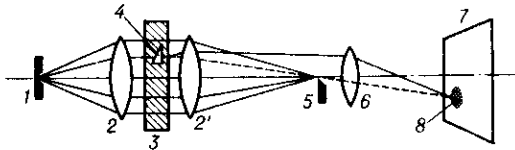


ломляющих сред. Т. м. наз. также шпирен-методом (от нем. Schlieren—оптич. неоднородность, свиль, шпир).



В Т. м. пучок лучей от точечного или щелевого источника света (1) (рис.) линзой или системой линз и зеркал (2—2') направляется через исследуемый объект (3) и фокусируется на непрозрачной преграде (5) с острой кромкой (на т. н. ноже Фуко), так что изображение источника проецируется на самом краю преграды. Если в исследуемом объекте нет оптич. неоднородностей, то все идущие от него лучи задерживаются преградой. При наличии оптич. неоднородности (4) лучи будут рассеиваться ею и часть их, отклонившись, пройдет выше преграды. Поставив за ней проекционный объектив (6) или окуляр, можно на экране (7) получить изображение неоднородностей (8) или наблюдать их визуально. Иногда вместо точечного источника света и ножа Фуко применяют оптически сопряжённые решётки (расчёпки), перекрывающие ход лучам в отсутствие на их пути неоднородностей. Применяются также решётки со щелями в виде цветных светофильтров, позволяющие нагляднее определять характер оптич. неоднородности. Получение менее контрастной картины зон изменения оптич. плотностей объекта возможно без перекрытия лучей ножом Фуко или решётками. Просвечивание объекта двумя оптич. системами, установленными под углом друг к другу, позволяет получать стереоскопич. картину распределения неоднородностей в объекте.

Т. м. применяют при исследованиях распределения плотности воздушных потоков, образующихся при обтекании моделей в аэродинамических трубах, используют для проекции на экран изображений (получаемых в виде оптич. неоднородностей) в пузырьковых камерах, в телевиз. системах проекции на большой экран и др.

Лит.: Валуев Н. А., Растровые оптические приборы, М., 1966; Васильев Л. А., Теневые методы, М., 1968. Н. А. Валуев.

**ТЕНЕЙ ЭФФЕКТ** — возникновение характерных минимумов интенсивности (теней) в угл. распределении частиц, вылетающих из узлов кристаллич. решётки. Т. э. был обнаружен в 1964 А. Ф. Тулиновым и независимо Б. Домеем и К. Бёрквистом. В работах Тулинова тени наблюдались в потоках частиц — продуктов ядерных реакций на кристаллич. мишени, облучённой ускоренными частицами. В опытах Домея и Бёрквиста источником заряж. частиц были  $\alpha$ -радиоакт. ядра, введённые в узлы кристаллич. решётки методом *ионной имплантации*. Все последующие эксперименты проводились по первой схеме.

Для положительного заряж. частиц (протонов,  $\alpha$ -частиц и более тяжёлых ионов), выпускаемых из узлов кристаллич. решётки, не все направления в кристалле оказываются допустимыми. Вылет частиц в направлениях кристаллографич. осей и плоскостей «блокирован» из-за рассеяния их электр. полем атомных ядер, образующих эти оси или плоскости. В угл. распределении частиц, регистрируемых вне кристалла, наблюдаются минимумы интенсивности — «тени» от кристаллографич. осей и плоскостей (рис. 1). Угл. размеры осевой тени определяются соотношением

$$\psi_0 \approx \sqrt{Z_1 Z_2 e^2 / \epsilon d},$$

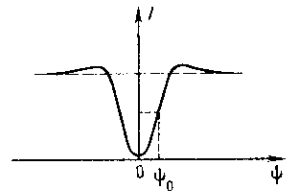
где  $\psi_0$  — полуширина тени,  $Z_1 e$ ,  $\epsilon$  — заряд и энергия движущейся



Рис. 1. Образование тени.

частицы,  $Z_2 e$  — заряд ядра атома кристалла,  $d$  — расстояние между соседними атомами вдоль оси. Для протонов с  $\epsilon \sim 1$  МэВ величина  $\psi_0 \sim 1^\circ$ . Интенсивность частиц в центре тени для бездефектного кристалла примерно в 100 раз меньше, чем на периферии (рис. 2).

Рис. 2. Угловое распределение частиц, вылетающих из кристалла в области тени.



Т. э. относится к группе т. н. ориентационных явлений, наблюдаемых при облучении кристаллов потоками частиц. Два ориентационных эффекта — *каналирование заряженных частиц* и Т. э. — дополняют друг друга: первый относится к частицам, движущимся в областях кристалла с пониженной плотностью вещества, второй — к частицам, оказавшимся в местах, где плотность вещества максимальна. В экспериментах, связанных с Т. э., определяют вероятность попадания в определённом образом ориентированный детектор частицы, вылетающей из узла решётки, тогда как в экспериментах по каналированию измеряют вероятность попадания ориентированного пучка частиц в ядро атома кристалла.

Т. э. может наблюдаться и в угл. распределении частиц, испытавших резерфордовское рассеяние на большой угол при столкновении с ядрами кристалла. Так как прицельные расстояния, соответствующие рассеянию на большие углы, значительно меньше амплитуды тепловых колебаний атомов в кристаллич. решётке, то можно считать, что рассеянные частицы начинают своё движение практически из узлов решётки. Регистрация угл. распределения рассеянных частиц в большом телесном угле, навр. с помощью *ядерной фотографической эмульсии*, позволяет получить систему теней — ионограмму (рис. 3). Пятна



Рис. 3. Ионограмма монокристалла вольфрама.

и линии на ионограмме принципиально отличны от пятен и линий, получаемых при изучении кристаллов дифракц. методами (*рентгенография материалов, электронография, нейтронография*). Из-за малой длины волны де Бройля тяжёлых частиц ( $\lambda \sim 10^{-12}$  см для протонов с энергией  $\epsilon \sim 1$  МэВ) дифракц. явления практически не оказывают влияния на образование теней. Наблюдаемые пятна и линии являются результатом чисто корпускулярного характера движения частиц в кристалле и соответствуют пересечению с плоскостью фотоэмульсионки кристаллографич. осей и плоскостей. Как следствие этого, элементам ионограммы не свойственны ограничения на разрешающую способность, присущие дифракц. картинам (волновое размытие пятен). Распределение интенсивности частиц в пределах одной тени, осевой или плоскостной, определяется такими факторами, как состав и структура кристалла, вид и энергия частиц, темп-ра кристалла тип и кол-во дефектов.