**ПРОЕКТ «КРИСТАЛЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ»**

**Введение**

Поэзия! Завидуй кристаллографии! Кусай ногти в гневе и бессилии!

*О. Мандельштам*

Мы живем в мире, в котором большая часть веществ нахо­дится в твердом состоянии. Мы пользуемся различными меха­низмами, инструментами, приборами. Мы живем в домах и квартирах. Имеем мебель, бытовые приборы, современнейшие средства связи: радио, телевидение, компьютеры и т. д. А ведь все это твердые тела. С физической точки зрения, человек - твердое тело. Так что же такое твердые тела?

В отличие от жидкостей, твердые тела сохраняют не только объем, но и форму, т. к. положение в пространстве частиц, со­ставляющих тело, стабильно. Из-за значительных сил межмоле­кулярного взаимодействия частицы не могут удаляться друг от друга на значительные расстояния.

В природе часто встречаются твердые тела, имеющие форму правильных многогранников. Такие тела назвали кристаллами. Изучение физических свойств кристаллов показало, что геомет­рически правильная форма - не главная их особенность.

Знаменитое изречение академика А. Е. Ферсмана «Почти весь мир кристалличен. В мире царит кристалл и его твердые прямолинейные законы» полностью согласуется с неугасающим научным интересом ученых всего мира и всех областей знания к данному объекту исследования. Так, в конце 60-х годов прошло­го века начался серьезный научный прорыв в области жидких кристаллов, породивший «индикаторную революцию» по заме­не стрелочных механизмов на средства визуального отображе­ния информации. Позже в науку вошло понятие *биологический кристалл* (ДНК, вирусы и т. д.), а в 80-х годах XX века - *фо­тонный кристалл.*

Что такое кристаллы? Какими свойствами они обладают? Что такое кристаллическая решетка? Как растут кристаллы? Как и где они применяются в настоящее время и каковы перспекти­вы их применения в будущем? Вот эти вопросы заинтересовали нас, и мы попытались найти на них ответы сами, т. к. в учебнике этой теме отводится только один параграф и ответов на эти во­просы мы не нашли, или эти ответы были неполными и из них не было видно, почему именно благодаря кристаллам произо­шел «серьезный прорыв» в науке и технике.

Чтобы наиболее полно и всесторонне изучить эту проблему, мы создали четыре группы: теоретики, инженеры, ювелиры и экспериментаторы. Перед каждой группой стояли свои цели и решались определенные задачи.

Мы предлагаем результаты нашей работы вашему внима­нию.

**ОТЧЕТ ГРУППЫ ТЕОРЕТИКОВ**

**Цели:** проследить эволюцию взглядов на природу кристал­лов; изучить строение и физические свойства кристаллов, бла­годаря которым они нашли такое широкое применение.

**Задачи:** познакомиться с представлениями ученых о твер­дых кристаллах на протяжении нескольких столетий; рассмот­реть особенности пространственных решеток и классифициро­вать их по сингониям; изучить физические свойства кристаллов: изотропность, анизотропность, полиморфизм, симметрию.

**Кристаллы**

**1. Понятие «кристалл». Знания человека о кристаллах.**

Слово «кристаллос» у древних греков обозначало лед. Так же назывался и водяно-прозрачный кварц (горный хрусталь), ошибочно считавшийся тогда «окаменевшим льдом». Впослед­ствии этот термин был распространён на все кристаллические тела.

В школьных учебниках кристаллами обычно называют твер­дые тела, образующиеся в природных или лабораторных усло­виях и имеющие вид многогранников, которые напоминают са­мые непогрешимо строгие геометрические построения. Поверх­ность таких фигур ограничена более или менее совершенными плоскостями - гранями, пересекающимися по прямым линиям -ребрам. Точки пересечения ребер образуют вершины. Однако стоит заметить, что данное определение нельзя назвать пра­вильным и оно требует ряд существенных поправок, так как охватывает не все кристаллические образования.

**2. Разнообразие форм кристаллов. Симметрия в кри­сталлах.**

Как известно, форма является вторичной по отношению к содержанию. В соответствии с этим и кристаллографы всегда подчеркивают, что форма кристалла прежде всего зависит от его внутреннего строения, т. е. от кристаллической структуры (под структурой понимается пространственное расположение всех материальных частиц: атомов, молекул, ионов, слагающих кри­сталл).

Такую структуру схематично изображают в виде простран­ственной решетки. При этом вершины, ребра и грани кристалла соответствуют узлам, рядам и плоским сеткам решетки. «Важнейшие» грани, лучше всего развитые и чаще всего встречаю­щиеся на кристаллах какого-либо вещества, совпадают с пло­скими сетками, наиболее густо покрытыми частицами. Этот за­кон, открытый французским ученым Огюстом Браве (1811-1863), дает понятие о зависимости формы кристалла от его структуры. Вместе с тем не стоит забывать о том, что на форми­рование кристаллического тела накладывает свой отпечаток и питающая его среда.

Обратимся теперь к самим формам кристаллов и познако­мимся с тем, как кристаллографы научились их определять и даже наперед предсказывать. Подчеркнем, что ими был создан строго математический вывод всех возможных на свете кри­сталлических форм.

В течение долгих столетий геометрия кристаллов казалась таинственной и неразрешимой загадкой. Не случайно на гравю­ре великого немецкого художника Альбрехта Дюрера (1471-1528) изображена Меланхолия в виде печального ангела, безна­дежно всматривающегося в огромный кристалл. Вплоть до XVII в. дальше описаний «удивительных угловатых тел» дело не шло.

В 1619 г. великий немецкий математик и астроном Иоганн Кеплер (1571—1630) обратил внимание на шестерную симмет­рию снежинок. Он попытался объяснить ее тем, что кристаллы построены из мельчайших одинаковых шариков, теснейшим об­разом присоединенных друг к другу (вокруг центрального ша­рика можно вплотную разложить только шесть таких же шари­ков). По пути, намеченному Кеплером, пошли впоследствии Ро­берт Гук (1635-1703) и М. В. Ломоносов (1711-1765). Они также считали, что элементарные частицы внутри кристаллов можно уподобить плотно упакованным шарикам. В наше время принцип плотнейших шаровых упаковок лежит в основе струк­турной кристаллографии, только сплошные шаровые частицы («корпускулы») старинных авторов заменены сейчас сферами действия атомов и ионов.

Через 50 лет после Кеплера (в 1669 г.) датский геолог, кри­сталлограф и анатом Николаус Стеной (1638-1686) впервые сформулировал основные понятия о формировании кристаллов: «Рост кристалла происходит не изнутри, как у растений, но пу­тем наложения на внешние плоскости кристалла мельчайших частиц, приносящихся извне некоторой жидкостью». Эта идея о росте кристаллов в результате отложения на гранях все новых и новых слоев вещества сохранила свое значение и до сих пор.

Внимательно разглядывая реальные кристаллы кварца, Сте­ной обратил также внимание на их отклонения от идеальных геометрических многогранников с плоскими гранями и прямы­ми ребрами. В своем трактате он впервые ввел в науку реальный кристалл с его несовершенствами и отклонениями от идеализи­рованных схем. Однако все эти отклонения не помешали учено­му открыть на тех же кристаллах кварца основной закон геомет­рической кристаллографии - закон постоянства углов. К сожа­лению, написал он об этом очень кратко в пояснениях к рисункам, приложенным к его сочинению.

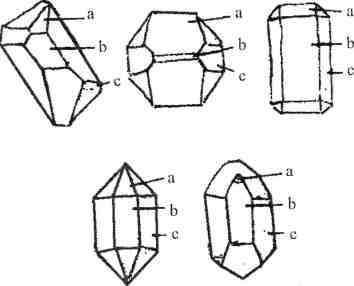
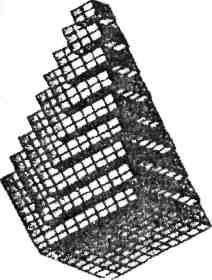


Рис.4

Закон постоянства уг­лов окончательно утвер­дился в науке после выхо­да в свет «Кристаллогра­фии» (1783 г.) французс­кого естествоиспытателя Ж. Б. Роме де Лиля (1736-1790): «Грани кристалла могут изменяться по своей форме и относительным размерам, но их взаимные наклоны постоянны и не­изменны для каждого рода кристаллов». В этой формулировке Роме де Лиль обобщил свои многолетние труды по измерению многочисленнейших углов на кристаллах разнообразных ве­ществ (см. рис. 4). Закон постоянства углов явился надежным фундаментом для развития геометрической кристаллографии и дал богатейший материал для установления истинной симмет­рии кристаллических тел. Впоследствии он лег в основу специ- альных методов Е. С. Федорова, А. К. Болдырева, Т. Баркера и др. Эти методы позволяют по углам между гранями, т. е. по внешней форме кристаллов, определять их вещество.

