

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 344.1и
А-329

16/ix-74

1 - 8123

3691/2-74

Г.Т.Адылов, А.С.Водопьянов, В.Гаевски,
Т.С.Нигманов, Э.Н.Цыганов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПЕКТРОМЕТРА
В ОПЫТЕ ПО π -e-РАССЕЯНИЮ
ПРИ ЭНЕРГИИ 50 ГЭВ

1974

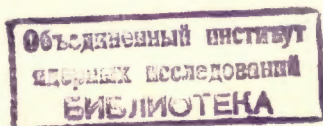
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Г.Т.Адылов,¹ А.С.Водопьянов, В.Гаевски,²
Т.С.Нигманов, Э.Н.Цыганов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПЕКТРОМЕТРА
В ОПЫТЕ ПО π -e-РАССЕЯНИЮ
ПРИ ЭНЕРГИИ 50 ГЭВ

¹ Ташкентский государственный университет.

² Институт ядерных исследований, Варшава.



Адылов Г.Т., Водопьянов А.С., Гаевски В.,
Нигманов Т.С., Цыганов Э.Н.

1 - 8123

Определение эффективности спектрометра в опыте по
 π - e -рассеянию при энергии 50 ГэВ

Описывается процедура определения эффективности нахождения событий в опыте по упругому π - e -рассеянию при энергии первичных пионов 50 ГэВ. Методом Монте-Карло получена зависимость эффективности спектрометра от среднего числа частиц пучка, прошедших через установку за время памяти искровых камер. Средняя эффективность спектрометра равна $(94 \pm 0,9)\%$. Основной вклад в приведенной ошибке составляет систематическая погрешность.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе описывается процедура, разработанная для определения эффективности нахождения событий, зарегистрированных магнитным искровым спектрометром в опыте по упругому Π - e -рассеянию при энергии первичных Π -мезонов 50 ГэВ ^{/1,2,3/}. Этот вопрос уже обсуждался нами в работе ^{/4/}, где были рассмотрены методы получения информации, необходимой для моделирования работы экспериментальной установки, по реальным событиям, зарегистрированным в эксперименте.

Спектрометр состоял из трех блоков, содержащих бесфильмовые магнитострикционные искровые камеры ^{/2/} и пропорциональные камеры ^{/3/}, анализирующего магнита и системы запуска из сцинтилляционных счетчиков и черенковских счетчиков полного поглощения. В эксперименте использовалась жидководородная мишень. Блоки камер были расположены перед мишенью, между мишенью и магнитом и за ним. Экспериментальная информация регистрировалась с помощью ЭВМ, работавшей на линии с установкой.

Для определения эффективности спектрометра методом Монте-Карло разыгрывались акты рассеяния Π -мезонов на электронах, производились траектории частиц, участвующих в реакции. При этом учитывалось дифференциальное сечение процесса, многократное рассеяние частиц, радиационные потери энергии электрона, геометрия установки и системы счетчиков, участвующих в запуске, реальные параметры первичного пучка. В соответствии с фоновыми условиями, имевшими место в эксперименте, разыгрывались и восстанавливались траектории фоновых треков и фоновые искры в спектрометре. Затем моделировалась работа экспериментальной аппаратуры. Представление о работе детекторов и другие необходимые данные были получены из экспериментальной информации ^{/4/}. В результате работы программы

Монте-Карло на магнитную ленту записывалась координатная информация, соответствующая реальным данным, регистрируемым в эксперименте. Затем эта информация обрабатывалась теми же самыми программами геометрического и кинематического восстановления событий, которые были использованы для обработки экспериментальных данных /5,6/. Отношение числа событий, найденных на этом генерированном материале, к их полному числу дает величину эффективности спектрометра. Эта эффективность зависит как от качества работы установки, так и от качества программ, разработанных для поиска и идентификации событий.

Сравнение характеристик реальных и генерированных событий позволило уточнить параметры программы Монте-Карло.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТА П-е-РАССЕЯНИЯ

Моделирование акта П-е-рассеяния и проведение траекторий частиц через установку было выполнено следующим образом.

