

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4083/83

8/8-83

1-83-256

П.Ульман*, Х.Ульман*, Ю.А.Щербаков

ТЕНЕВОЙ МЕТОД ФОТОГРАФИРОВАНИЯ
В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ

* Карл Цейсс, Йена, ГДР.

1983

Везде, где в прозрачной среде существуют состояния или протекают процессы, вызывающие отклонение света, могут успешно применяться теневые методы. Плазма в стримерной камере, а также искровые пробои представляют в оптическом смысле свиль /то есть участки с переменным коэффициентом преломления/. При этом стримеры представляют собой частично прозрачные области, отличающиеся по своему показателю преломления от однородной окружающей среды. Плазма в стримерной камере и искровые разряды обладают градиентом показателя преломления, перпендикулярным к направлению распространения света, и поэтому в этом случае могут быть применены теневые методы^{1-5/}. Поскольку свили в стримерной камере очень быстро изменяются во времени, а ударные волны стримеров, а также искр распространяются со скоростью, во много раз превышающей скорость звука, то последовательное сканирование свили не может быть использовано. Свиль будет четко проявляться при достаточно коротких экспозициях. Необходим источник света, хорошо синхронизируемый с исследуемым явлением и достаточно мощный. Продолжительность экспозиции должна выбираться таким образом, чтобы нерезкость объекта вследствие дифракции не играла роли. В таких случаях могут успешно применяться импульсные лазеры, такие как, например, азотный лазер или лазер на красителе. Преимущество лазера на азоте состоит в том, что минимальное время отклика, то есть время между моментом начала исследуемого явления и поступлением лазерного импульса, может быть очень коротким /меньше 100 нс/.

При освещении стримерной камеры могут использоваться методы темного и светлого полей. Ниже нами будут рассмотрены некоторые особенности фотографирования свильных объектов этими различными методами и предлагается наиболее оптимальный метод для фотографирования в стримерной камере.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Аппаратура, использованная в данном эксперименте, подробно описана ранее в наших предыдущих работах^{3-5/}. Оптическая схема, примененная в данном опыте, показана на рис.1. Излучение лазера на азоте /длительность импульса 2,5 или 4,5 нс/ с помощью красителя /родамин 6Ж/ частотно преобразуется в видимый диапазон длин волн /около 560 нм/. Телескопическая схема, состоящая из микрообъектива, микродиафрагмы и объектива, расширяет поток излучения. Микродиафрагма выполняет в основном 2 функции. С одной

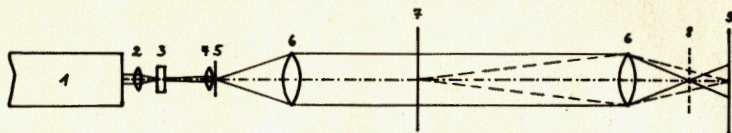


Рис.1. Оптическая схема установки: 1 - импульсный лазер, 2 - кварцевая линза, 3 - кювета с родамином 6Ж, 4 - микрообъектив, 5 - диафрагма, 6 - расширительный и фокусирующий объективы, 7 - объектная плоскость, 8 - диафрагма, 9 - пленка.

стороны, она служит для создания точечного источника света и, с другой - для отфильтровывания загрязнений в луче. Микродиафрагма отображается с помощью обоих объективов. Исследуемые объекты находятся в параллельном пучке лучей между этими двумя объективами. В плоскости изображения микродиафрагмы устанавливается маленький не пропускающий света экран или диафрагма /"темно- или светлопольное освещение"/. Пленка размещается на таком расстоянии от объектива, чтобы резко отображался свильный объект, то есть плоскость предмета. Посредством перемещения объектива и пленки можно легко изменять масштаб изображения. Так как при фотографировании больших объектов регистрация производится при полностью открытом объективе, то такая оптическая схема дает небольшую глубину резкости. Без свильного объекта /7/ при применении прецизионной диафрагмы /8/ получают равномерную освещенность пленки /9/, но свет совершенно не попадает на пленку, если диафрагма заменяется экраном. При наличии свильного объекта и использовании диафрагмы лучи, отклоненные объектом, падают на диафрагму. В плоскости пленки мы получаем темные тени на светлом фоне /"светлопольное освещение"/. Если мы, однако, используем непрозрачный экран, то в таком случае на пленку падает отклоненный объектом свет /"темнопольное освещение"/. С помощью такой установки нами были проведены исследования искровых разрядов в воздухе, а также следов электронов в заполненной гелием стримерной камере. Аналогичное оптическое устройство для когерентной оптической фильтрации использовали ранее Торвирт и Полак /6/.

