

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОТОНОГРАФИИ

А. Г. ПОЛАНДОВ, А. Ф. ТУЛИНОВ

Разработаны методы построения денситометрических характеристик фотозмульсий, предназначенных для анализа протонограмм, получаемых при взаимодействии быстрых заряженных частиц с монокристаллами.

После обнаружения эффекта теней [1] очень скоро выяснилось, что при его исследовании большие удобства представляет использование для регистрации заряженных частиц фотопластинок [2] с последующим их фотометрированием. Протонограммы, которые при этом получаются, содержат богатую информацию о структуре кристаллов, о степени их совершенства, характере колебаний атомов в решетке и т. д., однако для извлечения из протонограмм этой информации необходимо обеспечить получение количественных данных о распределении интенсивности частиц по фотопластинке. Очевидно, что для этого необходимо иметь возможность в каждом конкретном случае строить денситометрическую характеристику. До последнего времени не было методов построения денситометрических характеристик, отвечающих задаче расшифровки протонограмм. В настоящей работе описываются два таких метода, разработанных специально для целей протонографии.

Вообще говоря, денситометрические характеристики зависят от многих факторов. Они определяются типом эмульсии, геометрией, в которой производилось облучение, сортом и спектральным составом частиц, условиями обработки фотопластинки. Очевидно, что эксперименты, поставленные для получения протонограммы, с одной стороны, и денситометрической кривой—с другой, должны проводиться по возможности в одинаковых условиях. В данном случае эти условия связаны с рядом особенностей. Наиболее существенные особенности этих условий заключаются в следующем. При получении протонограммы от толстого кристалла на фотопластинку падает поток частиц, обладающий сплошным энергетическим спектром с максимальной энергией, соответствующей рассеянию частиц на поверхности мишени. Вообще говоря, спектры частиц, полученные в области тени и вне ее, по своей форме оказываются различными. Спектр, полученный вне тени, практически оказывается тождественным спектру от аморфной мишени, который, как известно, в большинстве случаев имеет форму, близкую к прямоугольной. Спектр, соответствующий области тени, в общем случае является спадающей функцией энергии. Однако при достаточно малых энергиях падающих частиц (десятки кэв) форма этого спектра также становится практически прямоугольной. Сохранение формы спектров для различных участков протонограмм в обла-

сти малых энергий дает возможность для получения денситометрической характеристики пользоваться процессом рассеяния частиц на аморфной мишени. Далее, для получения протонограмм относительно слабые требования предъявляются к мониторированию пучка. Обычно оказывается достаточным так выбрать экспозицию, чтобы плотность почернения на фотопластинке укладывалась в пределы, удобные для фотометрирования. Действительно, для расшифровки протонограмм знание абсолютных потоков частиц, зарегистрированных различными участками фотопластинки, не является необходимым. Нужно знать лишь относительные распределения доз. Отсюда оказывается достаточной такая денситометрическая характеристика, на которой плотность почернения представляется в зависимости от относительных значений доз. Наконец, при получении протонограмм отсутствуют сколько-нибудь жесткие требования к постоянству интенсивности пучка во времени. Очевидно, что денситометрическую характеристику целесообразно получать в тех же условиях, что и протонограмму. Поэтому желательно, чтобы метод ее получения не требовал дополнительной стабилизации интенсивности пучка.

Ниже описаны два метода получения денситометрической характеристики, удовлетворяющие перечисленным условиям.

§ 1. Получение денситометрической характеристики методом „шторки“

Идея метода заключается в следующем. Пучок частиц, рассеянный на аморфной мишени, падает нормально на фотопластинку, которая вращается с постоянной угловой скоростью. Перед пластинкой располагается неподвижный экран с вырезанным в нем окном в виде сектора; через это окно происходит облучение пластинки. При достаточно большой постоянной скорости вращения и длительной экспозиции доза, полученная пластинкой вдоль некоторой окружности с центром, совпадающим с осью вращения, с высокой степенью точности будет постоянна. Важно отметить, что это постоянство дозы сохраняется даже в случае заметной анизотропии в угловом распределении рассеянных частиц. Анизотропия приведет лишь к изменению дозы в радиальном направлении. Если теперь синхронно с поворотом фотопластинки секторное окно закрывать и открывать шторкой также секторного типа, то вдоль любой окружности получается характерное азимутальное распределение доз. Зная связь между угловым положением пластинки и положением шторки, можно определить относительные величины доз полученных различными точками окружности. Схема конструкции прибора приведена на рис. 1. Синхронность движения шторки (2) и вращения фотопластинки (3), установленной на доньшке вращающегося стакана (5), обеспечивается с помощью рычажков (11), связанных с толкателем (12), который своим роликом (13) прижимается с помощью стальной пластины (14) к стенке вращающегося стака-