Импульс первичного П-мезона разыгрывался в соответствии с экспериментальными данными в виде гауссовского распределения со средним значением 50 Гэв/с и стандартным отклонением 800 Мэв/с. Для генерирования позиций и углов первичных П-мезонов использовались распределения, полученные из экспериментального материала, при этом учитывалась рабочая апертура мониторингового телескопа. Позиция точки рассеяния падающего П-мезона разыгрывалась равномерно вдоль всей длины мишени (50 см). Сечение процесса упругого П-е-рассеяния в зависимости от переданного импульса было представлено в виде

$$d\sigma/dq = K (q^2 - q^{-1} q_{\text{MAX}}^2) F^2(q^2) ;$$

$$F(q^2) = 1 - q^2 r_e^2 / 6 + \dots , \quad K = 520.98 \text{ мб (МэВ/с)}^2,$$

где q_{MAX} - максимальный переданный импульс, r_e - среднеквадратичный электромагнитный радиус П-мезона (в расчетах принято $r_e = 0.7 f$). Азимутальный угол плоскости рассеяния вторичных частиц выбирался случайным образом в интервале 0-2π. При моделировании траектории вторичного электрона учитывались его радиационные потери в веществе установки.

Отклонение траекторий частиц в магнитном поле производилось в соответствии с гипотезой об идеальном магните, однако для каждого трека была разыграна случайная неоднородность магнитного поля равновероятно в интервале $\pm 0,2\%$.

Процедура моделирования траектории частиц П-е-события включала также учет многократного кулоновского рассеяния. Все вещество установки было представлено в виде набора 99 тонких слоев определенных типов вещества, куда входили жидкий водород, газообразный гелий, воздух, медь, майлар, полиэтилен. Углы отклонений частиц в каждом слое разыгрывались в соответствии с теорией Мольера и траектории частиц прослеживались от слоя к слою через всю установку.

При моделировании использовалась реальная геометрия системы запуска установки. Единственное отличие заключалось в том, что все размеры сцинтилляционных и черенковских счетчиков были уменьшены по внешним краям на 3 мм. Это было сделано для исключения эффекта граничных обрезаний в геометрической программе. С этой же целью импульсы первичных П-мезонов ограничивались значением 49-51 Гэв/с.

Некоторая неэффективность программ поиска и реконструкции событий могла быть обусловлена ошибочной идентификацией электрона. Для учета этого эффекта амплитуды сигналов с черенковских счетчи-

ков, которые использовались для идентификации частиц, разгравались в соответствии с реальными распределениями для Π -мезона и электрона .

Результат моделирования дифференциального сечения процесса упругого Π - e -рассеяния и учета геометрии установки иллюстрируется рисунком I, где приведено распределение реальных и генерированных событий в зависимости от энергии вторичного электрона. Распределения удовлетворительно согласуются.

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОНОВЫХ УСЛОВИЙ

Информацией для разгравания фоновых треков и дополнительных искр служили характеристики фона, полученные в работе /4/. Каждый сеанс, соответствующий одной магнитной ленте и содержащий около 1% полной статистики, характеризовался собственным значением среднего числа пучковых частиц (λ), прошедших за время памяти искровых камер. Число фоновых треков в событии разгравалось в соответствии с пуассоновским распределением. Реальная фоновая загрузка в сеансах изменялась в диапазоне $0,2 < \lambda < 1,6$.

Процедура разгравания параметров фоновых треков была аналогична процедуре разгравания соответствующих параметров первичного Π -мезона в акте Π - e -рассеяния. Аналогичным образом разгравались импульсы, координаты и углы наклона фоновых пучковых частиц. Пространственное распределение частиц было восстановлено с использованием специальных пучковых сеансов, которые регулярно проводились в течение эксперимента. Разграваемые координаты фоновых пучковых частиц не ограничивались апертурой мониторного телескопа.

