

менее 1 нм. Значения радиусов корреляции, как правило, заключены в пределах от долей мкм до неск. десятков (иногда сотен) мкм. Более точная теория рассеяния, рассматривающая в приближении теории возмущений модель шероховатой поверхности как неоднородного слоя, формирующего отражённую волну, даёт более сложную зависимость интенсивности и индикатрисы рассеяния от параметров пучка и геометрии поверхности. В частности, в практических наиболее важных случаях относительно больших радиусов корреляции и углов скольжения, близких к θ_c , индикатриса рассеяния имеет симметричный вид и её максимум совпадает с зеркальным пиком. При очень малых a рассеяние практически полностью концентрируется в области критич. угла отражения при любых θ (при $\theta > \theta_c$ это проявляется в виде т. н. эффекта Ионеды: индикатриса рассеяния имеет два пика — зеркальный, смещающийся с изменением θ , и диффузный, остающийся при этом в положении, соответствующем $\theta = \theta_c$).

На френелевском отражении основаны зеркала скользкого падения (ЗСП), применяемые для концентрации излучения в рентг. каналах синхротронов, микроанализаторах, камерах малоуглового рассеяния, рентгеноспектральных и др. приборах. Обычно используют вогнутые сферические, цилиндрические, тороидальные или эллиптические ЗСП, а также параболоиды и эллипсоиды вращения. Недостаток одиночных ЗСП — большие aberrации, гл. обр. астигматизм и кома, к-рые ограничивают в конечном итоге светосилу и предел концентрации излучения.

Для построения изображений самосветящихся или просвечиваемых объектов в рентг. телескопах и рентг. микроскопах применяются системы из двух или больше

лом скольжения и длиной зеркал, ограниченной вследствие роста aberrаций. Для увеличения апертуры используют «гнездообразные» системы из вложенных друг в друга пар зеркал с общим фокусом. Предельным случаем являются системы из неск. десятков или сотен очень коротких двойных конич. колец, для к-рых качество изображения определяется в осн. шириной кольца, а коэф. использования площади входного отверстия достигает 50% и более. Эфф. светосила ЗСП зависит также и от коэф. отражения покрытия $R(\theta)$, к-рое подбирается исходя из максимума произведения $\theta \cdot R(\theta)$ для заданного диапазона длин волн. В МР- и УМР-диапазонах наиб. часто используют покрытия из никеля и золота, имеющие наиб. значения $\theta \cdot R(\theta)$.

Особый тип ЗСП — зеркала с многократным отражением, работающие по принципу «шепчущей галереи». Если направить пучок рентг. излучения под углом $\theta < \theta_c$ к поверхности изогнутого зеркала, то в результате многократных отражений от неё пучок можно повернуть на значит. угол ϕ , к-рый может составлять десятки градусов. Коэф. отражения при этом определяется λ , оптич. константами материала зеркала, ϕ и шероховатостью отражающей поверхности. Он оказывается на неск. порядков больше, чем при однократном отражении с поворотом на тот же угол. Этот принцип применяется и в рентг. волноводах (обычно изготовляемых из кварцевых витевидных капилляров), к-рые можно использовать для передачи излучения на расстоянии в десятки см и преобразования пучков аналогично волоконным световодам видимого диапазона.

Рентгеновская оптика сред с упорядоченной структурой

В том случае, когда структура вещества упорядочена и характерный период структуры $a \sim \lambda$, интерференция когерентных волн, дифрагировавших на элементах структуры, приводит к концентрации рассеянного излучения в нек-рых дискретных направлениях, в к-рых волны складываются в фазе; интенсивность этого излучения пропорц. квадрату числа элементов структуры. В рамках такого дифракц. подхода рассматриваются брэгговская оптика кристаллов, оптика многослойных отражающих покрытий, микроструктурная рентг. оптика. В первом случае в качестве рентгенооптич. элементов используют кристаллич. структуры, в последних двух — искусственно созданные объёмные или поверхностные структуры — зеркала нормального падения с многослойными покрытиями; отражательные и пропускающие дифракц. решётки, зонные пластинки Френеля, брэгг-френелевские отражатели.

