

СЭНТ 14
Т-595

В. Э., "XII-9", 1964, т. 2, с. 370

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT
INSTITUTE
FOR NUCLEAR
RESEARCH

Москва, Главпочтамт п/я 79

Head Post Office, P.O. Box 79, Moscow USSR

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
Дубна 5-15 августа 1964 г.

THE 1964 INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH ENERGY PHYSICS

Dubna, August 5-15.

ДОКЛАДЫ РАППОРТЕРОВ RAPORTEURS' REVIEWS

P-1810

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ
ИСКРОВЫХ КАМЕР

Раппортер А.А. Тяпкин
Секретари: В.А. Долгошеин,
В.Н. Комаров,
И.А. Савин

P-1810

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ
ИСКРОВЫХ КАМЕР

Раппортер А.А. Тяпкин
Секретари: Б.А. Долгошеин,
В.Н. Комаров,
И.А. Савин

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

2594/3 48

Успехи экспериментальной физики элементарных частиц в значительной мере определяются развитием методики детектирования частиц. Безусловно, самым крупным событием последних лет в этой области физической науки было создание нового трекового прибора — искровой камеры и необыкновенно бурное внедрение методики искровых камер в практику физического эксперимента. В 1957 году были получены первые результаты по созданию трекового искрового счетчика Шарпаком⁽¹⁾ и управляемого искрового счетчика Креннау и Де-Бира⁽²⁾. Начало же бурному развитию методики искровых камер было положено в 1959 году работой японских физиков Фукуи и Миямото⁽³⁾, в которой сообщалось об успешном создании разрядной трековой камеры. В 1960 году на методической конференции в Беркли можно было установить, что новые детекторы ионизирующих частиц — искровые камеры к тому времени были уже созданы буквально во всех лабораториях мира, занимающихся исследованиями в области физики высоких энергий. В последующие годы мы были свидетелями необыкновенно широкого использования методики искровых камер в экспериментальной физике элементарных частиц. Наиболее широко искровые камеры применялись для исследования поляризации частиц по угловой асимметрии рассеяния, для поиска и исследования редких схем распада мезонов, например, поиска распада μ - мезона на γ - квант и электрон или на

3 электрона. Методика искровых камер была использована в Брукхевенской лаборатории и в ЦЕРНе для создания детекторов с огромным количеством вещества, позволивших исследовать получаемые на ускорителях нейтрино. Такое интенсивное развитие и широкое применение метода искровых камер объясняется тем, что этот метод регистрации частиц обладает особенностями, открывающими принципиально новые возможности физического эксперимента в условиях современных ускорителей.

Основное замечательное свойство искровой камеры заключается в том, что она является управляемым трековым прибором, позволяющим сочетать высокое пространственное разрешение при большом эффективном объеме с достаточно высоким разрешением по времени. В искровых и разрядных камерах регистрируются треки лишь тех частиц, которые прошли через камеру в течение интервала времени порядка 10^{-6} сек после выделения управляющей системой быстродействующих счетчиков события определенного типа.

Наряду с широким внедрением искровых камер в практику физического эксперимента интенсивно происходило и дальнейшее развитие самого метода газоразрядных трековых детекторов. В этой области в последние годы был получен ряд важных достижений принципиального характера. Были созданы изотропные стримерные камеры, камеры с большим разрядным промежутком в магнитном поле применены для измерения импульса частиц, найдена возможность определения ионизирующей способности частиц в камерах с большим разрядным промежутком и, наконец, созданы первые камеры, регистрирующие треки частиц, минуя фотографический процесс.

На настоящей конференции в Дубне, на секционном заседании мы заслушали сообщения авторов этих достижений. Я позволю себе лишь

кратко остановиться на основных усовершенствованиях методики искровых и газоразрядных камер.