В моделирование фоновых условий было также включено разграв-

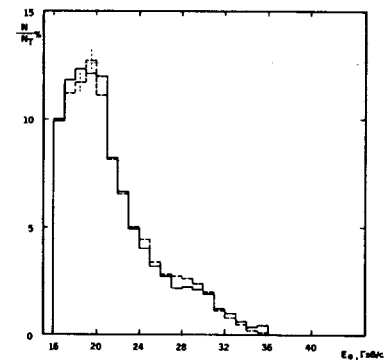


Рис. I. Распределение событий Π - e -рассеяния в зависимости от энергии вторичного электрона. Сплошной линией приведены данные для реальных событий, пунктирной — для событий Монте-Карло.

вание дополнительных искр, не лежащих на треках. Сведения о частоте появления и о координатном распределении таких искр были извлечены из результатов, полученных при поиске фоновых треков^{/4/}.

IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ И РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В качестве исходных значений вероятности регистрации искр треков П-е-рассеяния использовались II групп параметризованных эффективностей для каждой камеры, которые были получены ранее^{/4/}. В каждой группе, содержащей эффективность искрового промежутка и вероятность регистрации соответствующего магнитострикционного сигнала съемным датчиком, была произведена параметризация по числу фоновых треков и по расстоянию между двумя треками. В дальнейшем эти исходные значения эффективностей были скорректированы с учетом двух эффектов.

Первая коррекция представляла собой учет эффекта завышения истинной эффективности камеры при вычислении её по отсутствию искр в плоскости камеры в некотором диапазоне вокруг фиксированного трека (мы использовали диапазон ± 2 мм). Эффект заключается в том, что программа поиска треков иногда включает в треки П-е-события фоновые искры. Это происходит, когда камера не сработала по треку П-е-рассеяния, а фоновый трек прошел достаточно близко от траектории рабочей частицы и дал соответствующую искру в камере. Качественно этот эффект был ещё замечен при разработке программ поиска событий. Предварительный анализ свидетельствовал, что такое завышение эффективности для событий с двумя фоновыми треками больше, чем для событий с одним фоновым треком, а в событиях без фоновых треков это завышение отсутствует.

Детальная проверка эффекта показала, что величина относительного завышения приблизительно одинакова для всех малых камер, почти отсутствует для больших камер, расположенных за магнитом (из-за малой загрузки на единицу площади) и не меняется при переходе от одного сеанса к другому.

Обсуждаемый эффект искажения эффективности камер был скомпенсирован следующим образом. Моделировались события с числом фоновых треков 0,1,2,3. Исходные эффективности искровых промежутков при этом моделировании трансформировались возведением в некоторую степень Р, различную для событий с различным числом фоновых треков. По событиям, смоделированным таким способом, вновь находились эффективности искровых камер, и средняя по блоку камер "вторичная" эффективность искрового промежутка сравнивалась со значением соответствующей исходной величины. Критерием правильной трансформации исходной эффективности для событий с определенным числом фоновых треков являлось равенство величин "вторичной" и "первичной" эффективности.

На рис.2 приведены результаты такого исследования. Рисунки а,б,в и г относятся к событиям с числом фоновых треков 0,1,2 и 3, соответственно. По оси абсцисс отложена величина степени Р, по оси ординат – относительная разница "первичной" и "вторичной" эффективности. Видно, что наилучшие значения Р равны 1; 1,5; 3,5 и 5,0 для числа фоновых треков 0,1, 2 и 3 соответственно.

Вторая коррекция была связана с тем, что в использованной параметризации эффективностей не было учтено, как влияют на эффективность камер время прохождения фоновой частицы относительно

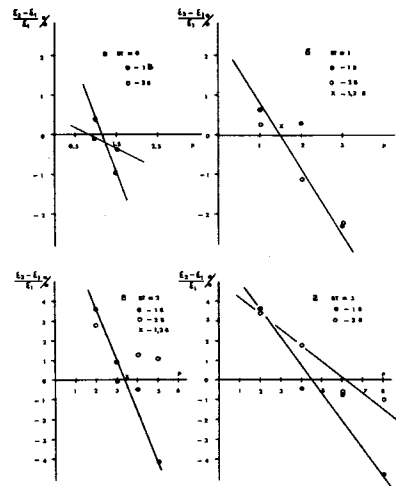


Рис. 2. Результаты подбора параметра P , компенсирующего эффект завышения истинной эффективности камеры. По оси абсцисс отложена величина P , по оси ординат – относительная величина разности между "вторичной" и "первичной" средней по блоку эффективностью искрового промежутка. Рисунки а, б, в и г соответствуют числу фоновых треков 0, 1, 2, 3.