СНИМКИ СВИЛЕЙ ПРИ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДАХ В ВОЗДУХЕ

На рис.2 представлены снимки свилей при искровых разрядах в воздухе при применении "темнопольного освещения". На рис.2а направление лазерного луча перпендикулярно, на рис.2б - парал-

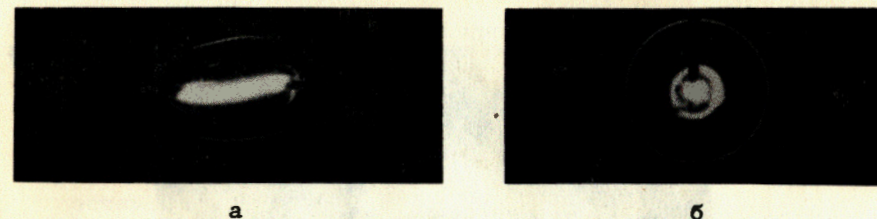


Рис.2. Фотографии свилей при искровом разряде в воздухе по методу темного поля: а/ проекция, перпендикулярная направлению искрового разряда; б/ проекция вдоль искрового разряда.

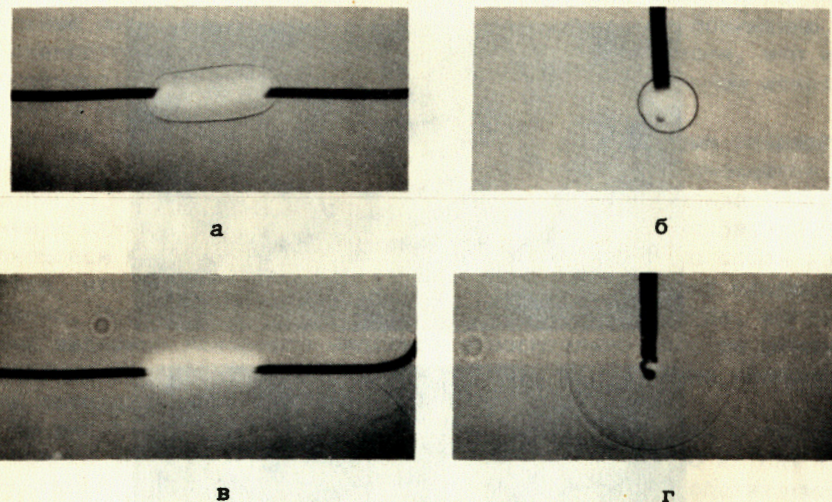
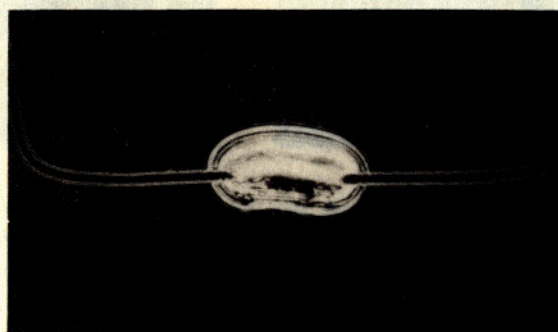
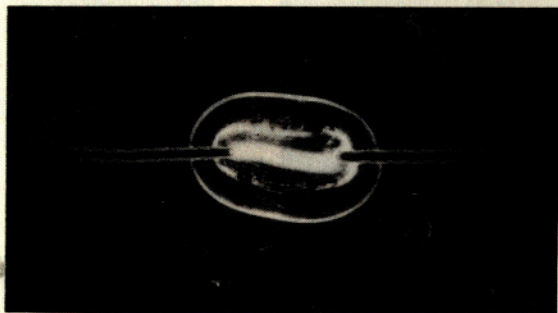


Рис.3. Снимки искрового разряда без свильной диафрагмы: а и в/ - направление луча лазера перпендикулярно направлению искрового разряда; б и г/ - параллельно; а и б/ - время задержки <math>< 1 \text{ мкс}</math>, в и г/ - время задержки - несколько микросекунд.