Старательно изучая кристаллы и измеряя их характерные уг­лы, Роме де Лиль не позволял себе углубляться в рассуждения об их внутреннем строении. Гораздо смелее в этом отношении был его младший современник и удачливый соперник Рене Жюст Гаюи (1743-1822). «Все найдено!», - воскликнул он, за­метив, что случайно выпавший из его рук большой кристалл кальцита раскололся на множество маленьких параллелепипедальных (ромбоэдрических) осколков (кальцит обладает хоро­шей спайностью - способностью раскалываться - по ромбоэд­ру). В этот именно момент в его уме зародилась новая теория строения кристаллов. В отличие от Кеплера, Гука и Ломоносова, Гаюи предположил, что кристаллы построены не из мельчайших шариков, а из молекул параллелепипедальной формы и что пре­дельно малые спайные осколки и являются этими самыми моле­кулами. Иными словами, кристаллы представляют собой свое­образные кладки из молекулярных «кирпичиков» (см. рис. 5)



Несмотря на всю свою наивность с современной точки зрения, эта теория сыграла в свое время большую истори­ческую роль, дав толчок к зарождению теории решетчатого строения кристал­лов. Этим не исчерпываются заслуги Гаюи. Впервые обратил он внимание на то, что наблюдателю, разглядывающему кристалл с разных сторон, нередко ка­жется, что перед ним как бы повторяет­ся одна и та же картина. Объясняется это тем, что такой кристалл состоит из повторяющихся равных частей. Иными словами, Гаюи одним из первых уловил симметричное строение множества кристалличе­ских тел. Ему же принадлежит способ математической характеристики кристаллических граней, с помощью которого можно было даже предсказать, какие именно грани возможны для дан­ного кристалла.

Прямым продолжателем Гаюи явился французский кристал­лограф Браве. Будучи моряком-метеорологом, Браве заинтере­совался формами снежинок и стал углубленно заниматься нау­кой о кристаллах. В отличие от своих предшественников, при­писывавших элементарным частицам в кристаллах шаровую или параллелепипедальную форму, Браве отказался от всяких пред­положений относительно таинственных и недоступных тогда форм молекул или атомов. Молекулярные «кирпичики» Гаюи были заменены Браве точками - центрами их тяжести. Легко понять, что, выделив в кирпичной кладке центры тяжести всех кирпичиков, мы получим уже знакомую нам пространственную решетку.

Высказав гипотезу о решетчатом строении всех вообще кри­сталлических тел, Браве заложил основу современной структур­ной кристаллографии задолго до экспериментальных исследова­ний кристаллических структур с помощью рентгеновских лучей. Исходя из его гипотезы, ставшей в настоящее время общеприня­той теорией, легко доказать ряд основных положений геометри­ческой кристаллографии.

Именно так устанавливается важнейший закон кристалло­графической симметрии, согласно которому для кристаллов возможны оси симметрии лишь первого, второго, третьего, чет­вертого и шестого порядков (этот закон относится не только к простым, но и к сложным - инверсионным и винтовым - осям). Тем самым на кристаллических фигурах никогда не бывает осей симметрии пятого порядка, а также осей симметрии порядка выше шестого, так как они невозможны в решетках.

Так был найден важнейший закон, проводящий границу ме­жду симметрией кристаллов и симметрией растений и живот­ных. Для кристаллов пятерные оси и оси порядка выше шестого категорически запрещены. В 1830 г., задолго до Браве, немецкий профессор Иоганн Фридрих Гессель (1796-1872) опубликовал в физическом слова­ре большую статью под названием «Кристаллометрия», в кото­рой дал полный вывод совокупностей элементов симметрии для конечных фигур в самом широком смысле этого понятия. Судь­ба замечательной статьи Гесселя оказалась трагической: ее ни­кто не понял и не оценил. Отчасти в этом виноват был и сам ав­тор, уж очень тяжеловесно и громоздко описал он свои откры­тия. В результате многие десятки лет работа Гесселя лежала без движения в пыли старых библиотек.

Лишь в 1890 г., через 60 лет после опубликования этого гру­да и через 18 лет после смерти его автора, кристаллографы зано­во открывают вывод Гесселя. «В это время, - по горестному за­мечанию Е. С. Федорова, - кости Гесселя давно успели рассы­паться и истлеть в могиле».

В 1867 г. наш соотечественник, крупный военный специа­лист, профессор артиллерийского училища академик А. В. Га-долин (1828-1892), не подозревая о существовании трудов Гес­селя и Браве, снова взялся за вывод законов симметрии. К тому времени минералоги и кристаллографы собрали огромный мате­риал по кристаллическим формам минералов. В России особен­но много работал в этом направлении академик Н. И. Кокшаров (1818 - 21 декабря 1892 (2 января 1893)) - автор 11-томных «Материалов для минералогии России» и обширного атласа с многочисленными и точными изображениями кристаллов рус­ских минералов.

А. В. Гадолин, дружески связанный с Н. И. Кокшаровым, был также большим любителем и знатоком минералов и их кри­сталлических форм. В связи с этим он и обратил все свое вни­мание на симметрию кристаллов. В его классическом труде «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» раз и навсегда было установлено су­ществование 32 видов симметрии для конечных кристаллогра­фических фигур (т. е. для кристаллических многогранников). Простой и изящный вывод А. В. Гадолина, иллюстрированный наглядными примерами из мира минералов, завоевал всеобщее признание.

Дальнейшим шагом в учении о симметрии кристаллов явил­ся опубликованный в 1890 г. гениальный вывод Е. С. Федорова 230 совокупностей элементов симметрии для бесконечно

про­тяженных кристаллических систем с их трансляциями, винто­выми осями и плоскостями скользящего отражения (годом поз­же со своим выводом 230 пространственных групп выступил немецкий математик Артур Шенфлис). Федоровские группы, соответствующие геометрическим законам расположения ато­мов в кристаллических структурах, лежат в основе современной структурной кристаллографии. Таким путем после многих за­труднений, проб и ошибок учение о симметрии кристаллов дос­тигло своего высшего расцвета.

Однако необходимо вернуться к 32 видам конечной кри­сталлографической симметрии, так как именно они являются основой математического вывода форм, возможных для кри­сталлов. Сначала придется поговорить о том, как выводятся са­ми виды симметрии.

При переходе к собственно кристаллическим видам симмет­рии задача существенно упрощается. Ведь кристаллические тела не могут обладать осями симметрии пятого порядка, а также всеми осями порядка выше шестого. Следовательно, на кри­сталлах встречаются лишь следующие оси симметрии: Li, *Ъ>,* Ьз, L4, L6. К простым осям следует добавить инверсионные оси тех же порядков.

Рассматривая инверсионные оси первого и второго порядков как центр и плоскость симметрии, получим следующий полный набор элементов симметрии для конечных кристаллических фи­гур (кристаллических многогранников):

С, Р, Li, L?, L3, L4, Ьб, L14, Li6.

Перебрав все возможные комбинации перечисленных эле­ментов симметрии, мы и получим 32 комбинации - 32 вида симметрии.

Виды симметрии подразделяются на три категории (низшую, среднюю и высшую) и на семь систем г- сингоний, совпадающих с горизонтальными строчками таблицы.

«Сингония» - по-гречески сходноугольность. Название «триклинная» указывает также по-гречески на три косых угла (система координатных осей для триклинных кристаллов явля­ется целиком косоугольной). «Моноклинная» - один косой угол (в системе координатных осей один угол косой и два прямых). «Ромбическая» сингония обнаруживает часто наличие ромбиче­ских сечений в кристаллах. «Тригональная» - треугольная; «тетрагональная» - четырехугольная; «гексагональная» - шес­тиугольная. Эти названия также связаны с характерными сече­ниями кристаллических форм. Название «кубическая» сингония происходит от главной формы — куба.