момента подачи высоковольтного импульса, время между срабатываниями установки и некоторые другие условия, которые в нашем случае не могли быть представлены явным образом либо вследствие отсутствия соответствующей информации, либо из-за недостатка статистики. Учет корреляций, вызываемых незафиксированными изменениями внешних условий, был выполнен нами эмпирически. Необходимая степень таких добавочных корреляций определена подбором максимального соответствия характеристик реальных и генерированных событий. Наиболее чувствительными к различного рода корреляциям работы камер являлись число искр на треках события П-е-рассеяния в отдельных блоках искровых камер и полное число искр в событии.

На рис.3 приведено распределение событий по полному числу искр для одной из типичных групп статистики. Сплошной линией приведены данные для реальных событий П-е-рассеяния, пунктирной линией представлены данные по событиям, моделированным без учета добавочных корреляций. Видно, что эти распределения плохо согласуются друг с другом, хотя средние значения числа искр для обоих распределений практически совпадают. Максимум распределения, полученного для генерированных событий, смещен в сторону меньших значений полного числа искр, однако в этом распределении отсутствует хвост событий с большим числом отказов камер, имеющийся в реальном распределении. Следовательно, значительная часть реальных событий несколько "лучше" моделированных, зато небольшая их часть существенно "хуже". В соответствии с этим, при введении соответствующей поправки мы завышали эффективности всех камер для большей части генерированных событий и занижали её для остальных событий. Доля "хороших" и "плохих" событий, а также степень трансформации

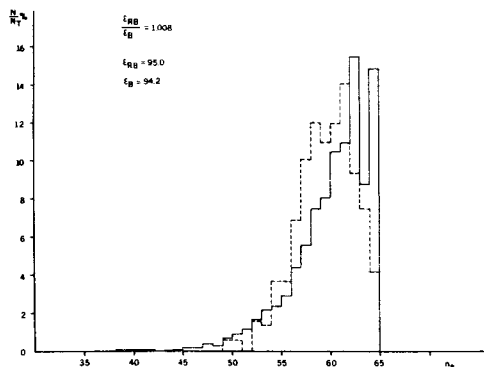


Рис. 3. Распределение событий по полному числу искр. Пунктиром приведены данные Монте-Карло, сплошной линией – реальные данные. События Монте-Карло генерированы без учета дополнительных корреляций. Распределения плохо согласуются между собой.

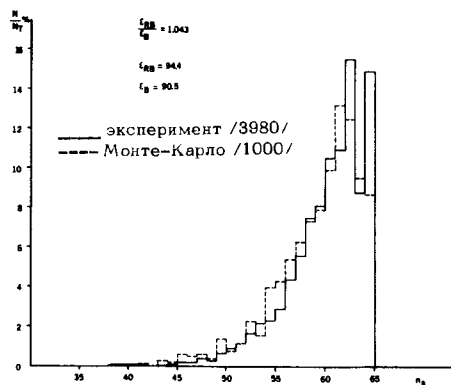


Рис. 4. Распределение событий по полному числу искр (события те же, что и на рис. 3). Пунктиром приведены данные Монте-Карло, сплошной линией – реальные данные. События Монте-Карло генерированы с учетом дополнительных корреляций. Согласие распределений существенно лучше, чем на рис. 3.

исходных значений эффективностей камер тщательно подбирались для каждой из II групп статистики таким образом, чтобы привести распределения генерированных событий по полному числу искр в максимальное соответствие с реальными данными.