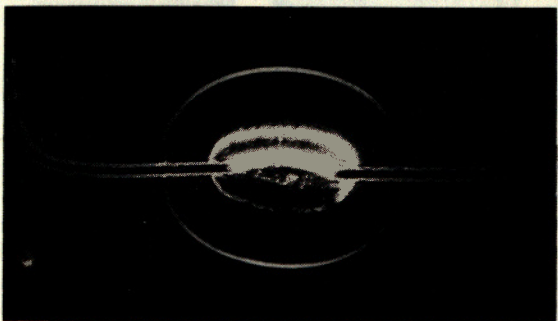
лельно направлению искрового разряда. Длина искрового разряда составляла 6 мм, диаметр проволоки - 0,6 мм, время запаздывания лазерного импульса - несколько микросекунд. Оба снимка показывают, что отклонение света происходит на фронте ударной волны и на оболочке плазменной нити, так как обе эти области имеют достаточно большой скачок показателя преломления. Кроме того, наблюдается особенно светлая центральная часть, вызванная собственным светом плазменной нити, который экспонирует пленку до тех пор, пока искра излучает свет, в то время как лазерный импульс, запаздывающий относительно начала искрового разряда, охватывает вследствие короткой длины только определенный, произвольно выбираемый момент формирования искры.



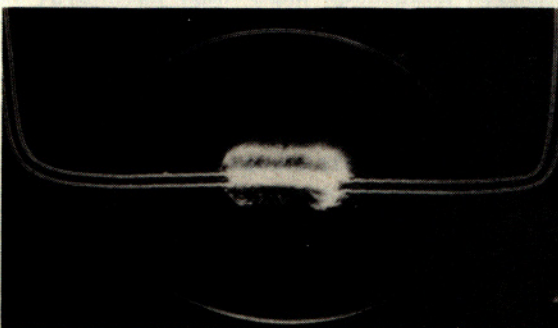
а



б



в



г

Рис.4. Временное развитие искровых разрядов в воздухе. Снимок свилей по методу темного поля с помощью лазера на красителе. Пленка - изопанхром 22 /1200 ГОСТ/. На рис.4а,б,в для подавления собственного света искры применялись интерференционные фильтры SIF575, на рис.4г - 589 Na-фильтр. Диаметр непрозрачного экрана составлял 0,8 мм.

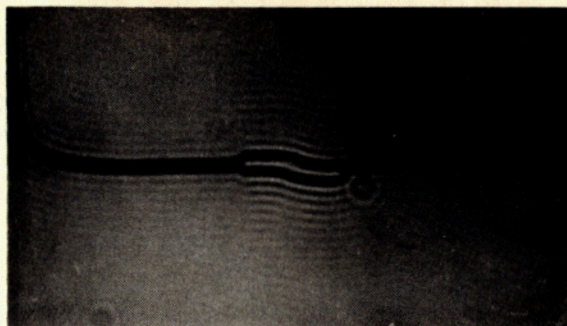
Этот собственный свет может вызвать иррадиацию дифрагированного на свилях света. Интенсивно самосветящиеся фазовые объекты не позволяют, как правило, оптимально применять метод темного поля, так как для подавления свечения стримера необходимы специальные меры, приводящие в большинстве случаев к понижению интенсивностей свилей. Сравнивая рисунки 2а и 2б, видим, что интенсивность свилей в направлении съемки, параллельном искре, является наибольшей.

На рис.3 представлены аналогичные снимки искровых разрядов, у которых, однако, в плоскости микродиафрагмы не размещаются диафрагма или экран. Фронт ударных волн и ядро разряда вызывают меньшее отклонение света при больших задержках /рис.3в,3г/, проявляющееся на этих снимках как темные участки. Само собой разумеется, что и здесь собственный свет искры оказывает мешающее влияние. Особенно контрастные снимки получаются тогда, когда время задержки лазерного импульса относительно мало по отношению к моменту возникновения искры /<1 мкс/ и направление лазерного луча совпадает с направлением искры.

