

**Федеральное Агентство по Образованию
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет	Естественных Наук и Математики
Направление	Физика
Кафедра	Общей Физики

**МЕТОД ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
МНОЖЕСТВЕННОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР**

Курсовой проект

Студент _____ О. И. Виноградова

Проверил _____ В. Н. Забаев

Томск-2007

ЗАДАНИЕ

На курсовое проектирование по экспериментальным методам в ядерной физике студентке гр. 13А30 Виноградовой О. И.

ТЕМА:

Метод ядерных фотоэмульсий для исследования множественной фрагментации релятивистских ядер.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование метода ядерных фотоэмульсий.

Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Ядерная фотоэмульсия
 - 1.1. Общая характеристика ядерной фотоэмульсии
 - 1.2. Проявка
 - 1.3. Метод ядерных фотоэмульсий
 - 1.4. Механизм образования следов
 - 1.5. Ионизационные потери заряженных частиц в эмульсии и классификация треков
 - 1.6. Определение длины следа
 - 1.7. Методика эксперимента
2. Поиск событий по следу, по площади и описание найденных событий
 - 2.1. Описание методики поиска событий
 - 2.2. Расчет среднего свободного пробега ядра ^{32}S

Оценка _____ руководитель _____ к.ф.-м.н. Зарубин П. И.
начальник сектора
ОИЯИ г. Дубна

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Ядерная фотоэмульсия.....	5
1.1. Общая характеристика ядерной фотоэмульсии.....	5
1.2. Проявка.....	9
1.3. Метод ядерных фотоэмульсий.....	11
1.4. Механизм образования следов.....	13
1.5. Ионизационные потери заряженных частиц в эмульсии и классификация треков	14
1.6. Определение длины следа	16
1.7. Методика эксперимента.....	16
2. Поиск событий по следу, по площади и описание найденных событий.....	18
2.1. Описание методики поиска событий.....	18
2.2. Расчет среднего свободного пробега ядра ^{32}S.....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21

ВВЕДЕНИЕ

Детальное исследование явления фрагментации релятивистских ядер-снарядов имеет важные преимущества по сравнению с классическими экспериментами по расщеплению ядер-мишеней. В частности, уверенная идентификация продуктов фрагментации делает возможным изучение ядерной структуры в условиях очень малых передач энергии-импульса. Знание характеристик фрагментации релятивистских ядер необходимо также для решения ряда задач ядерной астрофизики и физики космических лучей.

При исследовании взаимодействий при высоких энергиях значительную роль играет обладающий уникальными возможностями метод ядерных фотоэмульсий. Благодаря наилучшему пространственному разрешению (0.5 мкм), в ядерной эмульсии в зависимости от первичного импульса может быть получено угловое разрешение для следов релятивистских фрагментов до 10^{-5} рад. Это обеспечивает полную наблюдаемость всех возможных распадов релятивистских ядер на заряженные фрагменты. Кроме того, эмульсионная методика позволяет измерять импульсы и идентифицировать частицы. Поэтому, благодаря высокому разрешению эмульсий и возможности наблюдения реакций в 4π -геометрии, именно этот метод представляется эффективным способом для изучения процессов релятивистской фрагментации.

1. Ядерная фотоэмульсия

1.1. Общая характеристика ядерной фотоэмульсии

Ядерные эмульсии представляют собой высококонцентрированные и высокодисперсные эмульсии из бромистого серебра. Концентрация AgBr , который находится в форме микрокристаллов почти сферической формы, в большинстве изготавливаемых в настоящее время эмульсий составляет около 83% по весу. В качестве среды, в которой распределены микрокристаллы AgBr , наиболее широко используется желатин с пластификатором. Средние размеры микрокристаллов бромистого серебра для большинства ядерных эмульсий находятся в пределах 0,12-0,3 мкм, эмульсии НИКФИ, Илфорд, Кодак, Агфа, Истмен и др.

Удельная плотность всех эмульсий с нормальным составом находится в пределах 3,8 – 4,0 г/см³.