**Монокристаллы и поликристаллы**

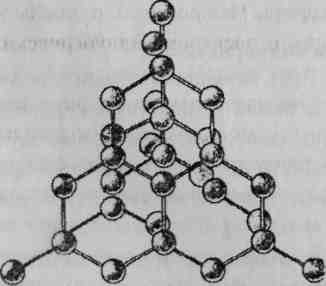
Кристаллические тела могут быть монокристаллами и поли­кристаллами. Монокристаллом называют одиночный кристалл, имеющий макроскопическую упорядоченную кристаллическую решётку. Монокристаллы обычно обладают геометрически пра­вильной внешней формой, но этот признак не является обяза­тельным.

Большинство встречающихся в природе и получаемых в технике твердых тел представляют собой совокупность срос­шихся друг с другом хаотически ориентированных маленьких кристаллов - кристаллитов. Такие тела называются поликри­сталлами. В отличие от монокристаллов поликристаллы изо­тропны, т. е. их свойства одинаковы во всех направлениях.

**Полиморфизм**

Очень многие вещества в кристаллическом состоянии могут существовать в двух или более фазовых разновидностях (моди­фикациях), отличающихся физическими свойствами. Это явле­ние называется полиморфизмом. Каждая модификация устойчива в определенном интервале температур и давлений. Из 9 кри­сталлических фаз воды только одна устойчива при атмосферном давлении. Остальные 8 фазовых состояний льда существуют при высоких давлениях и имеют плотность большую, чем у воды. Одна из них при давлении 2-Ю9 Па имеет температуру плавле­ния +80 °С, т. е. существует «горячий лед».

Упорядоченное расположение атомов или молекул в кри­сталле определяется действием сил межатомного или межмоле­кулярного взаимодействия. Тепловое движение атомов и моле­кул нарушает эту упорядоченную структуру. При каждом соче­тании давления и температуры реализуется тот тип укладки частиц, который в данных случаях наиболее устойчив и энерге­тически выгоден, т. е. то или иное фазовое состояние.

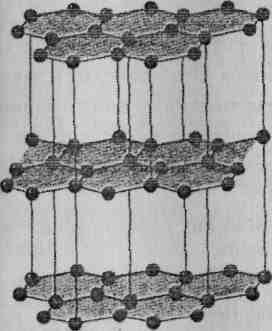


Превращения кристал­лов одного и того же веще­ства с различным типом решетки друг с другом про­исходят в соответствии с фазовыми переходами типа плавления и испарения. Ка­ждому давлению соответст­вует определённая темпера­тура, при которой оба типа кристаллов сосуществуют. При изменении этих усло­вий происходит фазовый переход. Хорошим примером данного явления является углерод. В природе встречаются три аллотро­пические модификации углерода: алмаз, графит и карбин.

Алмаз (пространственная решетка алмаза) - кри­сталлическое вещество с атомной кристаллической решеткой. Каждый атом в кристалле алмаза связан прочными ковалентными связями с четырьмя соседними атомами. Это обусловливает исключительную твердость алмаза. Алмаз широко применяют для обработки особо твердых материалов: для резки стекла, при буровых работах, для вытягивания проволоки и др. Производительность труда при использовании алмазного обрабатывающе­го инструмента в промышленности возрастает в 2-5 раз.

Алмаз практически не проводит электрический ток, плохо проводит тепло. Прозрачные образцы алмаза сильно преломля­ют лучи света и при огранке красиво блестят, из таких алмазов делают украшения (бриллианты).

Графит (пространственная решетка графита) непро­зрачен, серого цвета, обладает металлическим блеском. В кри­сталлической решетке графита атомы углерода расположены слоями, состоящими из шестичленных колец. В них каждый атом углерода связан прочными ковалентными связями с тремя соседними атомами. За счет четвертого валентного электрона каждого слоя возникает металлическая связь. Этим объясняется металлический блеск и довольно хорошая электрическая прово­димость и теплопроводность графита. Из графита изготовляют электроды для электрохимических и электрометаллургических процессов.



Между слоями в графите дей­ствуют межмолекулярные силы. Поэтому графит легко расслаива­ется на чешуйки. Даже при сла­бом трении графита о бумагу на ней остается серый след («гра­фит» от латинского «пишущий»). Графит применяют для изготов­ления грифелей карандашей, в технике - в качестве смазочного материала.

Графит тугоплавок, химиче­ски весьма устойчив. Из смеси графита с глиной изготовляют огнеупорные тигли для выплавки металлов в металлургии. Графит применяют как материал для труб теплообменников в химической промышленности. В ядер­ных реакторах его используют в качестве замедлителя нейтро­нов.

Карбин стал известен сравнительно недавно. Он был полу­чен советскими учеными, а уже позднее обнаружен в природе. Это черный порошок. Кристаллическая решетка построена из линейных углеродных цепочек. По электрической проводимости карбин занимает промежуточное положение между алмазом (диэлектрик) и графитом (проводник): карбин - полупроводник.

Аллотропические модификации углерода взаимопревращаемы. При нагревании алмаз постепенно переходит в графит. Для превращения графита в алмаз требуются очень высокое давле­ние (порядка 1-10" Па) и высокая температура (1500-3000 °С). В настоящее время искусственное получение алмазов из графита проводится в производственных масштабах.

Много внимания уделял человек изучению кристаллов и их свойств. Современные знания о кристаллах не являются полны­ми, но эти знания позволяют использовать кристаллы во многих сферах человеческой деятельности.

**Анизотропия**

Плотность расположения частиц в кристаллической решетке не одинакова по различным направлениям. Это приводит к зави­симости свойств монокристаллов от направления - анизотропии.

Анизотропия - зависимость физических свойств вещест­ва от направления. Физические свойства поликристаллов не за­висят от направления: они изотропны.

Изотропия- независимость физических свойств вещества от направления.

Простейший пример анизотропии кристаллов - неодинако­вая их прочность по разным направлениям. Это свойство на­глядно проявляется при дроблении кристаллических тел.

История показала, что тепловые, электрические и оптиче­ские свойства также не одинаковы по различным направлениям. Анизотропия физических свойств кристаллов и правильная внешняя форма получили объяснение на основе атомно-молекуляриой теории строения вещества.

Различна в разных направлениях и теплопроводность моно­кристаллов. У графита теплопроводность вдоль слоев в четыре раза больше, чем по нормали к слоям: тепло легче передается в тех плоскостях и направлениях, где атомы плотнее упакованы.

Графит - пример кристалла с так называемой слоистой струк­турой, у него различие структуры вдоль слоев и поперёк них бросается в глаза. В других структурах эти различия могут быть не так уж очевидны, но всегда от симметрии структуры, от рас­положения атомов, от сил связи между ними зависит анизотро­пия свойств кристалла.

Особенно наглядна анизотропия механических свойств кри­сталлов. Кристаллы со слоистой структурой - слюда, гипс, гра­фит, тальк - в направлении слоев совсем легко расщепляются на тонкие листочки, но невозможно разрезать или расколоть их в других плоскостях.

Бесцветные кристаллы каменной соли прозрачны, как стек­ло. А вот разбиваются они совсем не как стекло. Если ударить ножом или молоточком по кристаллу, он разбивается на кубики с ровными, гладкими, плоскими гранями. Это явление спайно­сти, т. е. способности раскалываться по ровным, гладким плос­костям, так называемым плоскостям спайности. Кристаллы кальцита тоже обладают весьма совершенной спайностью: при ударе они всегда разбиваются на так называемые ромбоэдры с гладкими, плоскими гранями. Ромбоэдр - это косоугольный па­раллелепипед, или, можно сказать, куб, вытянутый вдоль одной из его диагоналей.

Спайность - это проявление анизотропии прочности кри­сталлов: силы сцепления между атомами в некоторых симмет­рично расположенных плоскостях очень малы, и кристаллы рас­калываются по этим плоскостям.

**Выводы**

1. Представления о кристаллах, их строении и свойствах раз­вивались на протяжении нескольких веков. Точкой отсчета истории кристаллов может быть известие о существовании изум­рудов в Индии за 2 тыс. лет до н. э., алмазов за 1000-500 лет до н. э., рубинов Цейлона за 600 лет до н. э. Человек пытается разгадать природу кристалла с XIII-XIV веков н. э., а в середине XX века весь мир удивили жидкие кристаллы, в конце XX века сенсацией стало известие об открытии фотонных кристаллов. Чем более совершенными знаниями и инструментами исследо­вания владеет человечество, тем более новые горизонты в по­знании природы и кристаллов, в частности, нам раскрываются.

