

2.7. Дифракция рентгеновских лучей.

Литература (Сивухин Д. §61, Савельев §131)

Помимо обычных дифракционных решеток бывают двумерные и трехмерные (пространственные) дифракционные решетки. В этих решетках свойство периодичности структуры выполняется в двух или в трех различных направлениях. Такие решетки играют важную роль в физике рентгеновских лучей.

Обычные оптические дифракционные решетки не годились, чтобы наблюдать дифракцию рентгеновских лучей, длины волн которых ~ 0.1 нм и меньше. М. Лауэ в 1912 году предложил использовать для наблюдения дифракции таких волн кристаллическую структуру как дифракционную решетку. Кристаллические твердые тела образуют пространственные (иногда двумерные) решетки, которые обладают периодичностью в трех различных направлениях.

В современной физике возникли 2 основных направления, связанные с использованием рентгеновского излучения: *рентгеновская спектроскопия* и *рентгеноструктурный анализ*. Первое направление использует естественные кристаллы известной кристаллической структуры для анализа рентгеновского излучения и измерения длин волн. Второе направление использует рентгеновское излучение известной длины волны для выяснения структуры кристаллов и измерения параметров этой структуры.

Простейший случай дифракции – дифракция лучей на прямолинейной цепочке атомов, расстояние между которыми равно a . Параллельный пучок рентгеновских лучей падает под *углом скольжения* α_0 и

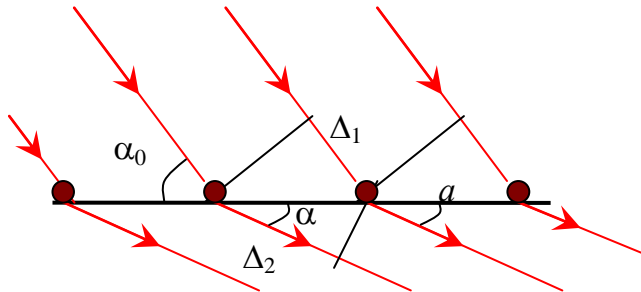


Рис. 7.1.

рассеивается под углом α . Разность хода лучей определяется из рисунка 7.1:

$$\Delta = \Delta_2 - \Delta_1 = a(\cos\alpha - \cos\alpha_0) \quad (2.7.1)$$

Условие максимального усиления лучей равно:

$$\Delta = a(\cos\alpha - \cos\alpha_0) = m\lambda \quad (2.7.2)$$

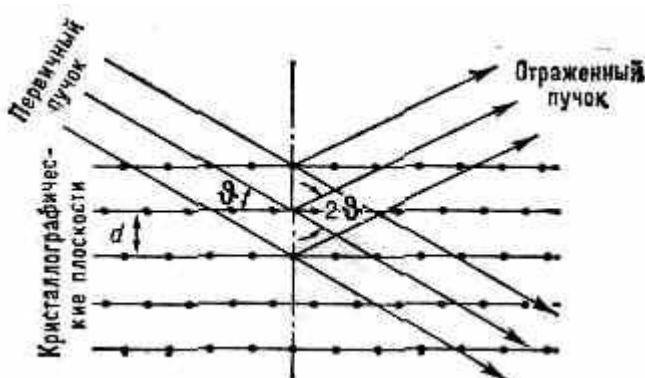
где как обычно, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Двумерные и трехмерные решетки могут быть *простыми* (примитивными) и *составными*. Составная решетка состоит из нескольких простых решеток, вставленных друг в друга.

Периодическая структура просматривается по атомным рядам и атомным плоскостям. Элементарной ячейкой простой решетки является параллелепипед с ребрами a_1, a_2, a_3 , в вершинах которого находятся атомы. На простую кристаллическую решетку падает параллельный пучок рентгеновских лучей, образующих углы скольжения $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ с координатными осями X, Y, Z. Дифракционная картина, создаваемая кристаллом, регистрируется на фотопленке, помещенной за кристаллом. Формулы Лауэ, определяющие положение максимумов при дифракции, записываются:

$$\begin{aligned} a_1(\cos\alpha - \cos\alpha_0) &= m_1\lambda \\ a_2(\cos\beta - \cos\beta_0) &= m_2\lambda \\ a_3(\cos\gamma - \cos\gamma_0) &= m_3\lambda \end{aligned} \quad (2.7.3)$$

где $m_1, m_2, m_3 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Формулы Лауэ указывают направления пучков, возникающих при дифракции на кристалле. Дифракционное изображение неподвижного монокристалла, полученное с помощью рентгеновских лучей, часто называют *лауэграммами*. На лауэграммах, кроме центрального пятна, образованного неотклонённым рентгеновским пучком, появляются пятна, число и расположение которых зависит от типа кристалла и его ориентации относительно пучка.



Иная трактовка дифракции рентгеновских лучей – отражение от различных плоскостей. Для интерференционного усиления отраженных атомными плоскостями волн должно выполняться условие:

$$2d\sin\vartheta = m\lambda \quad (2.7.4)$$

где ϑ – угол скольжения, d – межплоскостное расстояние в кристалле. Формула (2.7.4) носит название формулы Вульфа-Брэгга.

Условие Вульфа-Брэгга позволяет определить межплоскостные расстояния d в

кристалле, так как λ обычно известна, а углы θ измеряются экспериментально.

Условие (2.7.4) получено без учёта эффекта преломления для безграничного кристалла, имеющего идеально-периодическое строение. В действительности дифрагированное излучение распространяется в конечном угловом интервале $\theta \pm \Delta\theta$, причём ширина этого интервала определяется в кинематическом приближении числом отражающих атомных плоскостей (то есть пропорциональна линейным размерам кристалла), аналогично числу штрихов дифракционной решётки.

Примечание 1. *Макс Феликс Теодор фон Лауэ, немецкий физик-теоретик, 1879–1960; Нобелевская премия 1914 г. за открытие дифракции рентгеновских лучей;*
Георгий Викторович Вульф, советский кристаллофизик, 1863–1925;
Лоуренс Брэгг, английский физик, 1890–1971, Нобелевская премия 1915 г. за вклад в изучение структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей