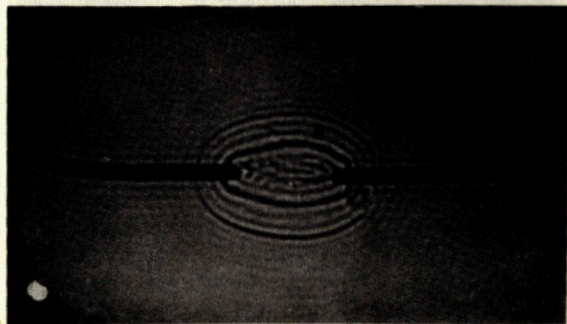
На рис.4 демонстрируется временное развитие искры с помощью свильного способа по методу темного и на рис.5 - по методу светлого полей. На снимках, представленных на рис.4, собственный свет искры был несколько подавлен посредством интерференционных фильтров. Отчетливо видны фронт ударных волн и оболочка. В то время, как ударная волна перемещается и скачок показателя преломления сильно уменьшается, оболочка после определенного времени задержки далее остается практически неизменной. Она наблюдается как сильный фазовый объект более продолжительное время, чем фронт ударных волн /время ее жизни более нескольких десятков микросекунд/.

На снимках, полученных по методу светлого поля /рис.5/, собственный свет искры не мешает, так как он практически полностью падает на диафрагму, размещенную в фокусе второго объектива. Остаток собственного света пренебрежимо мал по сравнению с прямым, падающим непосредственно на свильную диафрагму светом лазера. Для самосветящихся свильных объектов метод светлого поля является поэтому более информативным, так как соответствующий снимок дает представление о мгновенной структуре всей свили.

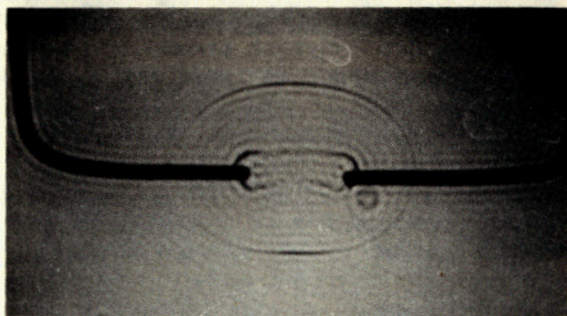
На рис.5а представлена ранняя стадия развития искрового разряда. Фронт ударных волн расположен близко к краю плазмы и не



а



б



в



г

Рис.5. Процесс временного развития искровых разрядов в воздухе. Снимок свилей по методу светлого поля с помощью лазера на красителе. Пленочный материал - изопанхром 28 /180 ГОСТ/. Отверстие в фокусе второго объектива диафрагмы - 0,8 мм; а,б,в,г - фотографии искрового разряда с постепенным увеличением задержки импульса, поступающего от лазера.

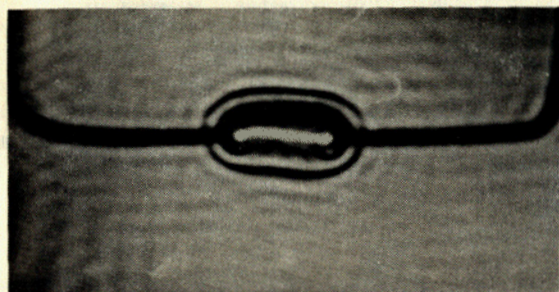
может быть отделен от оболочки. Светлая полоса в середине представляет собой, как это уже ранее обсуждалось, не собственный свет искры, а вызвана дифракцией света лазера на искре. На рис.5б и 5в отчетливо видны фронт ударных волн и оболочка в виде темных областей в прямом свете лазера. На рис.5г запаздывание лазерного импульса относительно начала искрового разряда выбрано таким большим $/\tau >$ нескольких микросекунд/, что фронт ударных волн выходит за пределы кадра. Оболочка распадается, но все еще проявляется как сильный фазовый объект.

Величина диафрагмы, используемой в фокусе второго объектива, оказывает решающее влияние на качество изображения. Уменьшение этой диафрагмы хотя и повышает контраст свильных снимков /рис.6/, но при этом на самой диафрагме возникает сильная дифракция. Поэтому при применении этого метода следует особенно обратить внимание на оптимальную величину этой диафрагмы и оптимальную юстировку.