2. В учебнике «Физика-10» (авторы: Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский) на с. 193 дается определение кристаллов: кристаллы - это твердые тела, атомы или молекулы которых за­нимают определенные положения в пространстве. А далее сле­дует фраза: поэтому кристаллы имеют плоские грани.

На основании наших исследований, мы можем утверждать, что это утверждение не совсем правильно, т. к. оно охватывает не все кристаллические образования. Доказательством этого служат так называемые «були».

3. Самый важный вывод нашей работы: все физические свойства, благодаря которым кристаллы так широко применя­ются, зависят от их строения - их пространственной кристалли­ческой решетки.

**ОТЧЕТ ГРУППЫ ЮВЕЛИРОВ**

**Цель:** выяснить, почему человек издавна обращает внима­ние на некоторые кристаллы и называет их драгоценными, за какие их свойства и качества.

**Задачи**: выяснить толкование ювелирами терминов: само­цвет, драгоценный камень, полудрагоценный камень, поделоч­ный камень, ювелирное украшение; проследить историю приме­нения человеком ювелирных камней, их происхождение; изучить физические свойства кристаллов, благодаря которым они применяются в ювелирном деле и высоко ценятся: спайность, плотность, цвет, преломление света, дисперсия, спектры погло­щения.

**Основные понятия**

Самоцвет, или д р а г о ц е н н ы й камень. Всю эту группу камней отличает одна объединяющая их черта - особая красота. Прежде самоцветами называли лишь немногие камни. Ныне число их резко возросло и продолжает увеличиваться. В боль­шинстве своем это минералы, гораздо реже - минеральные агре­гаты (горные породы). К драгоценным камням относят также некоторые материалы органического происхождения: янтарь, кораллы, жемчуг. Даже ископаемые органические останки (ока­менелости) используются в качестве украшений. По своему на­значению к драгоценным камням близок ряд других ювелирных материалов: дерево, кость, стекло и металл. Воспроизведение природных самоцветов путем синтеза, а также искусственное получение камней, не имеющих аналогов в природе, еще больше расширило многообразие драгоценных камней.

Для ношения пригодны, в первую очередь, твердые камни; камни помягче преимущественно оседают в коллекциях специа­листов и любителей. Одни и те же минералы, различающиеся окраской или внешним строением, называют разновидностями драгоценных камней.

Полудрагоценный камень - понятие, пока еще бы­тующее в торговле, однако ввиду заложенного в нем умаляюще­го смысла употреблять его не следует. Прежде полудрагоцен­ными называли менее ценные и не очень твердые камни, проти­вопоставляя их «настоящим» драгоценным камням.

Учение о драгоценных камнях развилось в особую научную дисциплину - геммологию. Это часть науки о полезных иско­паемых, охватывающая происхождение, строение, классифика­цию и обработку драгоценных камней.

Поделочный камень. Это собирательный термин, кото­рый относится ко всем камням, используемым как в качестве украшения, так и для производства камнерезных изделий. Ино­гда поделочными называют менее ценные или непрозрачные камни. На практике его часто применяют просто как синоним термина «драгоценный камень», ибо нет убедительных оснований для четкого разграничения «ювелирных» и «прочих» кам­ней.

Ювелирное изделие. Под ювелирным изделием пони­мают украшение, состоящее из одного или нескольких драгоцен­ных камней, оправленных в благородный металл. Иногда юве­лирными изделиями называют и шлифованные камни без оправы, а также украшения из драгоценных металлов без камней.

**Самоцветы и поделочные камни**

Самоцветы известны человеку уже более семи тысячелетий. Первыми из них были: аметист, горный хрусталь, янтарь, неф­рит, кораллы, лазурит, жемчуг, серпентин, изумруд и бирюза. Эти камни долгое время оставались доступными лишь предста­вителям привилегированных классов и не только служили ук­рашением, но и символизировали общественный статус их вла­дельцев. Княжеские регалии, усеянные драгоценными камнями, свидетельствовали о богатстве и могуществе феодалов. И поны­не в различных сокровищницах и музеях мы любуемся велико­лепными драгоценностями былых эпох.

Разумеется, и в наши дни находятся люди, которые надевают оправленный в золото или платину драгоценный камень, чтобы продемонстрировать свою состоятельность, но чаще ювелирные украшения служат нашему собственному удовольствию, достав­ляя радость своей красотой и гармонией.

Даже сегодня мы приобретаем тот или иной самоцвет, испы­тывая к нему какую-то непонятную симпатию или склонность. Поэтому неудивительно, что в прежние, менее просвещенные времена драгоценным камням приписывалась таинственная си­ла. Самоцветы служили амулетами и талисманами, якобы за­щищавшими от враждебных сил их обладателя и приносили ему счастье. Одни камни оберегали от зла, другие сохраняли здоро­вье, служили противоядием, спасали от чумы, вызывали ми­лость владык или способствовали благополучному возвращению из плаванья.

Вплоть до начала XIX в. драгоценные камни использовали даже в лечебных целях. В одних случаях считалось достаточным иметь определенный камень, в других - его накладывали на больное место, в третьих - толкли в порошок и принимали внутрь. Старинные лечебники содержат «точные» сведения, ка­кой камень может помочь от той или иной болезни. Лечение драгоценными камнями получило название литотерапии. Порой оно приносило успех, однако его следует приписывать не само­му камню, а психологическому внушению, оказавшему благо­творное действие на больного. Неудачи в лечении объяснялись тем, что камень оказался «ненастоящим». В Японии и сегодня в медицинских целях продаются таблетки из истолченных в по­рошок жемчужин (то есть в основном из углекислого кальция).

Прямым следствием бытовавшего представления о сверхъ­естественных силах, присущих драгоценным камням, явилась их связь с астрологией: их «приписывали» к зодиакальным созвез­диям. Отсюда возникли «счастливые» камни рождения детей, то есть самоцветы, которые надлежало носить людям, рожденным под тем или иным знаком Зодиака. Эти камни должны всегда сопутствовать своим владельцам, якобы защищая их от всякого рода напастей. Впоследствии такие самоцветы стали «счастли­выми» камнями месяцев. Равным образом существуют камни, которые связывают с Солнцем, Луной и планетами Солнечной системы. С течением времени «приписка» драгоценных камней неоднократно менялась. Совсем недавно некоторые страны из­брали себе в качестве государственного символа драгоценный камень, добываемый на их территории.

И в современных религиях драгоценным камням отведено определенное место. Так, четырьмя рядами драгоценных камней украшен нагрудник иудейского первосвященника. Подобные камни сверкают на тиарах и митрах папы и епископов христиан­ской церкви, а также на ковчегах, дароносицах, раках и окладах икон.

Но зачастую самоцветы рассматриваются исключительно как помещение капитала. И действительно, высокая стоимость драгоценных камней, заключенная в столь малую форму, дока­зала свою стабильность во всех экономических бурях последних десятилетий.

**Меры массы драгоценных камней**

Карат - единица массы, бытующая в торговле драгоценны­ми камнями и в ювелирном деле с античных времен. Не исклю­чено, что само слово «карат» происходит от местного названия (kuara) африканского кораллового дерева, семена которого ис­пользовались для взвешивания золотого песка, но более вероят­но, что оно ведет начало от греческого названия (keration) ши­роко распространенного в Средиземноморье рожкового дерева, плоды которого изначально служили «гирьками» при взвешивании драгоценных камней (масса одной гирьки в среднем при­мерно равна карату). В 1907 году Международным комитетом мер и весов на конференции в Париже был введен метрический карат, равный 200 мг, или 0,2 г. До этого масса карата, принято­го в крупнейших центрах мировой торговли драгоценными кам­нями, несколько различалась. Отсюда расхождения в массе ис­торических алмазов, встречающихся в литературе. Сокращенное обозначение карата - кар. Доли карата выражают в виде про­стых или десятичных дробей. При взвешивании самых мелких алмазов используется также единица массы, называемая «пункт» и равная 0,01 карата. Не следует путать карат как еди­ницу массы драгоценных камней с каратом как мерой чистоты (пробности) золота, употребляемой в ювелирном деле. В этом втором случае карат служит не единицей массы, а мерой качест­ва золотого сплава. Чем больше число каратов, тем выше со­держание чистого золота в ювелирном изделии, а масса его мо­жет быть при этом какой угодно.