Неточность регистрации частиц в обычных искровых камерах связана с возникновением искрового разряда вдоль электрического поля. Поэтому рядом авторов предпринимались поиски возможностей создания изотропных разрядных камер, свободных от этого существенного недостатка. Уже в 1960 году на конференции в Беркли Фукуи сообщал об исследовании высокочастотного варианта создания изотропной разрядной камеры⁽⁴⁾. В этой камере использовалось сверхвысокочастотное электрическое поле ($3 \cdot 10^3$ мс/сек), которое не приводило к возникновению искрового разряда между электродами. Тем не менее в подобных микроволновых камерах не удалось получить достаточно локализованный разряд, точно обозначающий треки частиц. Наблюдавшееся расширение области разряда происходило за счет фотоионизации газа. Другая попытка создания изотропной разрядной камеры была предпринята Миланской группой физиков^{/5/}. Ограничение области разряда вблизи трека частицы было достигнуто в этой работе за счет применения достаточно низкого импульса напряжения, осциллирующего с частотой 40 мс/сек. С помощью этого метода удалось в камерах малого объема получить лишь довольно размытые треки частиц.

Существенно больших успехов удалось достигнуть на этом пути локализации разряда за счет использования достаточно низкого напряжения дубненской группе физиков^{/6/}, применившей электронно-оптическое усиление света. Несмотря на сложность, связанную с применением ЭОП, подобные камеры могут получить применение, так как этот метод дает пока наибольшую точность регистрации всех трех координат трека частицы, с одновременным измерением ионизирующей способности частицы. На рис. I показаны треки частиц, полученные этой методикой.

Буквально редкой находкой явился найденный группами Чиковани /12,14/ и Долгошеином /13/ чрезвычайно простой способ превращения искровой камеры с большим зазором в прибор, измеряющий и третью координату трека, независимо от направления движения частицы. Этими работами удачно завершился целый ряд поисков возможностей создания изотропной искровой камеры.

Уже при исследовании первой разрядной камеры Фукуи и Миямото было обнаружено существование изотропных свойств разряда в ограниченной области углов. При прохождении частиц через камеры под углом не более 15° к направлению электрического поля возникал наклонный разрядный канал вдоль трека частицы. В области углов от 15 до 30° наклонный разрядный канал возникал уже нестабильно и с большими искажениями. При прохождении частиц под углом больше 30° возникало обычно несколько разрядных каналов, направленных вдоль электрического поля. Еще раньше это явление возникновения наклонных разрядных каналов наблюдалось Шарпаком /1/.

Следует отметить, что установленная в первых же работах возможность получения камер с изотропными свойствами разряда в ограниченной области углов была недооценена большинством физиков, занявшихся созданием искровых камер для конкретных физических опытов. Подавляющее большинство созданных искровых камер не обладало изотропными свойствами даже в области углов, полученной в первой работе Фукуи и Миямото /3/. А между тем в работах /7,8/ было показано, что для получения наклонных искровых каналов в области углов до 45° достаточно выбрать зазор между электродами порядка 20 мм или больше и обеспечить быстрое нарастание напряжения. Получение же искровых камер с изотропными свойствами разряда в области углов до 45° уже само по себе открывает новые возможности в решении многих физических задач. Например, при измерении поля-

ризации частиц эта область углов более чем достаточна для регистрации случаев упругого рассеяния.

В Дубне для исследования поляризации протонов отдачи в пион-протонном рассеянии была создана девятиэлектродная искровая камера, надежно обеспечивающая получение наклонного к полю разряда в области углов до $45^{\circ}/7/$.

Я позволю себе задержать ваше внимание на просмотре типичного случая рассеяния протонов (рис.2). После рассеяния в углеродной пластине протон движется под углом 43° к направлению электрического поля. Electroды камеры выполнены из алюминиевой фольги, окружающей углеродные пластины. Промежуток между электродами равен 23 мм.

Камера наполнена неоном до давления 1,3 атм. Преимущества камер с наклонным разрядным каналом очевидны. Даваемая ими точность углового разрешения позволяет даже выделить редкие случаи рассеяния частиц на газе. На рис. 3 приведен как раз такой случай рассеяния протона на неоне на угол 12° .