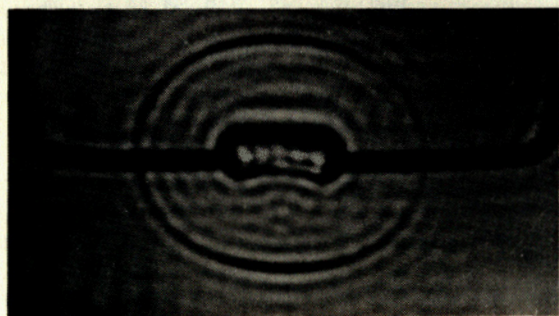
Сравнение методов темного и светлого полей показывает, что для слабых несветящихся свильных объектов выгоднее применять метод темного поля. Этот способ позволяет применять высокочувствительную пленку и наибольшую интенсивность лазера без получения передержки пленки, что наблюдалось при применении метода светлого поля. Для самосветящихся свилей, отличающихся от слабых большим показателем преломления, в основном, по-видимому, предпочтительно применять метод светлого поля.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ

При фотографировании следов электронов в стримерной камере, заполнявшейся смесью: 89% He, 10% CH₄ и 1% H₂O, по описанным выше методам нами были получены фотографии, демонстрирующие особенности двух методов регистрации треков. Результаты, представленные на рис.7, были достигнуты при использовании в качестве электродов высокого напряжения для стримерной камеры стеклянных пластин, покрытых прозрачным проводящим слоем SnO₂. Установка на резкость производилась на плоскость, в которой электрон пересекает стримерную камеру. Вследствие этого нити, расположенные на расстоянии 6 см от этой плоскости, можно различить недостаточно резко. Импульс лазера возникает через 700 нс после начала



а



б

Рис.6. Влияние размера диафрагмы в фокусе второго объектива /свильной диафрагмы/. Снимки были получены при тех же условиях, что и рис.5, но при отверстии свильной диафрагмы, равном 0,4 мм: а/ при малой задержке, б/ при большой задержке.

↓ 1см ↓

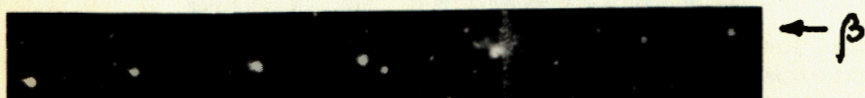
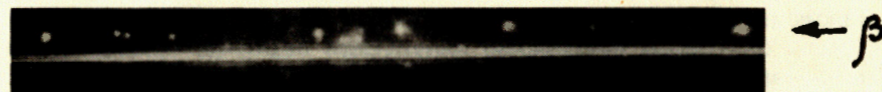
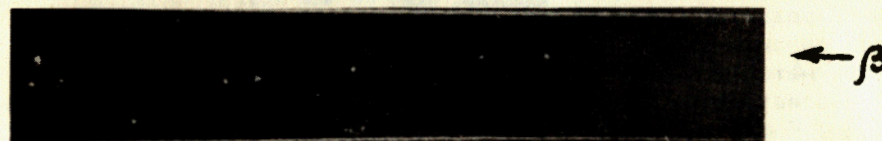


Рис.7. Свильный снимок следа электронов в He-стримерной камере, сделанный по методу темного поля с помощью лазера на красителях. Задержка лазерного импульса относительно начала разряда в камере составляет примерно 700 нс. Пленка - изопанхром 22 /1300 ГОСТ/. Диаметр свильного экрана - 0,8 мм. Расстояние между параллельными нитями в реальном масштабе составляет 1 см.



а



б

Рис.8. Свильные снимки, сделанные по методу темного поля, следов электронов. Задержка лазерного импульса на снимке 8а составляет ~400 нс. На рис.8б для подавления собственного света стримеров применялся интерференционный фильтр SIF575. Длина следа составляет ~7 см. Пленочный материал - изопанхром 22 /1300 ГОСТ/.



Рис.9. Свильный снимок, полученный по методу светлого поля, следов электронов в He-стримерной камере с помощью лазера на красителях. Задержка лазерного импульса относительно начала разряда в камере составляет ~400 нс. Диаметр отверстия свильной диафрагмы - ~0,8 мм. Пленочный материал - изопанхром 28 /180 ГОСТ/.