на. Его ось смещена относительно оси вращения пластинки на 5 мм. Зависимость угла поворота шторки φ от угла поворота пластинки α определяется с помощью шкалы (9) и добавочного градуировочного лимба, насаженного на ось вращения стакана (5). Эта зависимость по-

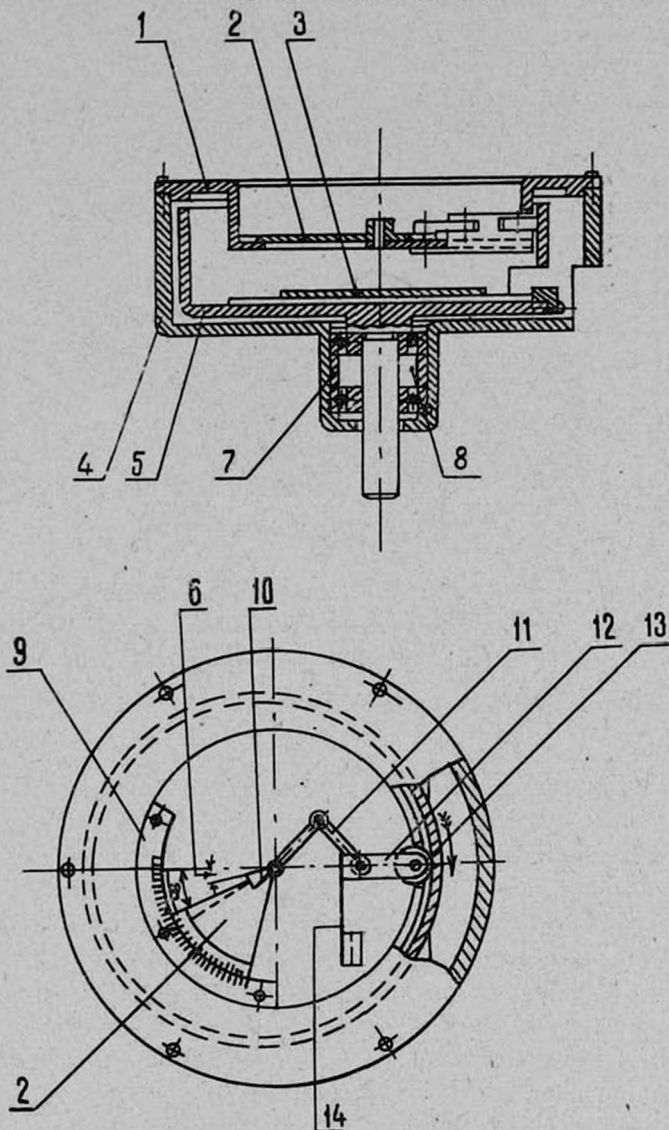


Рис. 1. Конструкция прибора для получения денситометрической характеристики фотопластинки методом „шторки“. 1. Крышка. 2. Шторка. 3. Фотопластинка.

4. Корпус. 5. Стакан. 6. Секторное окно В. 7, 8. Подшипники. 9. Шкала 1.

10. Прорезь. 11. Рычажки. 12. Толкатель. 13. Ролик. 14. Пружина.

казана на рис. 3. Из графика видно, что в минимуме φ слабо зависит от α . Это затрудняет определение начала облучения фотопластинки. Чтобы обойти эту трудность, характер движения шторки выбран так, чтобы она перекрывала окно „с запасом“ на угол φ_0 . Начало облучения пластинки в нашем приборе показано на рис. 2 пунктирной линией.

Выше отмечалось, что угловая скорость вращения пластинки строго говоря должна быть постоянна. В реальных условиях это постоянство может нарушаться. Скажем, в нашем случае это может происходить из-за используемой рычажной системы. Для проверки постоянства угловой скорости и того факта, что при данной экспозиции обеспечена достаточно высокая степень усреднения дозы по окружности, в подвижной шторке имеется прорезь (10). Наличие этой прорези приводит к тому, что в течение всего оборота пластинки опре-

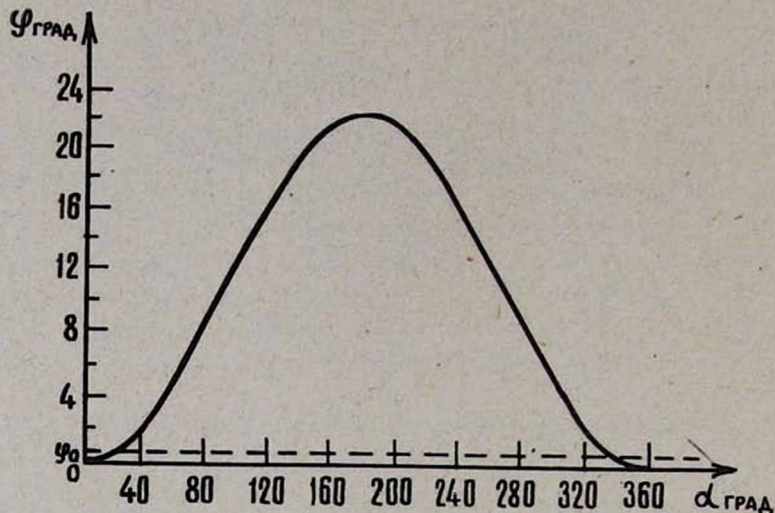


Рис. 2. Зависимость угла поворота шторки φ от угла поворота фотопластины α .