Важное значение для развития методики искровых камер имели работы, в которых были решены технические задачи по созданию камер с большими разрядными промежутками. В работе группы Писарева ^{/9/} была исследована разрядная камера с межэлектродным расстоянием 70 мм, в работе группы Долгошеина ^{/10/} - искровая камера с межэлектродным расстоянием 100 мм. В.Н. Болотовым, М.И. Дайоном и др. ^{/11/} была построена искровая камера из двух отсеков с межэлектродным расстоянием 200 мм и показана возможность углового разрешения до $5 \cdot 10^{-4}$ рад. Эти исследования камер с большими промежутками, хотя и показали более легкую возможность получения разряда вдоль наклонного трека из-за уменьшения емкости камеры, тем не менее не позволили расширить область углов с изотропными свойствами разряда.

Для частиц, пересекающих камеру под большими углами, оставался только проекционный метод регистрации по ряду разрядных каналов, направленных по полю. Но именно с усовершенствованием этого метода регистрации было связано дальнейшее развитие методики искровых камер, завершившееся созданием изотропных искровых камер.

Проекционный метод регистрации частиц, пересекающих камеру под большими углами, был предложен в первой же работе Фукуи, Миямото^{/3/}. На основании исследования этого метода регистрации в разрядной камере с межэлектродным промежутком 70 мм при различных длительностях питающего импульса в работе^{/9/} было обращено внимание на важность уменьшения длительности высоковольтного импульса для повышения точности регистрации проекции трека частицы. Важнейшим результатом в дальнейшем развитии таких камер была обнаруженная в работе Г.Е. Чиковани и др.^{/12/} возможность в проекционном режиме регистрации измерять третью координату по выделенной яркости светящихся центров разряда. Обнаруженный эффект авторы описали следующим образом: "Вдоль траектории движения частицы возникают светящиеся центры, от которых к электродам расходятся разрядные нити. Так как яркость светящихся центров превосходит яркость разрядных нитей, то на фотографии получается в основном изображение светящихся центров с ореолом, вызванным разрядными нитями".

Безусловно, такое выделение центров возможно только при достаточно коротком высоковольтном импульсе, когда разряд не успевает развиваться интенсивно вдоль разрядных нитей. Правда, это обстоятельство осталось не отмеченным в цитированной выше работе.

Существенно более качественные результаты удалось получить московским физикам Долгошеину и Лучкову / 13 / и той же группе грузинских физиков - Чиковани и др. /14/, специально применившим укорочение высоковольтного импульса. За счет искусственного укорочения высоковольтного импульса было получено необходимое прекращение стримерного разряда, обеспечивающее достаточно точное измерение третьей координаты при возникновении разряда вдоль поля. Созданные камеры имеют разряд с изотропными свойствами в области углов до 45° , а в области больших углов, несмотря на возникновение разряда по полю, дают достаточно точную пространственную регистрацию из-за прерывания разряда. Для прерывания разряда авторы воспользовались простым и широко используемым для создания незавершенных стримерных разрядов методом шунтирующего разрядника. При этом для получения достаточной яркости применяется импульс с большим перенапряжением. Разряд же вдоль электрического поля успевает распространиться всего на десять миллиметров. На рис.4 показана полученная Долгошеиным и др. фотография, из которой видно пространственное ограничение стримерного разряда. Таким образом, авторам этих работ удалось довольно простым изменением режима импульсного питания достигнуть чрезвычайно важного усовершенствования искровой камеры. На рис.5 показан стереоснимок космического ливня, полученный Чиковани и др. в искровой камере с магнитным полем. Все эти результаты уже опубликованы в литературе /14,15/.

На настоящую конференцию Чиковани и др. представили новые результаты по дальнейшему совершенствованию стримерного режима камеры. Им удалось получить достаточно яркие следы частиц при распространении стримерного разряда вдоль поля всего на 3 мм. На рис.6 приведен боковой снимок следа релятивистской частицы

при напряженности поля 14 кв/см. Таким образом, достигнута достаточно высокая точность измерения координаты и в направлении электрического поля.