Ядерные эмульсии изготавливаются либо на стеклянной подложке с толщиной эмульсионного слоя от 50 до 400 мкм, либо без подложки с толщиной слоя 400-600 мкм. Последние предназначены главным образом для собирания эмульсионных камер.

Анализ элементарного состава ядерных эмульсий показывает, что в эмульсии главным образом содержится две далеко отстоящих по атомному весу группы атомов: Н, С, N, О и Ag, Br при весьма незначительном количестве атомов S, J, Au.

Основными компонентами ядерной эмульсии являются:

- а) галоидное серебро – главным образом бромистое, обладающее плотностью 6,47 г/см³;
- б) желатин и пластификатор (например, глицерин);
- в) вода.

Галоидное серебро находится в эмульсии в виде микрокристаллов (или «зерен») кубической или почти сферической формы в зависимости от метода приготовления.

Желатин и пластификатор содержат следующие элементы: углерод, азот, кислород, водород и серу. Желатин представляет собой сложное вещество, вследствие чего неизбежно существует незначительная разница в химическом составе желатина, поставляемой различными изготовителями.

Глицерин вводится в эмульсию в качестве пластифицирующего вещества. Он уменьшает хрупкость эмульсии и способствует появлению пластических деформаций при возникновении напряжений в слое. Последнее имеет особенно большое значение в тех случаях, когда пластинки должны экспонироваться в вакууме, поскольку в подобных условиях эмульсия без пластификатора часто отрывается от стекла. Сцепление между эмульсией и стеклом настолько велико, что последнее часто разрушается под действием натяжений, появляющихся при высыхании эмульсии, причем из пластинок вырываются чешуйки стекла, прочно прилипшие к эмульсии.

По своим фотографическим, лучше сказать, ядерносенситометрическим, характеристикам все ядерные эмульсии разделяются на три основных типа.

1. Эмульсии низкой чувствительности, предназначенные для регистрации сильноионизирующих частиц с потерями энергии ≥ 50 кэВ на 1мкм пробега (осколков деления, многозарядных ионов, медленных α -частиц).
2. Эмульсии средней чувствительности, способные регистрировать следы частиц с ионизацией ≥ 2 кэВ на 1мкм пробега (протоны с энергией 50-100МэВ).
3. Эмульсии высокой чувствительности, регистрирующие следы частиц с минимальной ионизацией (0,55кэВ на 1мкм).

Эмульсии, применяемые в настоящее время для регистрации следов заряженных частиц, отличаются от обычных фотоэмульсий двумя особенностями:

- а) отношение количества галоидного серебра к желатине в ядерной эмульсии приблизительно в восемь раз больше, чем в обычной;
- б) толщина слоя ядерной эмульсии превышает, как правило, в 10-100 раз толщину обыкновенной эмульсии. Кроме того, в современных условиях ядерные эмульсии часто применяются в виде отдельных слоев, лишенных стеклянной подложки.

Одной из основных используемых ядерных фотоэмульсий является эмульсия типа БР-2, обеспечивающая чувствительность вплоть до релятивистских однозарядных частиц и дающих минимум ионизационных потерь. Основные характеристики этой эмульсии приведены в табл. 1.1

Таблица 1.1 – Химический состав эмульсии (литературные данные по составу ядерной фотоэмульсии БР-2; отн. влажность 58%)

Элемент	Z	10^{22} атомов/см ³
Серебро/ Ag	47	1,02
Бром/ Br	35	1,01
Йод/ I	53	0,006
Углерод/ C	6	1,39
Водород/ H	1	3,19
Кислород/ O	8	0,94
Сера/ S	16	0,014
Азот/ N	14	0,32

Кроме основного вида эмульсии типа БР-2 в последние годы также широко использовались ее модификации с уменьшенным размером зерна (мелкозернистые) и уменьшенной концентрацией ядер AgBr (разбавленные). Добавление к эмульсии определенных веществ делает ее избирательно чувствительной к некоторым ядерным реакциям. (Например, добавление ¹⁰B

делает эмульсию чрезвычайно чувствительным детектором нейтронов). Выбор типа эмульсии зависит от ее предполагаемого применения. Чувствительность эмульсии должна быть достаточно велика, чтобы обеспечить плотность зерен, необходимую для регистрации следа частицы. При излишней чувствительности плотность зерен может оказаться настолько большой, что отдельные зерна станут неразличимыми и их нельзя будет сосчитать.

Фотоэмульсионная методика позволяет зарегистрировать все заряженные частицы в расщеплении, а также определить область, ответственную за их образование. Метод ядерных эмульсий является вполне адекватным для изучения глобальных характеристик явления фрагментации ядра-снаряда благодаря весьма высокой пространственной разрешающей способности, наблюдаемости акта соударения в 4 π -геометрии эксперимента, сравнительной легкости измерения зарядов фрагментов и возможности регистрации весьма малых возбуждений ядра-мишени, что важно для изучения корреляции между продуктами фрагментации снаряда и мишени. Эти достоинства фотометода тем ощутимей, чем выше первичная энергия столкновения. По своему атомному составу: водород H (~4% взаимодействий), группа легких ядер CNO (~26% взаимодействий), группа тяжелых ядер AgBr (~70% взаимодействий) фотоэмульсии позволяют получить характеристики ядер, далеко отстоящих по атомному весу.

Методика ядерных эмульсий всегда обеспечивала обзорные наблюдения по физике микромира благодаря высокой достоверности наблюдаемых событий, прекрасному пространственному разрешению и максимально полной наблюдаемости следов заряженных частиц. В ряде важных случаев она позволяет измерять импульсы, идентифицировать частицы. Поэтому именно она представляется эффективным способом для изучения процессов релятивистской фрагментации благодаря высокому разрешению эмульсий и возможности наблюдения реакций в полной геометрии. Особое преимущество имеет наблюдение в эмульсиях ядер с

дефицитом нейтронов, благодаря более полной наблюдаемости продуктов реакции.

Расцвет использования эмульсий пришелся на пятидесятые годы, когда были получены пионерские результаты по физике элементарных частиц. Прежде всего была решена проблема получения толстых слоев эмульсии (600 мкм), позволивших получать объемные образы событий. А высокая однородность облучаемого материала открыла возможности спектрометрии и идентификации частиц.

Положительной чертой исследования процесса фрагментации ядер с помощью эмульсии является то, что следы частиц в желатине остаются навсегда и исследователь может изучать их снова и снова, чего не невозможно сделать машинным методом.

Также не последней по значимости положительной чертой эмульсии является ее дешевизна. Для изучения физики высоких энергий эмульсия имеет огромное преимущество в экономическом плане по сравнению с другими методами.

1.2. Проявка

Наиболее существенной чертой фотографического процесса с применением галоидосеребряных эмульсий является то, что при обработке подобных эмульсий специальным восстанавливающим раствором (“проявителем”) те зерна, на которых имелись подходящие “центры проявления”, превращаются в частицы металлического серебра. Физико-химические процессы, связанные с таким превращением, оказываются весьма сложными и являются предметом многочисленных исследований. По-видимому, существует значительное число конкурирующих механизмов, каждый из которых может быть существенно модифицирован путем незначительного изменения состава проявляющих растворов. Серебро может отлагаться на границе раздела между кристаллом бромида и “областью

чувствительности” или на границе между этой областью и раствором. В последнем случае серебро выделяется за счет ионов Ag^+ , находящихся в растворе, причем подобный процесс подвержен сильному влиянию растворителей бромистого серебра, какими являются, например, галоидные соединения щелочных металлов, тиосульфат натрия и т.п.

Структура и форма зерен выделяющегося серебра также сильно зависят от конкретных условий проявления. Эти зерна могут состоять из скоплений мельчайших микрокристаллов или из таких же кристаллов, но связанных между собой в тонкие плоские нити. Однако на существующей стадии развития фотометода подобные детали - хотя они и представляют значительный интерес - не имеют какого-либо практического значения при регистрации следов, поскольку размеры серебряных зерен оказываются порядка длины волны видимого света, вследствие чего характер их строения незначительно влияет на наблюдаемое в микроскоп изображение.