деленный участок секторного окна (6) остается открытым. Величина угла B этого секторного участка выбирается так, чтобы плотность почернения s за время экспонирования фотопластины внутри контрольного кольца не превышала 0,4. При этом, как показывают соответствующие денситометрические характеристики, величина s пропорциональна дозе H , вызвавшей такое почернение. Фотометрирование по окружности в области почернения, создаваемого дополнительным секторным участком, дает возможность не только оценить ошибки, возникающие из-за недостаточной степени усреднения и колебаний угловой скорости, но и при необходимости ввести поправку в денситометрическую характеристику. На рис. 3 показана денситограмма, полученная методом „шторки“. Экспонирование фотопластины проводилось под углом 90° к падающему пучку. Расстояние от мишени до фотопластины составляло 120 мм. Очевидно, время экспозиции при вращающейся фотопластинке должно быть в $\frac{2\pi}{\varphi_m}$ (φ_m — максимальный угол шторки) раз больше времени, необходимого для получения той же плотности почернения при неподвижной фотопластинке.

Обработка денситограмм проводилась на микрофотометре МФ-4. Для этого был изготовлен столик, позволяющий проводить фотометрирование вдоль окружности. Ось вращения фотопластинок совмещалась с осью вращения столика микрофотометра при помощи двух микрометрических винтов, расположенных взаимно перпендикулярно.



Рис. 3. Денситограмма, полученная методом шторки.

Ошибка в совмещении осей не превышала 0,05 мм (увеличение фотометра равно 21). Для определения центра вращения на денситограмме использовалась резкая граница области почернения со стороны больших радиусов, имеющая форму окружности. Фотометрирование обычно проводилось вдоль окружности радиуса 15 мм. При этом ошибки фо-

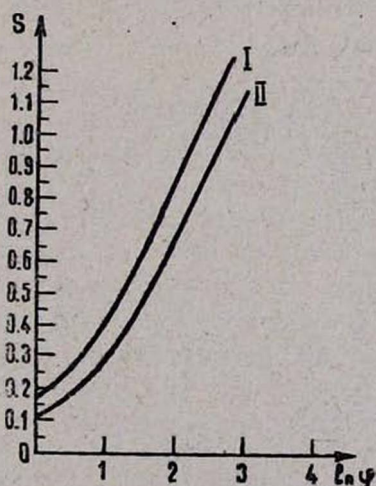


Рис. 4. Денситометрические характеристики фотопластины МК.

I. Метод „шторки“. II. Метод „клина“.

тометрирования, обусловленные неполным совпадением центров, не превышали одного процента.

Практически построение денситометрической кривой осуществ-

вляется следующим образом. Значения плотности почернения, снимаемые вдоль окружности, выражаются в зависимости от угла поворота фотопластины. Затем значения угла поворота пластинки с помощью графика, изображенного на рис. 2, переводятся в значения угла раствора секторного окна. В результате имеем денситометрическую характеристику, выраженную в относительных величинах дозы.

На рис. 4 приведена одна из денситометрических характеристик (1), полученных для эмульсии МК, при рассеянии протонов с энергией 50 кэв на образце поликристаллического вольфрама, так как фотометрирование вдоль окружности внутри контрольного кольца не выявило азимутальной неоднородности. Дополнительные поправки в денситометрическую характеристику не вносились.

§ 2. Получение денситометрической характеристики методом „клина“

Этот метод конструктивно осуществляется проще, чем предыдущий. Перед вращающейся фотопластинкой помещается неподвижный экран с отверстием в виде равнобедренного треугольника (клина) с основанием в сторону оси вращения фотопластины и высотой, направленной вдоль радиуса. В этом случае при вращении пластинки различные участки вдоль радиуса будут экспонироваться в течение различных промежутков времени. Эти промежутки пропорциональны длине дуги l , отсекаемой клином, отнесенной к величине соответствующего радиуса r . Снимая зависимость плотности почернения s в радиальном направлении от $\varphi = \frac{l}{r}$, мы получаем денситометрическую

характеристику. Размеры треугольника, расстояние основания треугольника от оси вращения, а также общая геометрия опыта показаны на рис. 5. Пластина для экспонирования располагалась на расстоянии 120 мм от аморфной мишени так, что ее нормаль с направлением падающего пучка составляла угол 90° .

В данном методе основным источником ошибок является влияние на характеристику анизотропии углового распределения рассеянных частиц в пределах клина. Однако благодаря линейности денситометрической характеристики в области $s < 0,4$ оказывается возможным так же, как и в предыдущем методе, оценить эти ошибки и при необходимости внести соответствующие поправки в денситометрическую характеристику. С этой целью фотопластинки экспонируются без вращения при той же геометрии, при которой снимается денситограмма, так чтобы плотность почернения не превышала 0,4. Профотометрировав отпечаток клина по дугам соответствующих окружностей и построив зависимость средних значений плотности почернения для данной дуги от величины r , получаем поправочную кривую.

Методика фотометрирования в данном методе была та же, что и в предыдущем, с тем лишь отличием, что фотометрирование проводи-

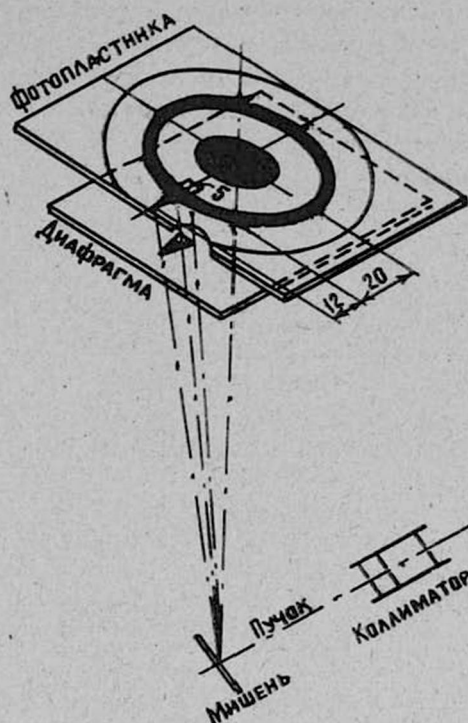


Рис. 5. Постановка экспериментов методом „клина“.

лось не по окружности, а по радиусу. Одна из полученных денситограмм приводится на рис. 6; на ней же имеется отпечаток клина, полученный экспонированием фотопластинки без вращения. Этот треу-

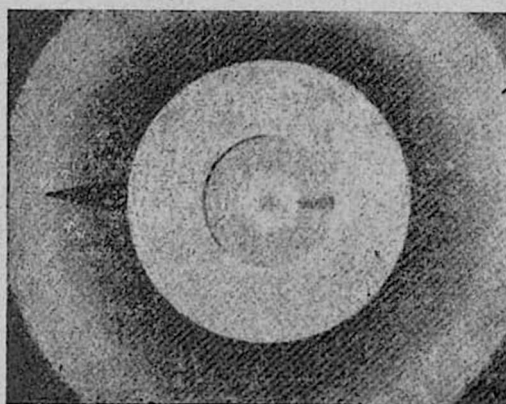


Рис. 6. Денситограммы, полученные методом „клина“.

гольник используется для измерения отрезков длин, отсекаемых клином.

На рис. 4 изображена (II) одна из денситометрических характеристик, полученных методом „клина“ для тех же условий, что и ра-

нее. Так как поправка на анизотропию не превышала 3%, она не вводилась. Видно, что денситометрические характеристики, полученные обоими методами, согласуются между собой. Они отличаются лишь параллельным переносом вдоль оси $\ln H$. Это связано с тем, что рассматриваются лишь относительные значения доз.

Авторы приносят благодарность И. Г. Носкевичу за помощь в проведении измерений.

НИИЯФ МГУ

Поступила 30.V.1970

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Ф. Тулинов, УФН, 87, 126 (1965).
2. Б. Г. Ахметова, Ю. М. Плещ, А. Ф. Тулинов, ЖЭТФ, 51, 1643 (1966).

ՊՐՈՏՈՆՈԳՐԱՖԻԱՅԻ ՆՊԱՏԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ԴԵՆՍԻՏՈՄԵՏՐԻԿ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐ

Ա. Գ. ՊՈԼԱՆԴՈՎ, Ա. Ֆ. ՏՈՒԼԻՆՈՎ

Մշակված են ֆոտոէմուլսիաների դենսիտոմետրիկ բնութագրերի կառուցման եղանակներ, որոնք նախատեսված են մոնոքրյուրեղների հետ արագ լիցքավորված մասնիկների փոխազդեցության պրոտոնոգրամների վերլուծման համար:

METHODS OF OBTAINING DENSITOMETRIC CHARACTERISTICS FOR PROTONOGRAPHY

A. G. POLANDOV, A. F. TULINOV

Methods are developed for constructing densitometric characteristics of photo-emulsions, intended to analyze protonograms, obtained in interaction of fast charged particles with single crystals.