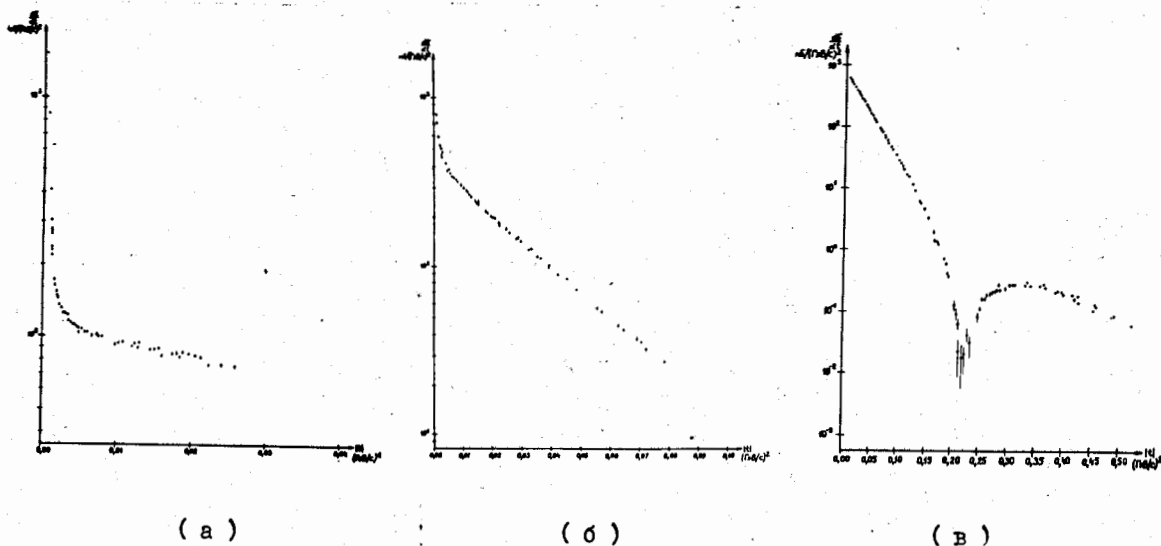


Рис. 8. Распределения дифференциальных сечений в зависимости от величины переданного 4-импульса $|t|$ для: (а) упругого pp -рассеяния при энергии налетающих протонов пучка 398 ГэВ; (б) упругого pd -рассеяния при энергии протонов пучка 379 ГэВ; (в) упругого pHe -рассеяния при энергии протонов пучка 302 ГэВ.

частиц пучка с остаточным газом и фона неупругих событий; ошибкой в определении коэффициента нормализации дифференциальных сечений.

В заключении приведены основные выводы диссертации.

- I. Проведена одновременная серия экспериментов по исследованию реакций рассеяния протонов на протонах и ядрах дейтерия и гелия в диапазоне энергий налетающих протонов от 40 до 400 ГэВ с использованием одних и тех же аппаратных и программных средств:
 - а. Исследовано упругое pp-рассеяние для $0,0005 \leq |t| \leq 0,03$ (ГэВ/с)² при следующих энергиях налетающих протонов пучка: 52, 80, 199, 261, 303, 398 ГэВ.
 - б. Впервые исследовано упругое pd-рассеяние для $0,0008 \leq |t| \leq 0,08$ (ГэВ/с)² при следующих энергиях протонов пучка: 49, 82, 182, 281, 379, 397 ГэВ.
 - в. Использование метода $\frac{\Delta E}{\Delta X}$, E разделения частиц отдачи по массам позволило измерить дифференциальные сечения упругого pHe-взаимодействия в районе первого минимума ($-t \approx 0,24$ (ГэВ/с)²), где наблюдается интерференция однократного и двукратного упругого нуклон-нуклонного перерассеяния. Исследовано упругое pHe-рассеяние для $0,002 \leq |t| \leq 0,52$ (ГэВ/с)² при следующих энергиях протонов пучка: 45, 97, 146, 200, 259, 302, 347, 393 ГэВ. Следует отметить, что измерения проведены впервые для энергий протонов пучка выше 24 ГэВ.
2. Проведён анализ и абсолютная нормализация экспериментальных данных с использованием оптической теоремы и получены дифференциальные сечения для упругого pp-, pd- и pHe-рассеяния во всём энергетическом диапазоне от 40 до 400 ГэВ. Систематическая ошибка в определении дифференциальных сечений в области интерференции кулоновского и ядерного взаимодействий не превышает 1,5%.
3. Создан комплекс аппаратных и программных средств для спектрометра, позволяющий измерять энергии и углы частиц отдачи на линии с ЭВМ PDP-11/20. Достигнуто угловое разрешение $\pm 0,8$ мрад, что в три раза лучше, чем в предыдущих экспериментах.
4. Создана диалоговая система программ для анализа информации эксперимента на ЭВМ класса PDP-11, с помощью которой осуществляется полный анализ данных и получение дифференциальных сечений исследуемых реакций.
5. Дальнейший анализ дифференциальных сечений позволил определить ряд основных величин, входящих в амплитуду упругого рассеяния. Это - отношение действительной части к мнимой для pp-, pd-, pHe-

и pn-рассеяния; параметр наклона ядерной части амплитуды рассеяния для pd- и pHe-взаимодействия; полное сечение для pd- и pHe-рассеяния. При анализе дифференциальных сечений pHe-взаимодействия с помощью модели Глаубера был оценен вклад в амплитуду рассеяния упругого нуклон-ядерного взаимодействия от процессов, связанных с неупругим перерассеянием нуклонов в ядре ⁴He.

ЛИТЕРАТУРА

1. E.Jenkins,...., V.Smirnov et al., FERMILAB-Pub-78/35-EXP7120.381, 1978.
2. Б.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Смирнов, ОИЯИ, P13-II828, Дубна, 1978.
3. Б.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Смирнов, ОИЯИ, P13-I2703, Дубна, 1979.
4. E.Jenkins,...., V.Smirnov et al., FERMILAB-Pub-79/56-EXP7120.381, 1979.
5. А.А.Кузнецов,...., В.А.Смирнов и др., Ядерная физика, 30, 1979, IO18.
6. D.Gross,...., V.Smirnov et al., Phys. Rev. Lett., 41, 1978, 217.
7. В.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Смирнов, Abstracts of First European Symposium on Real Time Data Handling and Process Control, Berlin(West), 1979, A-2-9.
8. E.Jenkins,...., V.Smirnov et al., Contribution to the 19th International Conference on High Energy Physics, Tokio, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1980 года.