Следует заметить, что галоидные соли серебра играют исключительно важную роль в фотографии именно вследствие их способности подвергаться проявлению, поскольку никакое другое соединение не обладает такими свойствами в сравнимой степени. Многие вещества могут подвергаться изменениям под действием света или иной радиации, причем возникшие изменения могут оказаться относительно устойчивыми, однако ни одно из этих веществ не обладает чувствительностью, приближающейся к чувствительности бромистого серебра, и лишь немногие из них обладают способностью к проявлению.

После проявления галоидосеребряная эмульсия помещается во вторую, так называемую “фиксирующую” ванну, в которой происходит растворение неизменных зерен галоида, после чего в желатине остаются лишь черные частицы металлического серебра. Совокупность весьма большого числа подобных частиц и образует видимое черное изображение, т.е. обычный фотографический негатив. В заключение пластинка промывается и высушивается.

1.3. Метод ядерных фотоэмульсий

Использование ядерных фотографических эмульсий при изучении взаимодействия частиц большой энергии с ядрами сыграло значительную роль в развитии существующих представлений о механизме этих взаимодействий.

Возможность визуального наблюдения единичных актов ядерного взаимодействия в виде так называемых «звезд» в ядерной эмульсии позволяет получить большое число непосредственных данных о характеристиках ядерных реакций: о числе и природе образующихся при расщеплении ядра заряженных частиц, об их угловом и энергетическом распределениях, о передаваемых ядру при столкновении энергии и импульса и т.д.

Суть метода ядерных фотографических эмульсий заключается в следующем. Заряженная частица, проходя через фотоэмульсию, активирует на своем пути кристаллы галоидного серебра и делает их способными к проявлению. После специальной обработки эмульсионных слоев в них появляются следы частиц в виде цепочки проявленных зерен, хорошо видных под микроскопом. Значительную роль в развитии этой методики сыграли такие физики, как Л.В. Мысовский, А.П. Жданов, С. Пауэл, Д. Паркинс, П. Фаулер.

Средняя плотность эмульсии составляет порядка $3,5 - 4 \text{ г/см}^3$, при остаточной влажности порядка 2,5%. Ядерные фотографические эмульсии используются для регистрации и анализа следов заряженных частиц практически любой энергии. По измерениям характеристик этих следов можно идентифицировать частицу и определить ее кинематические характеристики.

Время чувствительности ядерных эмульсий практически определяется временем их экспозиции, которое может быть порядка нескольких недель. В течение этого времени ядерная эмульсия регистрирует все заряженные

частицы, проходящие через нее. Благодаря высокому пространственному разрешению фотометод с успехом применяется для определения углов разлета частиц и ядер, образующихся в результате ядерного взаимодействия. По точности измерения малых углов метод ядерных эмульсий не имеет себе равных. При проведении экспериментов на ускорителях фотометод не требует большой затраты времени работы ускорителя. Расходы на аппаратуру также относительно малы. Среди многочисленных достоинств метода, однако, имеется и ряд недостатков.

Сложность состава вещества фотоэмульсии не позволяет однозначно ответить на вопрос, с каким ядром произошло взаимодействие налетающей частицы. Его устраняют введением дополнительных элементов и введением критериев отбора обрабатываемых событий. Существенным недостатком является невысокая скорость обработки облачений. И как следствие необходимость длительного времени для набора статистики. Однако, как правило, это компенсируется получаемым результатом. Тем самым, позволяя проводить планирование электронных экспериментов.

Точное определение состава эмульсии существенно влияет на точность измерений, которая может быть достигнута при помощи фотометода и которая требуется при точном определении энергии однородной группы частиц по их средним пробегаем. По этой причине было бы весьма желательно точно знать состав эмульсии в реальных условиях ее облучения.

Одно из затруднений, встречающихся при определении химического состава эмульсий, состоит в том, что желатина может быстро обмениваться водой с находящейся с ней в контакте газообразной или жидкой средой. Так, например, если поместить на поверхность эмульсии каплю иммерсионного масла и оставить ее на несколько минут, а затем стереть то можно заметить набухание участка поверхности желатины, находившегося в контакте с маслом. Описанный эффект объясняется поглощением незначительного количества воды, содержащегося в масле; возникающая вследствие этого

слабая деформация поверхности быстро исчезает, как только пластинка снова приходит в равновесие с окружающей ее атмосферой.

Подобным же образом эмульсия может поглощать воду из других веществ, как, например, из четыреххлористого углерода, в котором вода может содержаться в очень малом количестве. Все это затрудняет определение плотности при помощи обычного метода, основанного на взвешивании образца сначала в воздухе, а затем в жидкости с известной плотностью.

1.4. Механизм образования следов

В процессе образования следов заряженных частиц в эмульсии решающую роль играет возникновение δ -электронов (электроны, выбитые из атомов в процессе ионизации и в свою очередь способные ионизировать атомы среды, через которую они движутся), при наличии которых в данном зерне может выделиться количество энергии, намного превышающее то максимальное значение, которое оказалось бы возможным, если бы энергетические потери частиц были равномерно распределены вдоль ее пути. Так, например, в минимуме ионизации удельная ионизация частицы с зарядом $|e|$ составляет около 700 кэВ/мм. При равномерных потерях максимальное количество энергии, которое может быть поглощено зернами диаметром 0,3 μ , должно быть порядка 300 эВ (при прохождении частицы по диаметру зерна). С другой стороны, пробег δ -электрона с энергией меньше 5 кэВ оказывается настолько коротким, а его траектория настолько искривленной вследствие рассеяния, что при возникновении такого электрона внутри зерна он может остановиться, не выходя за пределы последнего. Таким образом, в отдельных зернах выделится значительно большее количество энергии, которое может быть затрачено на образование скрытого изображения. Вследствие описанного эффекта оказывается

возможным, что почти во всех эмульсиях некоторые зерна станут способными к проявлению после прохождения через них одной частицы, удельная ионизация которой близка к минимальной; однако для образования следа, достаточно хорошо различимого под микроскопом, число таких зерен на единицу длины траектории должно быть довольно велико по сравнению с общим «фоном».

1.5. Ионизационные потери заряженных частиц в эмульсии и классификация треков

Следы, оставляемые заряженными частицами в ядерной эмульсии, образуются в результате передачи энергии от движущейся частицы к атомам светочувствительных зерен. Заряженная частица, движущаяся в любой материальной среде, участвует в ряде взаимодействий с полями атомов и ядер, через которые она проходит; эмульсия сохраняет след каждой частицы и таким образом делает видимой «запись» этих взаимодействий. Характеристики следа зависят от сорта частицы и ее скорости. Поскольку эти характеристики можно измерять, появляется возможность идентификации частицы. Кроме ядерных реакций, которые могут иметь место при прохождении частицы в области действия ядерных сил, движущаяся заряженная частица теряет энергию на возбуждение или ионизацию атомов вдоль своего пути; при этом она вследствие кулоновского рассеяния много раз слегка меняет направление своего движения.

Когда частицы испытывают ядерные взаимодействия на лету со значительной потерей энергии, заряженные частицы останавливаются вследствие потерь энергии на ионизацию, и средний пробег частиц с энергией E_p равен:

$$\lambda = \int_0^{E_p} -\frac{dE}{dE/dx} \text{ см}, \quad (1.1)$$

где соотношение для средней потери энергии на ионизацию для частицы с зарядом z и скоростью $v=\beta c$ имеет вид:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_e z^2 e^4}{m_e v^2} \left[\ln \frac{2m_e v^2}{I_{em}(1-\beta^2)} - \beta^2 - \sum_i C_i - \delta \right] \text{ МэВ/см},$$

$$\text{где } N_e = \sum_i N_i Z_i \text{ и } N_e \ln I_{em} = \sum_i N_i Z_i \ln I_i,$$

а N_i – плотность в эмульсии атомов с порядковым номером Z_i и ионизационным потенциалом I_i ;

$\sum_i C_i$ – малый член, учитывающий то, что сильно связанные электроны не участвуют в процессе замедления частиц;

δ – небольшая поправка, учитывающая влияние плотности среды.