разряда в камере. Поэтому некоторые стримеры имеют гало, возникающее вследствие рассеяния света на фронте ударной волны стримера. Так как мы использовали метод темного поля, то в этом случае в центральных областях стримера возникает наложение отклоненного и собственного света стримера.

В полученных по методу темного поля фотографиях, представленных на рис.8, стеклянные электроды высокого напряжения были заменены электродами из проволоки; одна из них - идущая параллельно следу электрона - видна на рисунке.

В заключение мы произвели фотографирование следов электронов по свильному методу со "светлопольным освещением"/рис.9/. Собственный свет здесь не проявляется. Стримеры наблюдаются в этом случае как темные области на светлом фоне. При оптимальном диаметре свильной диафрагмы и хорошо подобранном режиме камеры можно добиться достаточно хорошей чувствительности при фотографировании следов заряженных частиц, проходящих через камеру.

Изложенные выше результаты показывают, что с помощью свильной схемы благодаря применению импульсной лазерной техники можно легко обнаруживать быстро протекающие процессы, связанные с изменением показателя преломления. Благодаря соответствующему выбору времени задержки лазерного импульса можно проследить временное развитие процесса или изучить определенные моменты процесса развития. Для слабых фазовых объектов рекомендуется применять метод темного поля, так как при этом может максимально использоваться интенсивность лазера без возникновения передержки фильма. Кроме того, можно применять довольно нечувствительный, но высокоразрешающий пленочный материал. В том случае, если фазовые объекты сами излучают свет, трудно отделить собственный свет от "света свилей". В таких случаях применение метода светлого поля является более информативным. Очень важным фактором для повышения чувствительности метода является оптимальная величина микродиафрагмы и свильной диафрагмы, а также их точная остировка.

Авторы выражают благодарность дирекции Научно-исследовательского центра "Карл Цейсс, Йена" за предоставление оптических элементов и узлов точной механики, а также дирекции Центрального института электронной физики Академии наук ГДР, Берлин, и д-ру К.Зелигеру за помощь в экспериментах. Авторы признательны проф. В.П.Джелепову за интерес, проявленный к проведению этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калимов А.Г. и др. Письма в ЖТФ, 1977, т.3, вып.20, с.1057.
2. Калимов А.Г. и др. Препринт ЛИЯФ, Л., 1978, № 407.
3. Ульман П. и др. ОИЯИ, Р13-12260, Дубна, 1979.
4. Ульман П. и др. ОИЯИ, 13-81-321, Дубна, 1981.
5. Ульман П. и др. ОИЯИ, 13-81-323, Дубна, 1981.
6. Thorwirth G., Polack W. Feingerätetechnik, 1978, No.2, p.53.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
Д1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12450	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Д4-80-271	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д2-81-543	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д10,11-81-622	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д17-81-758	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-82-27	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Р18-82-117	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д2-82-568	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Д9-82-664	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
ДЗ,4-82-704	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Ульман П., Ульман Х., Щербаков Ю.А.

1-83-256

Теневой метод фотографирования в стримерной камере

Исследуется оптическое устройство для регистрации свилей, позволяющее с помощью импульсной лазерной техники обнаруживать быстро протекающие изменения фазы в прозрачных средах. Для фотографирования было собрано оптическое устройство с импульсным азотным лазером, излучение которого преобразовывалось в видимую область красителем родамином бж. На этом устройстве были реализованы метод темного поля и метод светлого поля. С помощью этого устройства были получены снимки искровых разрядов в воздухе и следов электронов в гелиевой стримерной камере, а также исследована их структура при различных условиях фотографирования. Показано, что при наличии собственного свечения треков частиц наилучшие фотографии получаются при использовании метода светлого поля.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Uhlmann P., Uhlmann Kh., Shcherbakov Yu.A.

1-83-256

An optical device is investigated for detecting optical inhomogeneities with the aid of laser pulse technique. The device permits one to reveal rapid changes of phase in transparent media. With the help of this device pictures of spark discharge channels in air and of electron tracks in a helium streamer chamber have been obtained. Their structure has been studied in different photography conditions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов.