

волны. Модулировать положение отражающих плоскостей можно также путём смещения плоскостей из отражающего положения, изменением параметра решётки (межплоскостного расстояния) внеш. воздействием, искажением формы поверхности кристалла в целом импульсными или волновыми процессами и путём модуляции электронной плотности в кристалле. БФЭ могут быть использованы в широком диапазоне длин волн, имеют большие механич., термич. и радиац. устойчивости. На базе управляемых БФЭ можно создавать устройства сканирования рентг. пучком, модуляции и передачи информации. БФЛ, совмещённые с интерферометрами Фабри — Перо и изготавливаемые на прозрачных для рентг. излучения мембранах, рассматриваются как осн. элементы для резонаторов рентг. лазеров.

Перспективы развития Р. о. связаны гл. обр. с совершенствованием технологии изготовления рентгеноопт. элементов (получения сверхгладких зеркальных поверхностей разл. профиля, улучшения качества поверхностей многослойных покрытий, повышения разрешения микроструктур и т. д.). Наибольшие надежды возлагаются на Р. о. многослойных покрытий и брэгг-френелевскую оптику в связи с разработкой рентг. лазеров, рентг. голографии, рентг. микроскопии и др. направлений.

Лит.: Зимкина Т. М., Фомичев В. А., Ультрамалая рентгеновская спектроскопия, Л., 1971; Вугек А. J., Crystals for astronomical X-ray spectroscopy, «Space Sci. Instr.», 1976, ч. 2, № 1/3, p. 53; Кауль Д., Физика дифракции, пер. с англ., М., 1979; Пинскер Э. Г., Рентгеновская кристаллооптика, М., 1982; Рентгеновская оптика и микроскопия, под ред. Т. Шмала и Д. Рудольфа, пер. с англ., М., 1987; Мишестт А., Оптика мягкого рентгеновского излучения, пер. с англ., М., 1989; Зеркальная рентгеновская оптика, под ред. А. В. Виноградова, Л., 1989; Аристов В. В., Ермо А. И., Рентгеновская оптика, М., 1991.

РЕНТГЕНОВСКАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

РА — аппаратура для рентгеновской спектроскопии и рентгеноспектрального анализа, в к-рой рентг. излучение исследуемого объекта (или рентг. излучение непрерывного спектра, прошедшее через исследуемый объект) разлагается в спектр, регистрируется и анализируется. С помощью Р. с. а., напр., исследуют тонкую структуру рентг. спектров, определяют элементный состав вещества, осуществляют диагностику высокотемпературной плазмы (по рентг. спектрам многозарядных ионов).

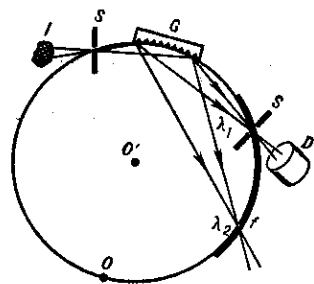
Р. с. а. принципиально отличается от оптич. спектральной аппаратуры, т. к. прозрачных для рентг. излучения оптич. материалов не существует и в Р. с. а. не используется линзовая оптика. Отражение рентг. излучения основано на эффекте полного внеш. отражения (см. Рентгеновская оптика), а в дисперсионных системах используется дифракция рентг. лучей. В Р. с. а. диспергирующие и фокусирующие элементы объединены. Для рентг. излучения с длиной волны $\lambda < 2 \text{ \AA}$ вся оптич. часть Р. с. а. должна быть помещена в вакуум, высокая энергия квантов рентг. излучения ($10^3 - 10^5 \text{ эВ}$) позволяет проводить его регистрацию в счётном режиме.