На рисунке 4 приведены распределения событий по полному числу искр для генерированных и реальных событий по той же группе статистики, которая была представлена на рисунке 3. Моделирование проведено с учетом дополнительных корреляций, описанных выше. Видно, что распределение генерированных событий соответствует реальным данным в существенно большей степени, чем без учета этого эффекта. Существенно лучше согласуется с реальными данными в этом случае и величина отношения эффективностей двух различных вариантов программы поиска и восстановления событий. Эта величина, равная 1,044 для реальных данных, без учета дополнительных корреляций составляет 1,008 (рис.3), с учетом их в соответствии с описанной выше процедурой равняется 1,043 (рис.4).

На рисунке 5 представлено сравнение реальных (сплошной линией) и генерированных (пунктиром) событий, тех же, что представлены на рис.4, по числу искр на треках событий в трех блоках спектрометра. Верхние рисунки представляют собой данные для χ -проекции, нижние – для γ -проекции. Видно, что распределения для реальных и генерированных событий достаточно хорошо согласуются.

При моделировании событий использовалась информация об эффективности искровых камер к регистрации фоновых треков, полученная в работе /4/. Эти эффективности, полученные для каждой камеры по тем же II группам статистики, не были параметризованы до каких-либо другим параметрам.

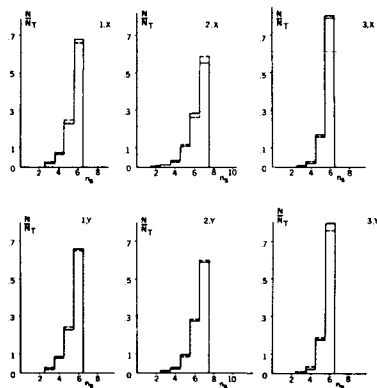


Рис. 5. Распределение событий по числу искр на треках в отдельных блоках искровых камер. Три верхние рисунка соответствуют X-проекции, три нижние - Y-проекции. Пунктиром изображены события Монте-Карло, сплошной линией - реальные события.

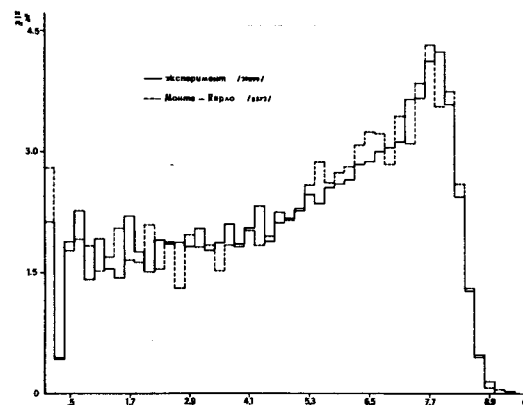


Рис. 6. Распределение событий по углу θ_Y разлета вторичных треков в Y-проекции. Пунктиром представлены события Монте-Карло, сплошной линией - реальные события. Виден пропуск событий в диапазоне 0,2 - 0,4 миллирадиана, связанный с мертвым временем съемных датчиков в камерах третьего блока. Монте-Карло удовлетворительно воспроизводит этот эффект.

В процессе генерирования событий учитывался также конкретный механизм регистрации информации съемными датчиками камер. Конечная ширина магнестрикционного сигнала и мертвое время усилителей-формирователей /1/ приводили к тому, что из двух сигналов, расположенных на расстоянии менее 5 мм, с высокой эффективностью регистрировался только сигнал, расположенный ближе к съемному датчику. Параметры всех датчиков, необходимые для моделирования, были получены по реальным событиям.

Как описано в работе /1/, для надежной идентификации событий с малым углом разлета вторичных частиц во втором блоке искровых камер информация регистрировалась с обоих концов магнестрикционной ленты. Такой же механизм был заложен и в программу Монте-Карло. В третьем блоке искровых камер, где информация снималась лишь с одного конца магнестрикционной ленты, эффект мертвого времени датчиков в Y -проекции приводил к существенной потере тех событий, у которых угол разлета в этой проекции был меньше, чем 0,4 миллирадиана. Эффект иллюстрируется рисунком 6, где приводится распределение реальных (сплошная линия) и генерированных (пунктир) событий в зависимости от угла разлета вторичных частиц в Y -проекции. Из рисунка видно, что программа Монте-Карло достаточно хорошо воспроизводит этот эффект, который составляет около 1% всей статистики. Такого эффекта не наблюдается в X -проекции вследствие отклоняющего действия магнита.

У. РЕЗУЛЬТАТЫ

Как уже было отмечено выше, для генерирования событий вся экспериментальная информация была разбита на отдельные группы.

Для моделирования каждой группы при генерировании использовались исходные данные, полученные по этой группе реальных событий. Генерирование производилось для различных значений среднего числа фоновых треков λ в диапазоне от 0 до 1,6 с шагом 0,1. Затем полученные результаты фитировались зависимостью $\epsilon(\lambda) = A + B\lambda + C\lambda^2$ и для каждого сеанса из данной группы определялась эффективность спектрометра по индивидуальному значению λ /4/ в этом сеансе. Для определения средней эффективности спектрометра в эксперименте данные по всем сеансам были взвешены в соответствии со статистикой мониторинжных отсчетов в каждом сеансе. Полученная таким образом эффективность спектрометра оказалась равной 0,940 для наиболее эффективного варианта программы поиска событий. По нашим оценкам, систематическая ошибка в определении этой величины составляет около 0,15 ($1 - \epsilon$), т.е. равна около 0,009. Эта оценка следует из анализа данных, полученных при варьировании параметров Монте-Карло для подбора значений, наилучшим образом воспроизводящих характеристики реальных событий.

Зависимости эффективности спектрометра от среднего числа фоновых треков для двух типичных групп статистики приведены на рисунках 7 и 8. Сплошной линией указаны фитированные данные для наиболее эффективной программы поиска событий, пунктирной - данные для менее эффективной программы. Из этих рисунков видно, что эффективность спектрометра падает с увеличением фоновой загрузки. Однако, даже при отсутствии фоновой загрузки эффективность не достигает 100%, что связано с потерей событий из-за мертвого времени съемных датчиков в камерах третьего блока.

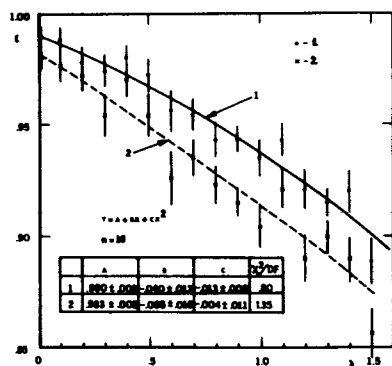


Рис. 7. Зависимость эффективности спектрометра от среднего числа фоновых треков для одной из типичных групп сеансов. Сплошной линией профитированы данные, полученные по наиболее эффективной программе поиска событий, пунктирной — полученные по менее эффективной программе.

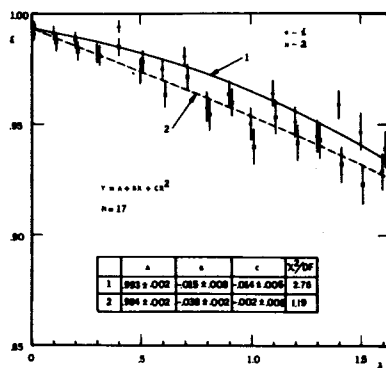


Рис. 8. Те же данные, что и на рис. 7, для второй типичной группы сеансов.

На рисунке 9 приведены "выходы" исследуемой реакции в нашем эксперименте, т.е. число зарегистрированных событий Π -e-рассеяния на один первичный Π -мезон, падающий на водородную мишень, в зависимости от среднего числа фоновых треков λ . Каждая точка соответствует одному сеансу. Данные приведены по результатам наиболее эффективного варианта программы поиска и реконструкции событий и не исправлены на эффективность спектрометра. Фитирование этих данных прямой со свободным наклоном указывает на наличие зависимости "выхода" от λ . Эффект выходит за пределы двух стандартных отклонений. Для данных, полученных по менее эффективной программе, эта зависимость более ярко выражена и выходит за пределы пяти стандартных отклонений.

