

**Д.Г.Кошуг, О.Д.Кротова**

## **ФИЗИКА МИНЕРАЛОВ**

Курс лекций

ОТ АВТОРОВ

Курс физики минералов впервые был разработан доцентом О.В.Кононовым по инициативе заведующего кафедрой минералогии геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова А.С.Марфунина. О.В.Кононов длительное время читал этот курс студентам кафедры. До настоящего времени этот курс остается уникальным как для российских университетов, так и для зарубежных. Авторы данного учебника выражают О.В.Кононову искреннюю признательность и благодарность за предоставленные материалы по курсу физики минералов.

Отсутствие подобных курсов и соответствующих учебных пособий в геологических ВУЗах России определило необходимость подготовки данного издания. В его основу положен опубликованный в 2004 г. курс лекций по физике минералов. В учебном пособии рассматриваются вопросы, касающиеся основ физических свойств минералов и некоторых физических явлений. Материал, приведенный в учебном пособии, естественно, не может претендовать на полноту изложения. Для более полного ознакомления с отдельными темами, включенными в данное издание, рекомендуем читателям обратиться к соответствующим учебникам и монографиям.

Большую помощь в подготовке рукописи учебника оказали профессор А.А.Ульянов и д.г.-м.н И.В.Пеков, взявших на себя труд детально прочесть рукопись. Авторы благодарны им за очень ценные рекомендации и замечания. Выражаем благодарность В.С.Куражковской и Е.Ю.Боровиковой, предоставивших материал для написания раздела «Типы колебаний», профессору П.Ю.Плечову за предоставленные иллюстрации по включениям в минералах, профессору В.Н.Соколову за иллюстрации по методу электронной микроскопии, исполнительному директору Bruker MicroCT А.Ю.Сасову за иллюстративные материалы по рентгеновской микротомографии.

Авторы выражают благодарность Д.Ю.Пушаровскому, А.Н.Пенину, С.В.Вяткину, В.О.Япаскурту, Р.Серову, М.Е.Успенской, М.Ф.Вигасиной, Л.П.Огородовой, Е.А.Власову, Т.В.Посуховой за плодотворные консультации по отдельным вопросам минералогии, физики твердого тела и методам исследования минералов, А.Н.Ноздрякову за съемку спектров поглощения ряда минералов.

## ВВЕДЕНИЕ

Физика минералов в рассмотрении многих вопросов пересекается с физикой твердого тела и описывает основные физические свойства минералов. Изучение минералов во многом послужило основанием для становления ряда разделов физики. Так, исследование Гюйгенсом двупреломления света в кристаллах исландского шпата существенно повлияло на формирование кристаллооптики. С древнейших времен было известно статическое электричество у янтаря, явление магнетизма у магнетита. В средние века было обнаружено явление люминесценции у кристаллов барита, пироэлектричество у турмалина, пьезоэлектричество у горного хрусталя. Эти явления впоследствии получили как экспериментальное подтверждение, так и теоретическое описание на основе законов физики.

В свою очередь развитие физики и появление новых методов исследования вещества оказало существенное влияние на развитие минералогии. Особо следует отметить роль физических методов исследования. Ярким примером является изобретение в 1847 г. поляризационного микроскопа, существенно расширившего возможности петрографии. Открытие в конце XIX века рентгеновских лучей и изобретение метода расшифровки структур кристаллов обогатило кристаллографию рождением кристаллохимии, важной ветвью которой явилась кристаллохимия минералов.

С разработкой таких новых методов исследования структуры минералов, как электронография и спектроскопия в широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения появились критерии локальной неоднородности кристаллического вещества. Появление высокоразрешающих методов микроскопии – электронной, ионной, туннельной, сканирующей зондовой позволило перейти к характеристике морфологии и структуры минералов с высокой детальностью, вплоть до атомарного уровня.

В настоящем учебнике основное внимание уделяется реальным минералам, характеризующимся структурно-химическим несовершенством, дефектностью. Модели идеальной структуры кристаллов, изящно описанные в курсах кристаллографии и кристаллохимии, не дают полной картины реального строения минералов, хотя вполне удовлетворительно объясняют многие физические свойства. В то же время ряд свойств зависит от реальной структуры минералов и присутствия в них дефектов. Образцы минералов всегда индивидуальны, неповторимы по составу, структуре, свойствам. Они характеризуются рядом особенностей, имеющих генетическую природу и, следовательно, требуют более тонкого изучения. Таким образом, объектами физики минералов являются минеральные индивиды и минеральные агрегаты.

Научная информация, получаемая методами физики минералов, используется при диагностике минералов для уточнения понятия минерал, минеральный вид; в генетической минералогии для уточнения понятия минеральной разновидности, представления о реальном строении минералов, о типоморфизме минералов; в поисковой минералогии для совершенствования минералогических методов поисков полезных ископаемых; в технологической минералогии при изучении изменчивости технологических свойств минералов, а также методов их направленного изменения; в геммологии при идентификации драгоценных камней, их синтетических аналогов, природных и искусственных имитаций.

Данный учебник охватывает далеко не все разделы физики минералов. В него включены те разделы, которые соответствуют учебной программе курса физики минералов для студентов минералогов, геммологов и кристаллографов геологического факультета МГУ. Многие важные разделы физики минералов, описывающие,

например, магнитные и электрические свойства, механические свойства, фазовые превращения в данном учебнике не рассматриваются.

Весь материал, изложенный в учебнике, можно условно разделить на две части. В первой части описаны структурные дефекты кристаллов – от колебаний атомов до трехмерных объемных дефектов. Вторая часть учебника посвящена описанию электронного строения атомов и ионов, находящихся как в свободном состоянии, так и в связанном состоянии в кристаллах. Для более глубокого понимания важных разделов физики минералов в них приведены физические основы строения атомов, вещества и происходящих в них процессов. В большинстве разделов приведены примеры применения теорий для объяснения физических свойств минералов.

При подготовке учебника были использованы материалы, опубликованные в различных научных и учебных изданиях, список которых приведен в конце учебника. Пусть читателя не удивляют ссылки на литературу, вышедшую достаточно давно. Именно в этих работах изложены основы физических явлений и свойств твердых тел, необходимых для понимания их физической сущности. Большую помощь в написании данного учебника оказали монографии А.С.Марфунина.