В докладе Долгошеина и др. сообщалось об измерении зависимости величины рабочего напряжения для стримерной камеры от длительности импульса. Полученные ими результаты представлены на рис.7.

Большое значение имеют работы А.И. Алиханяна, Т.Л. Асатиани и др., в которых впервые использовались свойства камер с разрядом по треку частиц для решения важной методической задачи измерения импульса частиц ^{/16,17/}. В этих работах были решены также важные технические задачи по созданию камер с большими разрядными промежутками от 21 см до 40 см. На рис. 8 показан трек космической частицы в такой камере, помещенной в магнитное поле напряженностью $5 \cdot 10^3$ Г. Проведенная группой А.И. Алиханяна большая работа по развитию техники искровых камер с большим промежутком и конкретное исследование возможных точностей при измерении импульса частиц имеет первостепенное значение для дальнейшего использования этой методики в физическом эксперименте, служит важным дополнением того направления развития методики искровых камер, которое получило распространение в Советском Союзе. На настоящую конференцию этой группой был представлен доклад об исследовании точности измерений импульсов частиц в таких камерах.

Большую практическую ценность имеет результат, полученный Павловским и Любимовым ^{/18/}, о возможности при определенных условиях измерения ионизирующей способности частиц в камерах с большим зазором. Подбором длительности и напряжения питающего

инпульса удается получить искровой разряд, яркость которого зависит от первичной ионизации. Точность измерения ионизирующей способности частицы по одному треку получается равной 20-25%.

Здесь на конференции мы заслушали интересное сообщение Щербакова о созданной в Дубне стримерной камере, наполненной гелием до давления 6 атм; в представленной на конференцию аннотации сообщается об успешном запуске стримерной камеры в Институте ядерной физики Казахской Академии наук. Все это позволяет надеяться, что новые стримерные камеры с изотропными свойствами регистрации частиц в ближайшее время будут использованы в физических экспериментах. В частности, стримерная камера с повышенным давлением разрабатывается специально для исследования процессов при захвате мезонов.

До сих пор искровые камеры не нашли применения в области физики низких энергий, в основном, из-за трудностей управления камерой. Доложенная на секционном заседании работа японских физиков об искровой камере с самозапуском решает в определенной степени проблему управления искровой камерой в случае регистрации частиц низких энергий. Для управления камерой в этой работе используется регистрация света от сцинтилляции в газе самой камеры.

В заключение разрешите мне остановиться на вопросах, относящихся в значительной мере к соседней XIX секции, -- на проблемах просмотра и обработки снимков с искровых камер и на проблемах создания систем с искровыми камерами с беспленочной техникой вывода данных. Уже в первых же применениях искровых камер остро встала проблема просмотра пленок и отыскания среди большого количества получаемого материала редких снимков, содержащих нужные события. Специфика методики искровых камер как раз и состоит в

в том, что класс выделяемых системой управления событий значительно превосходит число событий, интересующих экспериментатора. Следует признать, что достоинства отдельных камер поэтому непосредственно в физическом эксперименте часто отодвигаются на задний план, уступая решающее значение удачному выбору системы селекции, выделяющей по возможности более узкий класс событий. Основное затруднение при обработке возникает не в обмере нужных случаев, а в просмотре всего материала и отыскании интересующих событий. Поэтому проблема автоматизации обработки снимков с искровых камер не может быть решена полностью простым перенесением методов, получивших распространение при обработке снимков с пузырьковых камер.

При обработке пленок с искровых камер широко используются применяемые для пузырьковых камер просмотрные проекторы с выходом на цифропечать /19/ и автоматические системы просмотра пленок с механическим устройством движения светового пятна, создающего растровую развертку /20/. Первые из этих систем требуют несколько минут на событие, последние — около 10 секунд. Еще более эффективными для отбора нужных снимков оказались системы с электронным устройством движения растрового светового пятна, получаемого на катодно-лучевой трубке /21/. Правда, такая система уступает в точности системам с механическим устройством движения светового пятна, но, будучи связана с вычислительной машиной, она более эффективно справляется с задачей отброса многочисленных снимков, не содержащих нужных событий. Очень удачно задача автоматического просмотра и анализа снимков с искровых камер была решена М. Дойтчем в Массачузетском институте технологии /22/. Используя электронное сканирующее устройство, с помощью малой вычислительной

машины (РДР-1) удалось полностью совместить просмотр и анализ событий. В течение часа такая система анализировала 1500 снимков, полученных в эксперименте по измерению упругого γ -р-рассеяния^{/23/}.

Самое же радикальное решение проблемы обработки получаемого с искровых камер материала состоит в отказе от фотографического вывода данных. Конечно, для регистрации ярких светящихся треков из искр наиболее естественно и просто было воспользоваться фотографическим методом. Но остро вставшая проблема просмотра и анализа камерных снимков стимулировала развитие других возможных для искровых камер методов регистрации, в которых данные о координатах трека передаются непосредственно на вычислительную машину или предварительно фиксируются в магнитной памяти специальных устройств

В марте 1964 года в ЦЕРНе состоялось совещание, специально посвященное беспленочной технике вывода данных с искровых камер. Материалы этого совещания представляют наиболее полное описание последних достижений в разработке самых различных методов беспленочного вывода^{/24/}. Эти же вопросы освещены также в последнем обзоре по искровым камерам^{/25/}.

Наиболее широкое распространение получил в настоящее время акустический метод, в котором по разнице во времени регистрации звуковых волн определяются координаты искры. В качестве звуковых датчиков первоначально использовались пьезоэлектрические кристаллы. В последнее время для этой цели применяют электростатические конденсаторы, которые позволяют получить значительно большую амплитуду электрического сигнала (порядка 100 мВ)^{/24/}. Время распространения звуковой волны для камеры средних размеров составляет ~ 1 мсек. Для определения координат искры при использовании точечных звуковых датчиков требуются вычисления по определенной программе. Вместе с переводом данных в числовой код время

регистрации получается порядка 10 мсек. Точность измерения координаты достигает 0,5 мм. Существенным недостатком звукового метода является непригодность его для регистрации нескольких искр в одном промежутке.

Звуковой метод регистрации предопределяет конструктивные особенности используемых камер. Так как в каждом отдельном искровом промежутке измеряются только две координаты, то используемые камеры имеют малый зазор между электродами.

Те же конструктивные требования предъявляются и к камерам при измерении координат по методу, предложенному Шарпаком и др. /26/ В этом методе положение искры определяется на основании сопоставления токов через заземляющие края электродов первичные обмотки ферритового трансформатора. Выходной сигнал на вторичной обмотке получается пропорциональным удалению искры от центра электрода и возникает в отличие от звукового метода практически без задержки во времени.

Другой возможный способ измерения координат искры был предложен в Дубне Акимовым и др. /27/. В этом методе используются расположенные на краях электродов полупроводниковые детекторы света. Сопоставление амплитуд импульсов различных детекторов позволяет определить положение искры.

Перечисленные методы, используемые для автоматической регистрации положения искры соответственно звуковой, электрический и световой процессы, имеют общий недостаток - малую пригодность для регистрации треков нескольких частиц. Ясно, что эти методы найдут широкое применение в таких задачах, как измерение поляризации частиц, где регистрируется большое число однотрековых событий, а отбор нужных событий не требует сложного анализа.

Для решения более сложных задач могут быть использованы другие, более сложные методы автоматической регистрации, такие, как нитяные искровые камеры и видиконные сканирующие системы. В нитяной камере один из электродов или оба выполнены в виде сетки из близко расположенных тонких проволок. Такая камера представляет собой фактически годоскопическую систему управляемых по питанию искровых счетчиков. Электрический сигнал каждой нити записывается соответствующим ферритовым сердечником. Система обладает большим быстродействием и выдает непосредственно необходимые для вычислительной машины дискретные данные. Получение же высокой точности измерения координат - около 1 мм связано с довольно сложным монтажом системы нитей и магнитных сердечников, а также требует устранения взаимного влияния соседних нитей /28/.

В видиконной системе изображение запоминается на фоточувствительной поверхности и затем считывается сканирующим электронным лучом. Эти системы обладают в настоящее время невысоким быстродействием и малой точностью измерений /25/. Поэтому для искровых камер с большим промежутком фотографический метод остается пока наилучшим методом регистрации. Однако нет сомнения, что в дальнейшем и этот вопрос будет решен в пользу автоматического метода регистрации.

На этом разрешите мне закончить свой краткий доклад и пожелать успешного использования в физических исследованиях последних достижений методики искровых камер.

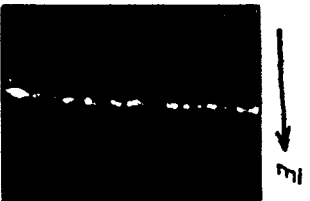
Литература

1. G.Charpak, J. phys. et radium, 18, 539 (1957).
2. T.E.Cranshaw and I.F. de Beer, Nuovo Cim. , 2, 1107(1957).
3. S.Fukui and S.Miyamoto, Nuovo Cim., 11, 113(1959).
4. Proc. of Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Berkeley, New York, London, September (1960).
5. C.Cavalleri, E.Gatti and G.Redaeli, Nuovo Cim., 25, 1282 (1962).
6. М.М.Бутслов , В.И.Комаров, О.В.Савченко. Препринт ОИЯИ Р-1619 (1964), ЖЭТФ, 46
7. А.А.Тяпкин, Цзоу Чжу-лянь. Труды У-И конференции по ядерной электронике, 1961 г., Атомиздат, ПТЭ, № 5, 84 (1962)
8. А.А.Борисов, Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков, Л.В.Решетин, В.И.Ушаков. ПТЭ, № 1, 49 (1962)
Критический анализ (Тяпкин, Ушаков)
9. А.М.Говоров, В.И.Никаноров, Г.Петер, А.Ф.Писарев, Х.Позе. ПТЭ, № 6 (1961).
10. А.А.Борисов, Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков, ПТЭ, № 2, 170(1962)
11. М.И.Дайон, Г.А.Лексин, УФН 80, 316 (1963).
12. В.А.Михайлов, В.Н.Ройнишвили, Г.Е.Чиковани. Phys. Lett. №3 6, 254, (1963); ЖЭТФ, 45, 818, 1283 (1963).
13. Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков, ЖЭТФ, 46, 392 (1964).
14. Г.Е.Чиковани, В.Н.Ройнишвили, В.А.Михайлов. ЖЭТФ, 46, 1228 (1964).
15. Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков, Б.У.Родионов, ЖЭТФ, 46, 1953(1964)
16. А.И.Алиханян, Т.Л.Асатиани, Э.М.Матевосян, ЖЭТФ, 44, 77(1963)
17. А.И.Алиханян, Т.Л.Асатиани, Э.М.Матевосян, А.А.Назарян, Р.О.Шархагуян. ЖЭТФ, 45, 1684 (1963); Physics Letters 7, 4, 272 (1963)

18. Ф.А.Павловский, В.А.Любимов. Препринт ИТЭФ, №205, № 210 (1963); ЖЭТФ, 46, (1964).
19. J.C.Hodges, D.Keefe, L.T.Kerth, J.J.Thresher and W.A.Wenzel, Lawrence Radiation Laboratory, Report UCRL-10251, May 25, 1962.
20. P.M.Blackall, G.R.Maclead and P.Zanella, Conference on Programming for HPD and other Flying Spot Devices, Paris, August 21-23, 1963, CERN 63-34, October 21, 1963.
21. H.Anders, D.Maeder and D.Wiskoff, Nucl.Instr.&Methods, 20,414 (1963).
22. M.Deutsch. Proc. Conf. on Proton Interactions in the BeV Energy Range. Massachusetts Institute of Technology Report, January, 1963.
23. R.F.Stiening, E.Loh and M.Deutsch, Phys.Rev.Letters, 10,536 (1963).
24. Informal Meeting on Filmless Spark Chamber Techniques and Associated Computer Use, CERN, Geneva, March 3-6, 1964.
25. W.A.Wenzel, "Spark Chamber", Lawrence Radiation Laboratory Report, UCRL-11319.
26. G.Charpak, J.Favier and L.Massonet, Nucl.Instr. & Methods, 24,501(1963).
27. Д.К.Акимов, А.И.Калинин, А.И.Сидоров, Препринт ОИЯИ Р-1526, Дубна 1964 г.
28. F.Krienen, Nucl. Instr. & Meth., 16, 262 (1962), 20,168(1963)

Рукопись поступила в издательский отдел

21 августа 1964 г.



s

FIG. 1.

111095

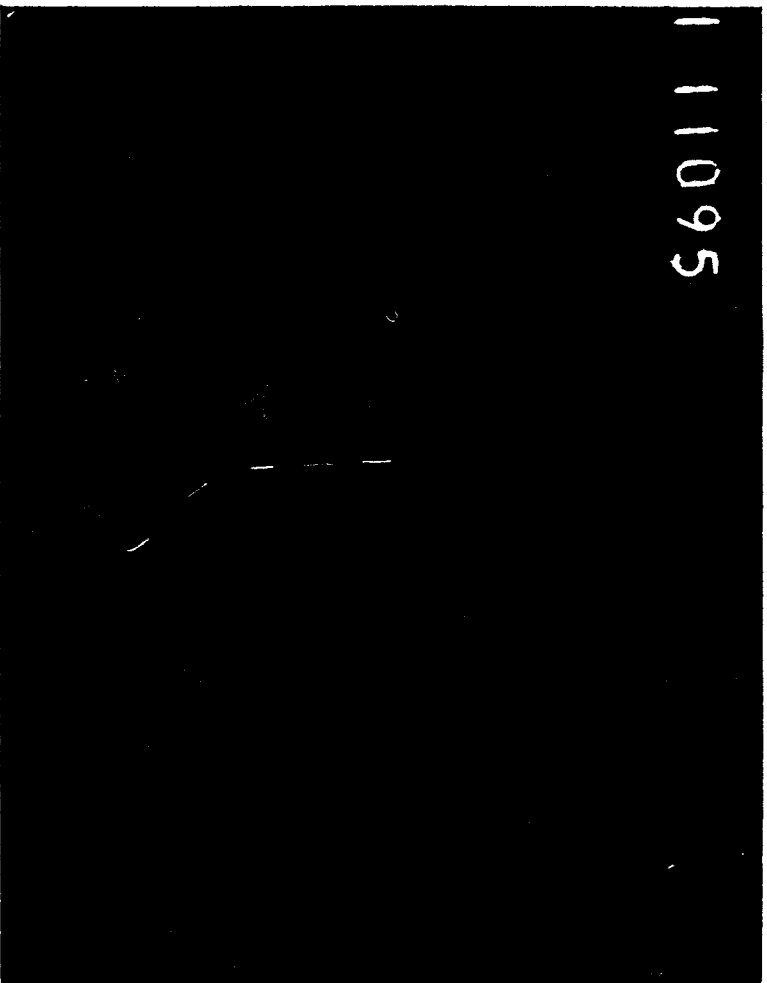
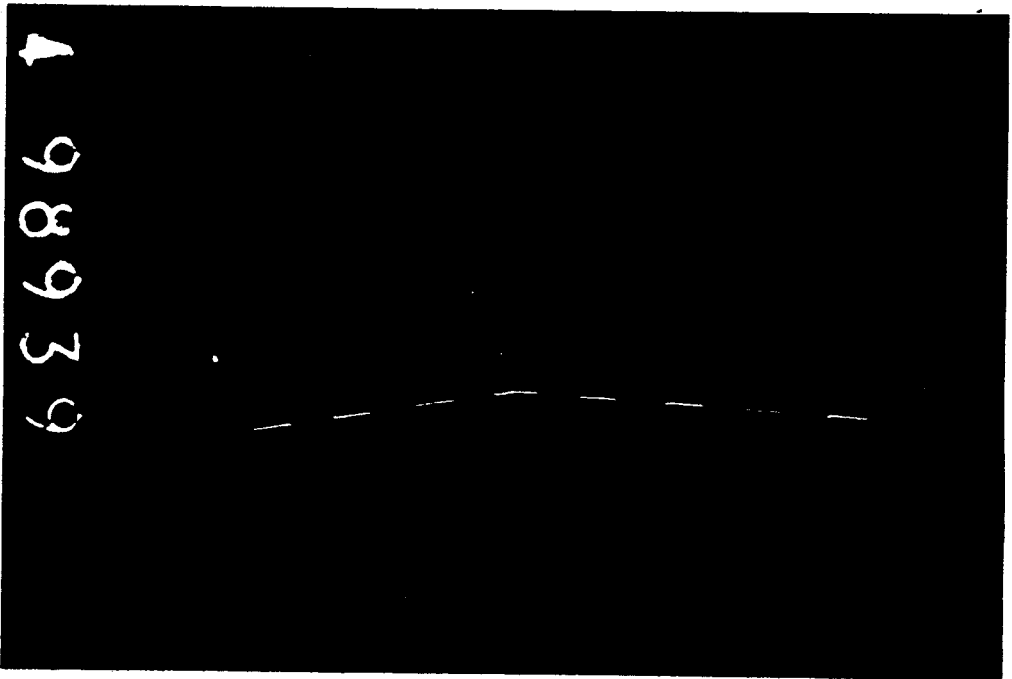