Грамм - единица массы, используемая в торговле ювелир­ными камнями для менее дорогих камней, и особенно для необ­работанного камнецветного сырья (например, группы кварца).

Гран - мера массы жемчуга. Соответствует 0,05 г, то есть 0,25 кар. Сейчас гран все более вытесняется каратом. Употреб­ляемая прежде в торговле жемчугом японская мера массы «момма» (= 3,75 г = 18,75 кар) теперь в европейской торговле практически не используется.

Цена. В торговле драгоценными камнями обычно указыва­ется цена за 1 карат. Чтобы вычислить полную стоимость камня, надо перемножить цену и его массу в каратах. При продаже камня конечному потребителю обычно называется полная цена. Стоимость одного карата прогрессивно возрастает с увеличени­ем размеров и массы камней: если, скажем, бриллиант-каратник (массой 1 кар) стоит определенную сумму, то двухкаратник (при том же качестве) оценивается не вдвое дороже, а гораздо выше.

**Оптические свойства**

В ряду физических свойств драгоценных камней оптические свойства играют главенствующую роль, определяя их цвет и блеск, сверкание, «огонь» и люминесценцию, астеризм, иризацию и прочие световые эффекты. При испытании и идентифи­кации драгоценных камней также все большее место отводится оптическим явлениям.

**Цвет**

Цвет - первое, что бросается в глаза при взгляде на всякий драгоценный камень. Однако для большинства камней их цвет не может служить диагностическим признаком, так как многие из них окрашены одинаково, а некоторые выступают в несколь­ких цветовых обличиях.

Причиной различных окрасок является свет, то есть элек­тромагнитные колебания, лежащие в определенном интервале длин волн. Человеческий глаз воспринимает только волны так на­зываемого оптического диапазона - примерно от 400 до 700 нм. Эта область видимого света подразделяется на семь главных час­тей, каждая из которых соответствует определенному цвету спектра: красному, оранжевому, желтому, зеленому, голубому, синему, фиолетовому. При смешении всех спектральных цветов получается белый цвет. Если, однако, какой-либо интервал длин волн абсорбируется, из смеси остальных цветов возникает опре­деленная - уже не белая - окраска. Камень, пропускающий все длины волн оптического диапазона, кажется бесцветным; если же, напротив, весь свет поглощается, то камень приобретает са­мую темную из видимых окрасок - черную. При частичном по­глощении света по всему видимому диапазону волн камень вы­глядит мутно-белым или серым. Но если, наоборот, абсорбиру­ются только вполне определенные длины волн, то камень приобретает окраску, соответствующую смешению оставшихся не поглощенными частей спектра белого света. Главными носи­телями цвета - хромофорами, обусловливающими окраску драгоценных камней, - являются ионы тяжелых металлов: железа, кобальта, никеля, марганца, меди, хрома, ванадия и титана, спо­собные абсорбировать определённые длины волн в видимой об­ласти. Эти ионы часто присутствуют в столь малых количест­вах, что даже не находят отражения в химических формулах.

Окраска циркона и некоторых других минералов вызывается не ионами-хромофорами, а деформациями кристаллической ре­шётки, точнее, возникновением в ней радиационных дефектов под воздействием радиоактивного излучения, что вызывает се­лективное (избирательное) поглощение света.

На поглощение света и тем самым на окраску кристалла влияет также длина пути, проходимого в нем световыми лучами. Соответственно, при шлифовке необходимо стремиться исполь­зовать это обстоятельство к максимальной выгоде для камня. Светлоокрашенные камни шлифуются более толстыми, а при огранке фасеты наносятся с таким расчетом, чтобы удлинить путь прохождения лучей сквозь камень, то есть усилить абсорб­цию. Слишком темные камни, наоборот, следует шлифовать по­тоньше, чтобы несколько высветлить их. К примеру, темно-красный гранат-альмандин при шлифовке кабошоном высвер­ливают с нижней стороны, чтобы сделать полым.

Цвет драгоценных камней зависит также от освещения, по­скольку спектры искусственного (электрического) и дневного (солнечного) света различны. Существуют камни, на окраску которых искусственный свет оказывает неблагоприятное влия­ние (сапфир), и такие, которые при вечернем (искусственном) свете только выигрывают, усиливая свое сияние (рубин, изум­руд). Но резче всего перемена цвета выражена у александрита: днем он выглядит зеленым, вечером - красным.

Несмотря на то, что для драгоценных камней цвет играет столь большую роль, практические способы его объективней оценки (кроме случая алмаза) не разработаны. Сравнительные таблицы цветов - лишь весьма скудный суррогат, оставляющий широкий простор для субъективных суждений. Применяемые в научном цветоведении измерительные методы для ювелирной промышленности и торговли чересчур сложны и требуют боль­ших затрат.

**Цвет черты**

Цветовой облик драгоценных камней, относящихся к одной и той же группе минералов, может широко варьировать. Так, бериллы бывают всех цветов спектра, вплоть до бесцветных. Именно эта бесцветность и есть истинная, исходная, как гово­рят, собственная окраска берилла, отвечающая его химической формуле. Все другие цвета обусловлены присутствием посто­ронних примесных элементов - хромофоров. Собственные окра­ски, будучи постоянными, могут служить диагностическими признаками драгоценных камней. Если с нажимом провести камнем по пластинке неглазурованного шершавого фарфора-бисквита, то цвет оставленной на фарфоре черты выявит эту собственную окраску, так как тонко растертый порошок ведет себя в отношении оптических свойств подобно тончайшей про­свечивающей пластинке минерала. Например, серо-стальной гематит дает вишнево-красную черту, латунно-желтый пирит -черную, голубой содалит - белую. При определении более твер­дых минералов рекомендуется сначала стальным напильником соскоблить немного порошка, а затем растереть его на бисквит­ной пластинке. Этот способ диагностики представляет собой интерес для коллекционеров. У ограненных камней во избежа­ние их повреждения цвет черты определять не следует.

**Светопреломление**

Еще в детстве нам не раз приходилось видеть, что палка, под острым углом не до конца погруженная в воду, как бы «перела­мывается» у водной поверхности. Нижняя часть палки, находя­щаяся в воде, приобретает иной наклон, чем верхняя, находя­щаяся в воздухе. Это происходит вследствие преломления света, всегда проявляющегося при переходе светового луча из одной среды в другую, то есть на границе двух веществ, если луч на­правлен косо к поверхности их раздела.

Величина светопреломления всех кристаллов драгоценных камней одного и того же минерального вида постоянна (иногда она слегка колеблется, но в пределах весьма узкого интервала). Поэтому числовое выражение этой величины - показатель пре­ломления (часто называемый просто преломлением или свето­преломлением) - используется для диагностики драгоценных камней. Показатель преломления определяется как отношение скоростей света в воздухе и в кристалле. Дело в том, что откло­нение светового луча в кристалле вызывается именно уменьше­нием скорости распространения этого луча в оптически более плотной среде.

Иными словами, в алмазе свет распространяется в 2,4 раза медленнее, чем в воздухе. Показатели преломления драгоцен­ных камней находятся в интервале 1,2-2,6. В зависимости от цвета и месторождения драгоценного камня его преломление может несколько варьировать. Двупреломляющие камни имеют два или даже три показателя светопреломления.

Измерение показателей преломления на практике произво­дится с помощью рефрактометра. Их значения непосредственно считываются со шкалы прибора. Однако на обычном рефракто­метре можно измерять только показатели преломления не выше 1,80, притом лишь у камней, имеющих плоские грани или фасе­ты. Для кабошонов специалистам с помощью особых приемов удается получать приближенные данные.

Без больших технических трудностей и затрат можно изме­рять светопреломление иммерсионным методом - погружая ка­мень в жидкости с известным показателем преломления и на­блюдая границы раздела. По тому, насколько светлыми и резки­ми кажутся контуры камня или ребра между фасетами, а также по видимой ширине границ раздела можно довольно точно оце­нивать показатель преломления драгоценного камня.

**Дисперсия**

При прохождении сквозь кристалл белый свет не только ис­пытывает преломление, но и разлагается на спектральные цвета, так как показатели светопреломления кристаллических веществ зависят (притом в разной степени) от длины волны падающего света. А поскольку отдельным цветам спектра белого света со­ответствуют разные длины волн, то они преломляются неодина­ково. Скажем, у алмаза показатель преломления для красных лучей (длина волны 589 нм) - 2,417, для зеленых (длина волны 527 нм) - 2,427 и для фиолетовых (длина волны 397 нм) - 2,465. Явление разложения белого света кристаллом на все цвета раду­ги называется дисперсией.