Плотность следа также непосредственно связана с потерями энергии на ионизацию, но на образование зерен вдоль следа идет только часть полных ионизационных потерь. Чтобы участвовать в образовании первичного следа, атомный электрон образует свой собственный ответвленный след, называемый следом δ -электрона. Можно измерять как плотность зерен вдоль следа, так и плотность δ -электронов.

При анализе данных в фотоэмульсионных экспериментах, используется следующая классификация частиц. Все вторичные заряженные частицы делятся на три класса в зависимости от скорости β , которая определяется по ионизации или пробегу:

s -частицы (ливневые) – однозарядные релятивистские частицы со скоростью $\beta > 0.7$ и относительной ионизацией $J/J_0 < 1.4$, где J_0 – плотность следа частицы в минимуме ионизационной кривой; в основном это рожденные мезоны, а также неупруго провзаимодействовавшие протоны с углом вылета, большим фрагментационного конуса;

g-частицы (серые) – быстрые фрагменты ядра-мишени с ионизацией $J/J_0 > 1.4$ и пробегом более 3 мм; в основном это протоны с энергией $E_p > 26$ МэВ;

b-частицы (черные) – медленные фрагменты ядра-мишени с пробегом менее 3 мм;

h-частицы - группа всех фрагментов мишени, включающая в себя g- и b-частицы, т.е. $N_h = N_b + N_g$.

Следы релятивистских частиц отделяются от серых по счету зерен на изучаемом следе и на следе первичной частицы (на той же глубине в эмульсии). Черные следы отделяются от серых по длине остаточного пробега ($R_b \leq 3000$ мкм). Из-за высокого пространственного разрешения фотоэмульсии регистрируются также ядра отдачи и δ -электроны.

1.6. Определение длины следа

Заряженная частица, движущаяся в фотографической эмульсии, испытывает торможение вследствие взаимодействия с атомами, расположенными на ее пути. После того как энергия частицы станет меньше нескольких тысяч электрон-вольт, ее ионизирующие действия прекращаются, в связи с чем обрывается видимый в эмульсии след. Длина следа частицы R , представляющая расстояние, измеренное вдоль траектории от точки возникновения следа до последнего проявленного зерна, позволяет определить с достаточно высокой точностью истинный пробег частицы.

1.7. Методика эксперимента

В эксперименте слои ядерной фотоэмульсии НИИХИМФОТОПРОЕКТа типа БР-2 размером $(10 \times 20 \times 0,06) \text{ см}^3$ была облучена первичным пучком ядер ^{32}S с энергией 3.65 ГэВ/нуклон на Нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ, г.Дубна 12.06.2003г. Был сформирован пучок, соответствующий профилю стопки с достаточно равномерным

распределением. Размеры пучка контролировались многопроволочными пропорциональными камерами, а полный поток – мониторным счетчиком.

Фотоэмульсионные слои имеют размер $10 \times 20 \text{ см}^2$, толщина каждого составляет порядка 600 мкм. При облучении пучок был направлен параллельно плоскости эмульсии вдоль ее длинной стороны (рис.1.1)

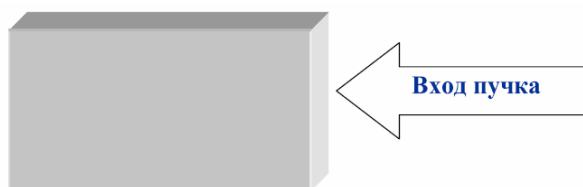


Рисунок 1.1 - Положение кассеты во время облучения (вид сверху). Расположение слоев в данном положении сверху вниз по ходу пучка, т.е. переходы треков идущих к поверхности в пластине X, надо искать у стекла пластины X-1 и треки выходящие у стекла искать на поверхности в пластине X+1