Р. с. а. классифицируют по способу разложения излучения в спектр, типу рентг. источника и способу регистрации излучения. В дисперсионной Р. с. а. для разложения излучения в спектр используют дифракц. решётки и кристаллы-анализаторы, в недисперсионной — нужный узкий участок спектра выделяют сквятилляц. счётчиком или пропорциональным счётчиком и полупроводниковым детектором с амплитудным анализатором импульсов. Источниками рентг. излучения могут служить высокотемпературная плазма, синхротроны, рентг. трубки, причём с помощью Р. с. а. исследуют как спектры испускания (флуоресцентные спектры), так и спектры поглощения (абсорбционные). По способу регистрации излучения Р. с. а. разделяют на спектрографы с фоторегистрацией (применяются в осн. в рентг. спектроско-

пии) и спектрометры с регистрацией детекторами рентг. квантов. По области спектра Р. с. а. делится на коротковолновую (с длиной волны $\lambda \sim 0,1 \div 2 \text{ \AA}$), длинноволновую ($\lambda \sim 2 \div 20 \text{ \AA}$) и ультрадлинноволновую ($\lambda \sim 20 \div 100 \text{ \AA}$) аппаратуру.

В дисперсионной Р. с. а. в ультрадлинноволновой области спектра излучение разлагают в спектр с помощью вогнутых дифракц. решёток скользящего падения (рис. 1). Разрешение спектрометров с дифракц. решёт-

Рис. 1. Схема рентгеновского спектрометра с вогнутой дифракционной решёткой: G — дифракционная решётка; S — щель; I — источник излучения; f — фокальная окружность; O' — её центр; O — центр окружности, по которой изогнут кристалл, или центр вогнутой дифракционной решётки; D — детектор; λ_1, λ_2 — дисперсионные лучи ($\lambda_2 > \lambda_1$).



кой, как правило, ограничивается шириной входной щели и равно

$$\lambda/\Delta\lambda = 0,92R\lambda m/Sd,$$

где S — ширина щели, d — период решётки, m — порядок дифракции, R — радиус решётки.

В области спектра с $\lambda < 20 \text{ \AA}$ излучение разлагают в спектр с помощью кристаллов-анализаторов (табл.),

Кристаллы-анализаторы и их характеристики

Кристалл	Отражающая плоскость	Межплоскостное расстояние, 2d, \AA	Максимальная разрешающая способность, $\lambda/\Delta\lambda$	Интегральный коэффициент отражения, 10^{-3} , рад
Карбид	001	27,714	1400	8+18
Слюда (мушкетер)	002	19,884	~2000	2+3
Гипс	020	15,168	—	—
ADP	101	10,859	10000	1+10
EDDT	020	8,808	—	—
PET	002	8,726	8000	10+20
Кварц	1010	8,512	20000	1+10
Кварц	1011	6,7153	10000	2+14
Графит	002	6,096	~100	50+200
Ge	111	6,5327	6000	—
Флюорит	111	6,28	—	—
Si	111	6,271	10000	2+10
Кальцит	211	6,069	15000	2+30
NaCl	200	5,64	—	—
Кварц	1120	4,912	30000	0,4+3,3
Топаз	200	4,638	—	—
Кварц	2020	4,246	—	—
LiF	200	4,028	~2000	~10
Ge	220	4,00	13000	17+23
Si	220	3,8399	29000	1+6
Кальцит	422	3,034	64000	0,4+0,9
LiF	220	2,848	~1300	10+20
Кварц	2023	2,806	90000	0,3+0,9
Топаз	303	2,712	—	—
Кварц	2240	2,451	—	—
Кварц	2243	2,024	144000	0,2+0,45
Кальцит	633	2,02	122000	0,3+0,6

в них происходит дифракция рентгеновских лучей на атомной структуре. В случае более ДВ-излучения дифракция происходит при отражении излучения от поверхности кристалла, в случае КВ-излучения — при его прохождении через кристалл. В первом случае отражающие атомные плоскости должны быть расположены вдоль, во втором — перпендикулярно поверхности кристалла. В Р. с. а. используются плоские (рис. 2), выпуклые (рис. 3) и вогнутые кристаллы-ана-