Особенно велико значение цветовой дисперсии у алмаза, ко­торый именно ей обязан своей великолепной игрой цветов -знаменитым «огнем», составляющим главную прелесть этого камня.

Дисперсия бывает хорошо заметна только у бесцветных камней. Природные и синтетические камни с высокой дисперси­ей (например, фабулит, рутил, сфарлерит, титанит, циркон) ис­пользуются в ювелирном деле как заменители алмаза. В качест­ве числовой меры дисперсии драгоценных камней обычно при­нимается разность показателей преломления для длин волн красной (линия В: 687 нм) и фиолетовой (линия G:430,8 нм) частей спектра.

**Спектры поглощения**

К числу важнейших средств диагностики драгоценных кам­ней принадлежат спектры поглощения. Это разложенные на спектральные цвета полосы световых волн, выходящие из цвет­ного камня. При прохождении сквозь кристалл определенные длины волн (то есть цветовые компоненты) света поглощаются, вследствие чего драгоценный камень и приобретает свой цвет (как результат сложения остаточных волн исходного белого цвета). Однако человеческий глаз не в состоянии различить все тонкие цветовые оттенки. Нам очень легко обмануться, приняв за драгоценный рубин такие похожие на него по цвету камни, как красный турмалин или красный гранат и даже красное стек­ло. Однако спектры поглощения (абсорбции) однозначно «разо­блачают» эти камни или стекла, которыми, может быть, в самом деле пытались подменить рубин. Ведь большинство видов дра­гоценных камней имеет весьма характерный, присущий только данному виду спектр абсорбции, отличающийся от спектров других камней числом и расположением вертикальных черных линий или широких полос поглощения.

Особое преимущество этого метода исследования состоит в том, что он позволяет однозначно диагностировать камни оди­наковой плотности и близкие по светопреломлению. Метод в равной мере пригоден для определения необработанных камней, кабошонов и даже ограненных камней, вставленных в оправу. Все более широкое приложение метод находит при отделении природных камней от искусственных и от их имитаций.

Наилучшие результаты этот метод дает применительно к ин­тенсивно окрашенным прозрачным цветным камням. Спектры поглощения непрозрачных камней могут быть получены на очень тонких и потому пропускающих свет срезах (как в случае гематита), а также на просвечивающих краях или же с помощью света, отраженного от поверхности камня.

Прибором для наблюдения спектров служит спектроскоп. Он позволяет устанавливать длины волн погашенного, то есть поглощенного света. Единицей измерения длин волн служит на­нометр; еще недавно для этой цели использовался, а потому час­то встречается в литературе *ангстрем.* Ввиду того, что линии и полосы поглощения не всегда бывают выражены одинаково чет­ко, принято указывать различия в их интенсивности особыми пометами, относящимися к числовым значениям соответствую­щих длин волн.

**Выводы**

1. После проработки понятий: драгоценный камень, полу­драгоценный, самоцвет, поделочный камень - мы пришли к вы­воду, что в настоящее время нет убедительных оснований для разграничения этих понятий.
2. Что касается происхождения всех драгоценных камней, то они принадлежат миру минералов, т. е. выращены природой в недрах Земли из растворов, расплавов или путем перекристал­лизации. Химический состав таких кристаллов выражается фор­мулой. Отношение человека к драгоценным камням за многие столетия претерпело изменения: от обожествления и примене­ния в медицине до демонстрации своей состоятельности или доставления эстетического удовольствия от красоты и гармонии камня.
3. Все физические свойства учитываются при изготовлении ювелирных украшений:

* спайность - при дроблении и распилке больших кристал­лов;
* плотность и твердость - при обработке и шлифовке;
* оптические свойства: цвет, преломление, дисперсия - при огранке камней.

Именно оптические свойства в ювелирных украшениях наи­более ценны.

**ОТЧЕТ ГРУППЫ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОВ**

**Цели**: выращивание кристаллов и наблюдение за процес­сом их роста.

**Задачи**: рассмотреть промышленные и лабораторные спо­собы выращивания кристаллов и выбрать способ, приемлемый для выращивания кристаллов в домашних условиях; по мере роста кристаллов соотносить свои наблюдения с закономерно­стями, известными из теории кристаллов; сравнить формы вы­ращенных кристаллов с формами их кристаллических решеток.

**Методы выращивания кристаллов**

Первым монокристаллом, полученным в лаборатории, был, наверное, рубин. Д. И. Менделеев не мог пройти мимо такого важного события и в примечаниях к тексту своих «Основ хи­мии» писал: «Фреми (1890) получил прозрачные рубины, кри­сталлизующиеся в ромбоэдрах и не отличающиеся по своей твердости, цвету, величине и другим свойствам от природных. Для получения рубина накаливалась смесь безводного глинозе­ма, содержавшего большую или меньшую примесь едкого ка­лия, с фтористым барием и двухромокалиевой солью. Последняя прибавляется для того, чтобы вызвать окраску рубина, и берется в незначительном количестве (самое большее до 4 вес. ч. на 100 ч. окиси алюминия). Смесь помещается в тигель из глины и накаливается (от 100 часов до 8 суток) в отражательных печах при температуре до 1500°. По окончании опыта в тигле оказыва­ется кристаллическая масса, причем стенки покрыты кристалла­ми рубина прекрасного розового цвета. Для реакции оказывает­ся необходимым доступ влажного воздуха. Образование при этом рубина может быть объяснено, по Фреми, происхождением фтористого алюминия, который под влиянием влажного воздуха при высокой температуре дает рубин и фтористый водород». Здесь же автор «Основ химии» упомянул и другие способы: «В жару электрических печей или при температуре, достигаемой при горении А1 с Fe203, т. е. около 3000°, глинозем легко пла­вится и дает иногда кристаллы, тождественные с рубином». В 31-м томе словаря Брокгауза - Ефрона (1895), в статье «Ко­рунд», утверждается, что некоторое время «в торговле обраща­лись красивые карминово-красные рубины значительной вели­чины, несомненно, искусственно полученные, однако ни об ав торе, ни о способе получения ничего не известно». Согласно со­временным представлениям, рубин - это кристалл АЬОз с при­месью Сг и Fe, а камни, о которых писали в Брокгаузе и Ефроне, появились на рынке в 1885 году и действительно были получе­ны искусственно. В настоящее время существует ряд способов изготовления синтетических камней.

Синтез драгоценных ювелирных и технических камней по способу М. А. Вернейля считается классическим и является пер­вым промышленным методом выращивания кристаллов корун­да, шпинели и других синтетических кристаллов. В мире еже­годно выпускается около 200 т синтетического корунда и шпи­нели. Метод Вернейля заключается в следующем: к горелке с направленным вниз соплом через внешнюю трубу подводится водород, а через внутреннюю - кислород. В ток кислорода по­падается измельченный порошок окиси алюминия зернистостью около 20 мкм, полученный прокаливанием алюмоаммиачных квасцов, который при этом нагревается до определенной темпе­ратуры и затем попадает в водородно-кислородное пламя гре­мучего газа, где он расплавляется. Внизу под соплом располага­ется стержень из спеченного корунда, выполняющего роль кри-сталлоносца. На него стекает расплавленная окись алюминия, образуя шарик расплава. Стержень кристалл о нос ца постепенно опускается со скоростью 5-10 мм/ч, при этом обеспечивается постоянное нахождение расплавленной растущей части корунда в пламени. На рисунке показана принципиальная схема установ­ки для выращивания кристаллов этим методом.

Диаметр образовавшихся кристаллов (булек) обычно дости­гает 20 мм, длина 50-80 мм, иногда их размеры гораздо больше. Бульки представляют собой поликристаллы. Для получения мо­нолитного монокристалла бульку оплавляют путем подачи ки­слорода. При этом на оплавленной поверхности бульки часть кристаллов остается не разрушенной и они при последующем охлаждении бульки начинают расти за счет оплавленных раз­рушенных кристаллов. Для получения рубина к порошку окиси алюминия добавляют окись хрома, для синтеза сапфира – окись железа и титана, для синтеза александритоподобного корунда - соли ванадия. Этим же методом выращивают синтетический ру­тил и титанат стронция.