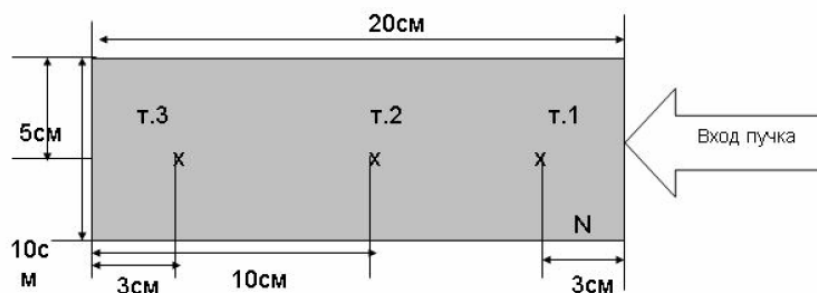


Рисунок 1.2 - Представлено схематическое изображение эмульсионного слоя, где N – номер пластинки, т.1, т.2, т.3 – точки, в которых измеряется толщина эмульсии до и после химической проявки

2. Поиск событий по следу, по площади и описание найденных событий

2.1. Описание методики поиска событий

Существует три метода поиска событий: просмотр по следу; по площади и по полоскам.

При использовании просмотра по следу эмульсия сканируется со стороны входа пучка, при этом отобранные пучковые следы просматриваются от входа в пластинку до остановки, взаимодействия, распада на лету или выхода из слоя. Этот метод позволяет эффективно находить трудные для поиска при просмотре по площади ядерные взаимодействия. Таким методом получают полный набор взаимодействий без дискриминации. Кроме того, он позволяет определять сечения и относительные вероятности различного рода взаимодействий и распадов.

Просмотр слоев с целью поиска ядерных взаимодействий велся путем прослеживания вдоль следа на микроскопах типа МБИ-9 при увеличении 20×15 (рис.2.1).



Рисунок 2.1- Внешний вид просмотрового микроскопа МБИ-9

Следует отметить, что скорость прослеживания вдоль следа зависит от угла наклона следов к плоскости слоя и от углового разброса пучка.

Для получения высокой эффективности регистрации событий с малым углом отклонения одного из вторичных следов относительно первичного

необходимо следить за тем, чтобы центр тяжести пучка был все время параллелен точному перемещению столика микроскопа по оси ОХ.

Для фиксации положения следов в поле зрения и регистрации малых угловых отклонений используется специальная окулярная шкала (рис.2.2).

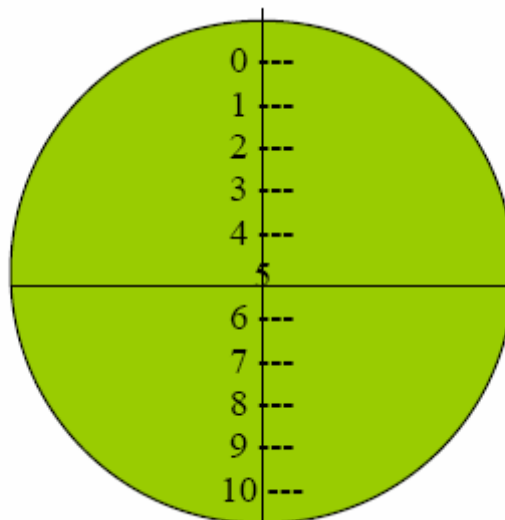


Рисунок 2.2 - Окулярная шкала

По всей пластинке нанесена миллиметровая сетка. Каждая клетка пронумерована. Для поиска треков выбирают левый столбец, отступив от края 0,5см. В соответствии с увеличением объектива 20*15 получают в каждой клетке два поля зрения по 10мм. В каждом поле зрения проходят от поверхности к стеклу, т.е. осуществляют поиск треков на разной глубине.

Суть метода просмотра «по площади» заключается в поиске событий из интересующих каналов реакции в объеме эмульсионного слоя, опираясь на коррелированное расположение треков идущих от вершины взаимодействия.

2.2. Расчет среднего свободного пробега ядра ^{32}S

На просмотренной длине $L=2977.5$ мм было найдено $N=23$ взаимодействия ^{32}S с ядрами элементов, входящих в состав эмульсии. Для найденных событий измерялся пробег. Средний свободный пробег ядра ^{32}S в фотоэмульсии составляет $\lambda_{\text{exp}} = 13 \pm 3$ см.