Брэгговская оптика кристаллов. При взаимодействии рентг. излучения с кристаллом, когда выполняются условия Брэгга — Вульфа, возникает брэгговское отражение (см. Дифракция рентгеновских лучей). Это явление легло в основу рентгено-спектральных методов (см. Рентгеновская спектральная аппаратура), а также методов рентгеновской топографии. Диапазон спектра, в к-ром может использоваться тот или иной кристалл, определяется постоянной решётки $2d$ и диапазоном изменения (обычно от $3-5^\circ$ до $60-70^\circ$) угла Брэгга θ (угла между плоскостью кристалла и направлением падающего пучка). Кристаллы со структурой, близкой к идеальной, имеют наиб. высокую разрешающую силу $\delta/\Delta\delta$ (δ — энергия рентг. кванта, $\Delta\delta$ — энергетич. ширина максимума отражения) при сравнительно небольшом значении интегрального коэф. отражения $R_c = \int R(\theta) d\theta$. Напр., кристалл кварца при отражающей плоскости (1011) ($2d = 0,6686$ нм) имеет $R_{c \max} = 1,23 \cdot 10^{-4}$ и $\delta/\Delta\delta_{\max} = 7700$, при отражающей плоскости (2023) ($2d = 0,2750$ нм) $R_{c \max} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ и $\delta/\Delta\delta_{\max} = 4 \cdot 10^6$. Мозаичный кристалл графита [плоскость (002), $2d = 0,6708$ нм] имеет $R_{c \max} = 1,52 \cdot 10^{-3}$ и $\delta/\Delta\delta_{\max} = 113$.

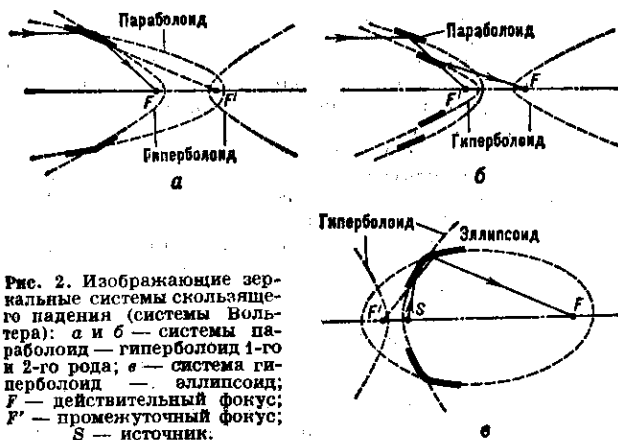


Рис. 2. Изображающие зеркальные системы скользкого падения (системы Вольтера): а и б — системы параболоид — гиперboloид 1-го и 2-го рода; в — система гиперboloид — эллипсоид; F — действительный фокус; F' — промежуточный фокус; S — источник.

го числа ЗСП. Простейшая из таких систем — система Киркпатрика — База — состоит из пары скрещенных сферич. или цилиндрич. зеркал (см. Рентгеновский микроскоп, рис. 2).

Высоким разрешением и значительно большей, чем скрещенные системы, светосилой обладают системы глубоко асферических осесимметричных ЗСП с отражающими поверхностями, имеющими форму параболоидов, гиперboloидов и эллипсоидов вращения. Для компенсации aberrаций число зеркал в таких системах должно быть чётным. Наиб. распространены т. н. системы Вольтера (рис. 2): параболоид — гиперboloид, используемая в рентг. телескопах, и система гиперboloид — эллипсоид, применяемая в рентг. микроскопах. Принцип построения систем Вольтера состоит в том, что промежуточное мнимое изображение источника строится в общем фокусе 1-го и 2-го зеркал, а результирующее действительное — в сопряжённом фокусе 2-го зеркала.

Геом. апертура систем Вольтера представляет собой кольцевое отверстие, ширина к-рого определяется уг-