Второй распространенный метод выращивания синтетиче­ских кристаллов драгоценных камней - способ Чохральского. Он заключается в следующем: расплав вещества, из которого предполагается кристаллизовать камни, помещают в огнеупор­ный тигель из тугоплавкого металла (платины, родия, иридия, молибдена или вольфрама) и нагревают в высокочастотном ин­дукторе. В расплав на вытяжном валу опускают затравку из ма­териала будущего кристалла, и на ней наращивается синтетиче­ский материал до нужной толщины. Вал с затравкой постепенно вытягивают вверх со скоростью 1-50 мм/ч с одновременным выращиванием при частоте вращения 30-150 об/мин. Вращают вал, чтобы выровнять температуру расплава и обеспечить равно­мерное распределение примесей. Диаметр кристаллов - до 50 мм, длина - до 1 м. Методом Чохральского выращивают синтетиче­ский корунд, шпинель, гранаты, ниобат лития и другие искусст­венные камни.

Часто применяется метод кристаллизации из раствора в рас­плаве с использованием флюсов. При этом камни кристаллизу­ются из смешанного расплава, состоящего из раствора соедине­ния и флюсов - молибдатов, боратов, фторидов, окиси свинца и др. Кристаллизуют вещества обычно в платиновом тигле при температуре от 600 до 1300 °С (в зависимости от вида кристал­лов). В расплав опускают затравку, а затем его охлаждают со скоростью 0,1-1 °С/ч. На затравке постепенно наращивается кристалл. Скорость роста невелика - за несколько недель кри­сталл вырастает на 3-4 см. Этот метод по эффективности не может конкурировать со способом Чохральского и применяется в тех случаях, если кристалл плавится инконгруэнтно или испы­тывает деструктивное фазовое превращение в твердом состоя­нии. Очень эффективен гидротермальный способ выращивания кристаллов драгоценных камней. Процесс осуществляется в ав­токлавах при давлении 7Т0000000-14Т0000000 Па и темпера туре 300-900 °С. Автоклав заполняют раствором соответствую­щего минерала. В нижней части автоклава температура более высокая; когда насыщенный раствор поднимается вверх и попа­дает в условия с пониженной температурой, вещество осаждает­ся на затравку природного кристалла. Нижняя и верхняя части автоклава разделены диафрагмой. Последние два метода приме­няют для выращивания синтетических изумрудов, бериллов. Гидротермальным методом синтезируют разновидности кварца и корунда, а методом флюса - иттрий-алюминиевые гранаты, корунды, шпинель.

Сверхтвердые синтетические минералы и материалы полу­чают другими способами. Для выращивания алмаза необходимы давление 50-100000000-100-100000000 Па и температура более 1600 °С. Процесс синтеза алмазов осуществляется из графита в присутствии катализаторов - металлов. В зависимости от вре­мени синтеза получают кристаллы алмазов различных размеров. Такими же методами синтезируют другие сверхтвердые мате­риалы: гексанит, эльбор, СВ и другие, которые широко приме­няются в технике. В ювелирном деле синтетические алмазы и сверхтвердые материалы до сих пор не применяются.

**Охлаждение насыщенного горячего раствора.**

При каждой температуре в данном количестве растворителя (например, в воде) может раствориться не более определенного количества вещества. Например, в 100 г воды при 90 °С может раствориться 200 г алюмокалиевых квасцов. Такой раствор на­зывается насыщенным. Будем теперь охлаждать раствор. С по­нижением температуры растворимость большинства веществ уменьшается. Так, при 80 °С в 100 г воды можно растворить уже не более 130 г квасцов. Куда же денутся остальные 70 г? Если охлаждение вести быстро, избыток вещества просто выпадет в осадок. Если этот осадок высушить и рассмотреть в сильную лупу, то можно увидеть множество мелких кристалликов. При охлаждении раствора частички вещества (молекулы, ионы), которые уже не могут находиться в растворенном состоянии, сли­паются друг с другом, образуя крошечные кристаллы-зародыши. Образованию зародышей способствуют примеси в растворе, на­пример, пыль, мельчайшие неровности на стенках сосуда (хими­ки иногда специально трут стеклянной палочкой по внутренним стенкам стакана, чтобы помочь кристаллизации вещества). Если раствор охлаждать медленно, зародышей образуется немного, и, обрастая постепенно со всех сторон, они превращаются в краси­вые кристаллики правильной формы. При быстром же охлажде­нии образуется много зародышей, причем частички из раствора будут «сыпаться» на поверхность растущих кристалликов, как горох из порванного мешка; конечно, правильных кристаллов при этом не получится, потому что находящиеся в растворе час­тицы могут просто не успеть «устроиться» на поверхности кри­сталла на положенное им место. Кроме того, множество быстро растущих кристалликов так же мешают друг другу, как несколь­ко паркетчиков, работающих в одной комнате. Посторонние твердые примеси в растворе также могут играть роль центров кристаллизации, поэтому чем чище раствор, тем больше шансов, что центров кристаллизации будет немного. Охладив насыщен­ный при 90 °С раствор квасцов до комнатной температуры, мы получим в осадке уже 190 г, потому что при 20 °С в 100 г воды растворяется только 10 г квасцов. Получится ли при этом один большой кристалл правильной формы массой 190 г? К сожале­нию, нет: даже в очень чистом растворе вряд ли начнет расти один-единственный кристалл: масса кристалликов может обра­зоваться на поверхности остывающего раствора, где температу­ра немного ниже, чем в объеме, а также на стенках и дне сосуда. Метод выращивания кристаллов путем постепенного охлажде­ния насыщенного раствора неприменим к веществам, раствори­мость которых мало зависит от температуры. К таким вещест­вам относятся, например, хлориды натрия и алюминия, ацетат кальция.

**Самый простой способ** - **испарение растворителя.**

Установка представляла собой сосуд из органического стек­ла емкостью около 750 мл. В него налито примерно 600 мл на­сыщенного раствора медного купороса. По мере испарения в сосуд подливались новые порции раствора. Поэтому стенки не смачивались раствором и кристаллы-паразиты на них почти не появлялись. Первоначально из полукристаллической массы медного купороса мы отобрали семь кристалликов более или менее правильной формы. Каждый был опущен на тонкой (0,15 мм) лесе в сосуд с насыщенным раствором медного купо­роса. По мере роста удалялись неудачные кристаллы, обросшие паразитами и потерявшие типичную для монокристаллов медно­го купороса форму. Через две недели осталось только три луч­ших кристалла, а через месяц - всего один. Он был уже доволь­но велик, поэтому линейный рост его замедлился из-за большой поверхности кристаллизации. Вместо обычных в таких случаях перемешиваний раствора мы решили вращать сам кристалл. Для этого подвесили его на лесе, конец которой укрепили на оси электродвигателя. За 10-12 секунд работы двигателя леса закручивалась настолько, что по­сле закрепления оси обеспечивала медленное вращение моно­кристалла в течение получаса. Пожалуй, проще было бы просто перемешивать раствор, вращающийся от микроэлектродвигате­ля мешалкой. В течение всего времени эксперимента сосуд был прикрыт целлофаном, чтобы в него не попадала пыль.

Несколько необычно мы получили второй кристалл. Во вре­мя более интенсивного испарения (при понижении относитель­ной влажности и повышении температуры) возникало большое перенасыщение. Пока сам кристалл был мал, его рост не мог скомпенсировать испарение. Поэтому на неровностях лесы на­чинали расти кристаллы-паразиты. Один из них нам так понра­вился, что мы вырастили его отдельно. В этом случае не было затравки, внесенной в раствор извне, весь кристалл был выра­щен в нашем растворе. Получен­ный кристалл имел более пра­вильную форму, так как он был свободен от дефектов затравки.

Для изготовления трехгран­ных призм спектрографов, по­зволяющих вести исследования в ультрафиолетовой части спектра, выращиваются крупные бочко­образные кристаллы поваренной соли. Способ выращивания таких кристаллов разработан С. Киропулосом.

Она состоит из вертикальной цилиндрической электропечи, в которую помещен большой тигель с расплавом чистой соли. В расплаве устанав­ливается постоянная температура на 50-60° выше температуры плавления соли. Сверху в расплав медленно, чтобы она успела прогреться, опускают затравку, вырезанную из кристалла той же соли. После соприкосновения затравки с расплавом и частично­го оплавления ее держатель охлаждается струей воздуха, прохо­дящей по трубке внутри его. Затравка и примыкающий к ней слой расплава охлаждаются, и кристалл начинает расти в виде сферы или шляпки перевернутого гриба. Когда ширина разрос­шейся сферы станет достаточно большой, специальный меха­низм начнет медленно поднимать затравку с нарастающим на нее бочкообразным кристаллом, не давая ему соприкоснуться со стенками. Выращенный кристалл быстро переносят в другую печь, нагретую вначале почти до температуры плавления соли, где кристалл медленно охлаждается до комнатной температуры. Кристалл весом 15-20 кг удается вырастить за 10-15 часов. Этим способом помимо поваренной соли выращивают кристал­лы хлористого калия и других солей с температурой плавления до 1000°. Установки С. Киропулоса удобны тем, что в конце вы­ращивания кристалл свободен от тигля, но это является и недос­татком ее.

Кристаллы при высокой температуре обладают заметной пластичностью. В результате этого поднятый над расплавом под действием собственного веса он слегка провисает, деформиру­ется, что нарушает однородность его кристаллографического строения.

**Технология выращивания кристаллов в домашних условиях**

Чтобы вырастить кристаллы в домашних условиях, нужно приготовить перенасыщенный раствор соли. В качестве исходных веществ мы выбрали те соли, которыми пользуется человек более или менее часто: медный и железный купорос (для обра­ботки растений от вредителей) и поваренную соль (для употреб­ления в пищу).

В чистую посуду наливаем горячую воду при температуре 50 °С, объем доводим до 500 мл. В стакан небольшими порция­ми засыпаем вещество, каждый раз перемешивая и добиваясь полного растворения, как только раствор «насытится», его нуж­но накрыть и оставить в помещении, где должна сохраняться постоянная температура. По мере остывания раствора до ком­натной температуры возникает избыточная кристаллизация. В растворе вещества остается ровно столько, сколько соответству­ет растворимости при данной температуре, а лишнее выпадает на дно в виде маленьких кристалликов. Так мы получим маточ­ный раствор.

Далее мы сливаем маточный раствор в другую чистую посу­ду, туда же помещаем кристаллики со дна, нагреваем посуду на водяной бане, добиваясь полного растворения, и даем охладить­ся. На этом этапе нашему раствору не желательны сквозняки и резкие перепады температуры. Через сутки осматриваем содер­жимое и замечаем, что на дне и стенках образовались неболь­шие плоские кристаллики-параллелограммы. Из них мы отбира­ем небольшой, но наиболее правильный кристалл. Его мы при­вязываем на тонкую леску и крепим к крышке банки.

Снова готовим насыщенный раствор на основе исходного маточного, добавляем еще немного (0,5чайной ложки) вещест­ва, греем и перемешиваем. Раствор необходимо перелить в чис­тую и нагретую посуду и дать ему постоять 20-30 секунд, чтобы жидкость немного успокоилась. Если раствор теплый, дадим ему остыть до 30 °С, т. к. лишние градусы могут вызвать растворение самой затравки. Кристалл-затравку опускаем в центр раствора, при этом затравка должна «висеть», не касаясь дна и стенок сосуда. Теперь осталось только наблюдать за ростом. Наш кристалл-затравка играет в растворе роль центра кристал­лизации. Наблюдение за ростом кристаллов

Эту технологи мы применили для выращивания трех кри­сталлов: медного, железного купороса и поваренной соли. На­блюдали за ростом каждый день. Изучив литературу, мы знали, что вырастить монокристалл очень сложно. Для этого нужно строго соблюдать все условия технологии, начиная со специаль­ной посуды, чистоты раствора и заканчивая соблюдением стро­жайшего температурного режима. Но мы занимались экспери­ментальной работой в зимнее время, раствор очень быстро ос­тывал, поэтому поддерживать температуру постоянной не удавалось. Также приходилось периодически подогревать со­держимое и добавлять еще вещества в раствор. Все эти отклоне­ния от технологии привели к тому, что кристаллы выросли сросшимися, т. е. у нас получились поликристаллы с ярко выра­женными плоскими гранями отдельных кристаллов (см. рис.).

Не меняя положение затравки, мы периодически измеряли размеры некоторых граней и заметили следующее: грани изме­няют свои размеры - растут, но форма их остается неизменной, углы между соответственными гранями тоже остаются постоян­ными. Но, возможно, эта закономерность характерна только данному кристаллу? Поэтому мы вырастили два разных кри­сталла медного купороса, сравнили формы граней и измерили их углы. Оказалось, что и для другого кристалла эта закономер­ность тоже справедлива. Это дает право говорить о том, что в различных кристаллах одного и того же вещества и форма гра­ней, и их взаимные расстояния, и их число могут изменяться, но углы при этом остаются постоянными.

**Исследование физических свойств кристаллов**

Конечно, не все физические свойства можно исследовать в домашних условиях, но такие, как анизотропность и спайность, -можно. Причем получилось у нас это почти случайно. Когда мы продумывали свою работу, то задачу исследовать физические свойства перед собой не ставили, т. к. знали, что это будет сделать трудно. Нам помог случай. Выскользнув из рук, кристалл медного купороса упал на пол и раскололся на множество ма­леньких кристалликов. Тщательное изучение осколков показало, что они представляют собой одинаковой формы геометрические тела, отличающиеся только размерами. Отсюда напрашивается вывод, что один большой поликристалл при механическом воз­действии может дробиться на части, ограниченные плоскими поверхностями, пересекающимися под острыми и тупыми угла­ми (если прямоугольный параллелепипед растянуть по диагона­ли, то получим примерную форму таких осколков). Поперек этих поверхностей заставить разрушаться кристалл очень труд­но. Способность кристалла раскалываться в определенных на­правлениях называется спайностью. Это свойство используется тогда, когда большой кристалл нужно раздробить (расчленить) на несколько небольших.

А затем мы исследовали самые крупные кристаллы на теп­лопроводность, т. е. как они проводят тепло.

Мы наносили каплю парафина на разные грани кристаллов и давали ей застыть. Затем дотрагивались до этих граней хорошо прогретой спицей и наблюдали за формой таявшей капельки па­рафина. В одних случаях форма была круглая, а в других - вы­тянутая, а это значит, что в первом случае тепло распространя­лось по всем направлениям одинаково, а во втором - тепло рас­пространялось в одних направлениях медленнее, в других быстрее и форма проталинки была уже не круглой. Если подоб­ный эксперимент провести с поликристаллом, то никакой раз­ницы в форме проталинки не будет, а следовательно, поликри­сталлы одинаково проводят тепло по всем направлениям.

Исследовать другие физические свойства мы не смогли из-за ограниченности материально-технической базы нашего учебно­го заведения.

Еще одна задача стояла перед нами. Сравнить формы полу­ченных кристаллов с формами их кристаллических решеток. Нам это удалось сделать только для кристаллов поваренной со­ли. В литературе мы нашли модель кристаллической решетки NaCl, согласно которой грани должны иметь форму квадратов, а кристаллы - кубов. Выращенный нами кристалл соответствует этим требованиям и относится к кубической сингонии - куб (гексаэдр).

Но нам не удалось найти формы решеток медного и желез­ного купороса. Мы воспользовались предыдущим соответстви­ем формы кристалла и его решетки и предположили следующее: основываясь на исследованиях фотографий выращенных кри­сталлов, можем утверждать, что форма монокристаллов медного купороса соответствует ромбоэдру (средние сингонии), а форма монокристаллов железного купороса соответствует ромбиче­ской призме (низшие сингонии).

**Выводы**

1. Все физические свойства, благодаря которым кристаллы так широко применяются, зависят от их строения - их простран­ственной решетки.
2. Наряду с твердотельными кристаллами в настоящее время широко применяются жидкие кристаллы, а в скором будущем мы будем пользоваться приборами, построенными на фотонных кристаллах.
3. К кристаллам относятся и ювелирные камни, из которых изготавливают украшения. Отношение человека к драгоценным камням за многие столетия претерпело изменения: от обожеств­ления и применения в медицине до демонстрации своей состоя­тельности или доставления эстетического удовольствия от кра­соты и гармонии камня.
4. Мы отобрали наиболее приемлемый способ для выращи­вания кристаллов в домашних условиях и вырастили кристаллы медного и железного купороса, а также кристаллы поваренной соли. По мере роста кристаллов проводили наблюдения. Опре­делили типы кристаллических решеток для медного и железного купороса.