На рисунке 10 представлены те же данные, исправленные на эффективность спектрометра по результатам описанных в настоящей работе вычислений. В пределах одного стандартного отклонения не наблюдается зависимости "выхода" реакции от интенсивности, что является сильным аргументом в пользу корректности проведенных вычислений.

Нами было исследовано также поведение эффективности спектрометра в зависимости от передаваемого импульса q^2 . Для набора достаточно большой статистики во всем доступном диапазоне передаваемых импульсов события разыгрывались равновероятно по всем возможным значениям передаваемого импульса. Анализ проводился на основе параметров, полученных для одной из типичных групп статистики. Не было найдено существенной зависимости эффективности спектрометра от передаваемого импульса и при дальнейшем физическом анализе экспериментальных данных была использована одна и та же величина эффективности для всех q^2 .

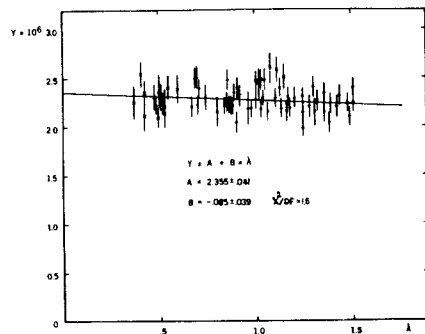


Рис. 9. Число найденных событий в сеансе, отнесенное к одному первичному Γ -мезону, падающему на водородную мишень, в зависимости от среднего числа фоновых пучковых треков. Данные не скорректированы на эффективность спектрометра. Сплошная линия – результат фитирования свободной прямой линией. Наклон этой прямой отличается от нуля более чем на два стандартных отклонения.

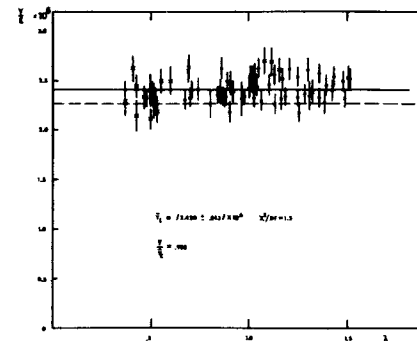


Рис.10. Те же данные, что и на рис. 9, скорректированные на эффективность спектрометра, вычисленную в настоящей работе. Зависимость от интенсивности при фитировании данных свободной прямой линией не превышает одного стандартного отклонения. Сплошной линией изображено среднее значение представленных на этом рисунке скорректированных данных, пунктирной – среднее значение этих данных без поправки на эффективность спектрометра.

В заключение авторы благодарят дирекцию Лаборатории высоких энергий и дирекцию Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ за возможность выполнения этой работы. Авторы благодарят также В.П.Шурикова и Л.С.Первушова за организацию наиболее удобного режима работы СДС 6200 во время выполнения этой задачи, а также весь коллектив операторов ЭВМ ЛВТА.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. G.T.Adylov et al. "Experimental setup in a π -e scattering experiment at 50 GeV/c". JINR report E13-6749 (1972).
2. G.T.Adylov et al. "Magnetostrictive spark chamber system on-line with a computer in a π -e experiment at 50 GeV/c". JINR report E13-6658 (1972).
3. Yu.V.Zanevsky et al. "Multiwire proportional chambers in a π -e experiment at 50 GeV/c". Nucl. Instr. and Meth., 100, 481 (1972).
4. Адюлов Г.Т. и др. "Определение характеристик детекторов и других параметров, необходимых для корректного вычисления эффективности спектрометра в опыте по π -e-рассеянию при 50 Гэв". Сообщение ОИЯИ I-8I05, (1974).
5. Г.Т.Адюлов и др. "Программа поиска и восстановления событий в эксперименте по π -e-рассеянию при энергии 50 Гэв". Часть I. Сообщение ОИЯИ, I-80II (1974).
6. Г.Т.Адюлов и др. "Программа поиска и восстановления событий в эксперименте по π -e-рассеянию при энергии 50 Гэв". Часть 2. Сообщение ОИЯИ, I-80I2 (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
22 июля 1974 года.