FIG. 2.



1 98939

Plc.3.

10



Рис. 4.



Рис. 5.

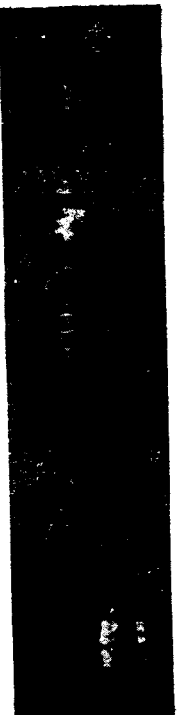


Рис. 6.

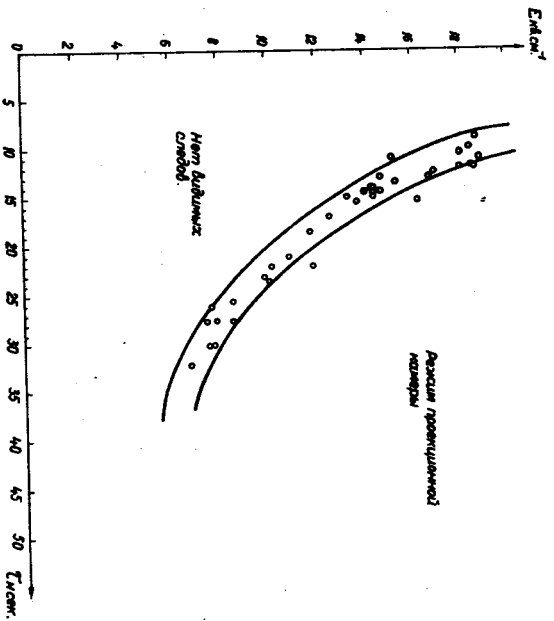


Рис. 7.



Рис. 8.