Средний свободный пробег определяется как

$$\lambda = L/N, \quad (2)$$

$$\pm \Delta\lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{N}}, \quad (3)$$

где L – суммарная прослеженная длина, N – число обнаруженных взаимодействий, $\pm\Delta\lambda$ – статистическая ошибка.

Такой пробег для серы является нормальным, учитывая его атомный вес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дано подробное определение ядерной фотоэмульсии. Также описана процедура использования метода ядерных фотоэмульсий и его применение. Представлена классификация треков образующихся при фрагментации ядер эмульсии. Проанализирован характер зарядовых состояний при фрагментации ядер эмульсии. Приведены положительные и отрицательные черты исследования процесса фрагментации ядер с помощью эмульсии. В работе дан обзор литературных данных по проблеме множественной фрагментации релятивистских ядер ^{32}S в эмульсии (обоснование актуальности работы и адекватности метода).

Внимание было сосредоточено на поиске периферических взаимодействий ядер серы с ядрами эмульсии. Эмульсионным методом получена достаточно детальная и новая информация по фрагментации релятивистских ядер серы, которая полезна при планировании дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adamovich M.I. et.al. «Inelastic interactions of ^{12}C nuclei with emulsion nuclei at 50 GeV/c» JINR Communication E1-10838, Dubna, 1977.
2. Белага В.В. и др. //Ядерная физика. - 1995. - Т.58. - С. 2014.
3. Абдуразакова У.А., Бондаренко Р.А. Гулямов У.Г. //Ядерная физика. - 1984. - Т.39. - С.272.
4. Белага В.В. и др. //Ядерная физика. - 1995. - Т.58. - С.2014.
5. Белага В.В. и др. //Письма в ЖЭТФ. - 1995. - Т.62. - С.385.
6. Бондаренко А.И. и др. //Ядерная физика. - 1998. - Т.61. - С.263.
7. Adamovich M.I. et al. //Z.Phys. C. - 1992. - V.55. - P.235.
8. Андреева Н.П. и др. //Ядерная физика. 1996.Т.59.С.110.
9. Лепехин Ф.Г. и др.//Ядерная физика. - 1995. - Т.58. - С.881.
10. Lerekhin F.G. et. Al. //Eur.Phys. J.A. - 1998. - V.1. - P.137.
11. Адамович М.И. и др. //Ядерная физика. - 1999. - Т. 62. - С. 1461.
12. Adamovich M.I. et al. // Part. Nucl., Lett. - 2002. - V.110. - P.29;
nuclex/0206013.
13. Bradnova V. et al. //Few-Body Systems Suppl. - 2003. - V.14. - P.241.
14. Браднова В. И др. //Ядерная физика. - 2003. - Т.66. - С. 1694.
15. Адамович М.И. и др. //Ядерная физика. - 2004. - Т.6. - С.533.
16. Богданов В.Г. и др.//Письма в ЖЭТФ. - 1986. - Т.44. - С.306.
17. Толстов К.Д. и др. Препринт ОИЯИ Р1-8313.Дубна, 1974.

18. Банник Б.П. и др. Сообщения ОИЯИ 31-84-532. Дубна, 1984.
19. Банник Б.П. и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1984. - Т.39. - С.184.
20. Давыдов А.С. Теория атомного ядра. – М.: ГИЗ физ-мат. литературы, 1958. – 607с.
21. Андреева Н.П. Топология белых звезд в релятивистской фрагментации легких ядер Препринт ОИЯИ Р1-8313. Дубна, 1974.
22. Перфилов Н.А., Ложкин О.В., Остроумов В.И. Ядерные реакции под действием частиц высоких энергий, Изд-во Академии Наук СССР, 1962. - 252с.
23. Лепехин Ф.Г. Фрагментация релятивистских ядер С-Петербургский институт ядерной физики РАН.
24. Марин А. и др. // Ядерная физика. - 1980. - Т. 32. - С.1387.
25. Абдуразакова У.А., Бондаренко Р.А. // Ядерная физика. 1984. т.39 с. 272.
26. Амеева Б.У. // Ядерная Физика. – 1990. - Т.51. - вып. 4.
27. <http://www.becquerel.jinr.ru>