

## РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ

Орлов К. И., Костюкевич А.Ю., студенты группы 378105.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Леонович А.А. – кандидат физико-математических наук, доцент

**Аннотация.** Рентгеновские методы анализа материалов являются мощным инструментом для неразрушающего и точного исследования структуры и свойств материалов. В данной работе представлен обзор основных рентгеновских методов, включая дифракцию рентгеновского излучения, флуоресценцию и рентгеновскую спектроскопию. Рассмотрены принципы и области применения данных методов, включая определение кристаллической структуры, химического состава, напряжений, толщины пленок и дефектов в материалах. Обсуждаются преимущества и ограничения рентгеновских методов, а также перспективы их применения в различных областях материаловедения и научных исследований.

**Abstract.** X-ray methods for material analysis are powerful tools for non-destructive and precise examination of the structure and properties of materials. This paper provides an overview of the main X-ray methods, including X-ray diffraction, fluorescence, and X-ray spectroscopy. The principles and areas of application of these methods are discussed, including the determination of crystalline structure, chemical composition, stresses, film thickness, and defects in materials. The advantages and limitations of X-ray methods are addressed, as well as the prospects for their application in various fields of materials science and scientific research.

**Ключевые слова.** Рентгеновские методы, анализ материалов, дифракция рентгеновского излучения, флуоресценция, рентгеновская спектроскопия, кристаллическая структура, химический состав, неразрушающий анализ, напряжения в материалах, толщина пленок, дефекты материалов, материаловедение, научные исследования.

**Keywords.** X-ray methods, material analysis, X-ray diffraction, fluorescence, X-ray spectroscopy, crystalline structure, chemical composition, non-destructive analysis, stresses in materials, film thickness, material defects, materials science, scientific research.

Безусловными плюсами использования рентгеновских методов анализа являются:

– Неразрушающий характер: рентгеновские методы анализа материалов позволяют исследовать материалы без их разрушения.

– Высокая разрешающая способность: рентгеновские методы обладают высокой разрешающей способностью.

– Большой диапазон применения: Рентгеновские методы анализа применяются для исследования широкого спектра материалов, включая металлы, полимеры, керамику, стекло и композиты.

– Высокая чувствительность: Рентгеновские методы обладают высокой чувствительностью к малым изменениям в материалах.

Основные принципы рентгеновских методов анализа материалов:

**Дифракция рентгеновских лучей** - рассеяние рентгеновских лучей кристаллами (или молекулами жидкостей и газов) при котором из начального пучка лучей возникают вторичные отклонённые пучки той же длины волны, появившиеся в результате взаимодействия первичных рентгеновских лучей с электронами вещества.

В контексте дифракции рентгеновских лучей стоит упомянуть такое понятие как «Брэгговское отражение», сформулированное У.Л. Брэггом в 1913 году.

**Брэгговское отражение** является феноменом, связанным с дифракцией рентгеновских лучей на решетках кристаллических материалов. Оно основано на концепции *интерференции рентгеновских волн*, отраженных от атомов в кристаллической решетке.

Когда рентгеновский луч падает на кристалл, он взаимодействует с атомами внутри решетки. Часть луча проникает в материал, а часть отражается от атомов. В случае Брэгговского отражения отраженные волны от разных атомов в решетке могут интерферировать между собой, создавая конструктивную или деструктивную интерференцию.

Основной принцип Брэгговского отражения заключается в том, что для создания конструктивной интерференции падающий луч должен удовлетворять условию, известному как условие Брэгга:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

где  $d$  — межплоскостное расстояние,  $\theta$  — угол скольжения (брэгговский угол),  $n$  — порядок дифракционного максимума,  $\lambda$  — длина волны.

Если падающий луч удовлетворяет этому условию, то отраженные волны от разных слоев в решетке будут в фазе и интерференция будет конструктивной, что приводит к усилению интенсивности отраженного луча в определенном направлении. Это позволяет измерять углы отражения и интенсивность отраженных лучей для определения структуры кристаллического материала.

Брэгговское отражение используется в рентгеноструктурном анализе для определения кристаллической структуры, интерпретации дифракционных картин и изучения свойств материалов на



60-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР

4. Рентгенография кристаллов [Электронный ресурс] – Режим доступа: [andreev.doc \(geokniga.org\)](http://andreev.doc.geokniga.org) – Дата доступа: 13.04.24
5. Приборы и методы рентгеновской и электронной дифракции [Электронный ресурс] – Режим доступа: [untitled \(ucoz.ru\)](http://untitled.ucoz.ru) – Дата доступа: 13.04.24