

Департамент образования администрации г. Перми
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Лицей№1» г. Перми

Учебно-исследовательская работа

Твёрдые тела и их свойства

Выполнил:

Першин Владимир Евгеньевич
МБОУ «Лицей№1» г. Перми
209 класс

Научный руководитель:

Маркелова Наталья Львовна
МБОУ «Лицей№1» г. Перми
Учитель физики

Пермь, 2018

Реферат

Отчёт содержит 40 стр., 24 рис., 9 использованных источников.

Содержание

1. Введение.....	4
2. Твёрдые тела	5
3. Применение кристаллов	6
4. Аморфные тела.....	9
4.1. Свойства аморфных тел.....	10
5. Прочность твердых тел.....	10
6. Дефекты в кристаллах.....	11
7. Способы повышения прочности твердых тел.....	12
8. Физика твёрдого тела.....	14
8.1. Деформация твёрдого тела	14
8.2. Деформация растяжения (сжатия).....	15
8.3. Деформация сдвига.....	16
8.4. Изгиб и кручение.....	16
8.5. Тепловое движение	17
8.6. Диаграмма растяжения	18
8.7. Закон Гука	19
8.8. Пределы пропорциональности и упругости.....	20
8.9. Предел прочности	20
8.10. Пластичность, хрупкость и упругость.....	21
9. Растворы и кристаллы.....	22
10. Твердые растворы и жидкие кристаллы.....	25
11. Исследование. Измерение жёсткости пружины.....	27
12. Кристаллография.....	32
13. Исследование. Наблюдение роста кристаллов из раствора.....	34
14. Заключение.....	39
15. Список литературы.....	40

1. Введение

Долгое время казалось, что самое интересное в Физике - это исследования микромира и микрокосмоса. Именно там пытались найти ответы на наиболее важные, фундаментальные вопросы, объясняющие устройство окружающего мира. А сейчас образовался третий фронт исследований - изучение твёрдых тел.

Почему же так важно исследовать твёрдые тела?

Огромную роль, конечно, играет здесь практическая деятельность человека. Твёрдые тела - это металлы и диэлектрики, без которых немислима электротехника, это - полупроводники, лежащие в основе современной электроники, магниты, сверхпроводники, конструкционные материалы. Словом, можно утверждать, что научно-технический прогресс в значительной мере основан на использовании твёрдых тел.

Но не только практическая сторона дела важна при их изучении. Сама внутренняя логика развития науки - физики твёрдого тела - привела к пониманию важности коллективных свойств больших систем.

Твёрдое тело состоит из миллиарда частиц, которые взаимодействуют между собой. Это обуславливает появление определённого порядка в системе и особых свойств всего количества микрочастиц. Так, коллективные свойства электронов определяют электропроводность твёрдых тел, а способность тела поглощать тепло - теплоёмкость - зависит от характера коллективных колебаний атомов при тепловом движении. Коллективные свойства объясняют все основные закономерности поведения твёрдых тел.

Структура твёрдых тел многообразна. Тем не менее, их можно разделить на два больших класса: кристаллы и аморфные тела.

Цель работы: изучить твёрдые тела и свойства этого агрегатного состояния вещества.

Задачи:

1. Исследовать виды твёрдых тел, их строение, свойства и применение.
2. Вырастить кристаллы в домашних условиях.
3. Провести исследование «Измерение жёсткости пружины».

2. Твёрдые тела

Кристаллы - это твёрдые тела, атомы или молекулы которых занимают определённые, упорядоченные положения в пространстве. Поэтому кристаллы имеют плоские грани. Например, крупинка обычной поваренной соли имеет плоские грани, составляющие друг с другом прямые углы. Это можно заметить, рассматривая соль с помощью лупы. Строгая периодичность в расположении атомов приводит к сохранению порядка на больших расстояниях (в таком случае говорят, что имеется дальний порядок). А как геометрически правильна форма снежинки! В ней также отражена геометрическая правильность внутреннего строения кристаллического твёрдого тела - льда.

Однако, правильная внешняя форма не единственное и даже не самое главное следствие упорядоченного строения кристалла. **Главное - это зависимость физических свойств от выбранного в кристалле направления.** Прежде всего, бросается в глаза различная механическая прочность кристаллов по разным направлениям. Например, кусок слюды легко расслаивается в одном из направлений на тонкие пластинки, но разорвать его в направлении, перпендикулярном пластинкам, гораздо труднее. Так же легко расслаивается в одном направлении кристалл графита. Когда вы пишете карандашом, такое расслоение происходит непрерывно и тонкие слои графита остаются на бумаге. Это происходит потому, что кристаллическая решётка графита имеет слоистую структуру. Слои образованы рядом параллельных сеток, состоящих из атомов углерода. Атомы располагаются в вершинах правильных шестиугольников. Расстояние между слоями сравнительно велико - примерное в два раза больше, чем длина стороны шестиугольника, поэтому связи между слоями менее прочны, чем связи внутри них. Многие кристаллы по-разному проводят теплоту и электрический ток в различных направлениях. От направления зависят и оптические свойства кристаллов. Так, кристалл кварца по-разному преломляет свет в зависимости от направления падающих на него лучей.

Зависимость физических свойств от направления внутри кристалла называют анизотропией. Все кристаллические тела анизотропны.

Кристаллическую структуру имеют металлы. Именно металлы преимущественно используются в настоящее время для изготовления орудий труда, различных машин и механизмов.

Если взять сравнительно большой кусок металла, то на первый взгляд его кристаллическая структура никак не проявляется ни во внешнем виде куска ни в его физических свойствах. Металлы в обычном состоянии не обнаруживают анизотропии.

Дело здесь в том, что металл обычно состоит из огромного количества сросшихся друг с другом кристалликов. Под микроскопом или даже с помощью лупы их нетрудно рассмотреть, особенно на свежем изломе

металла. Свойства каждого кристаллика зависят от направления, но кристаллики ориентированы по отношению друг к другу беспорядочно. В результате в объёме, значительно превышающем объём отдельных кристалликов все направления внутри металлов равноправны и свойства металлов одинаковы по всем направлениям.

Твёрдое тело, состоящее из большого числа маленьких кристалликов, называют монокристаллами.

Соблюдая большие предосторожности, можно вырастить металлический кристалл больших размеров - монокристалл. В обычных условиях поликристаллическое тело образуется в результате того, что начавшийся рост многих кристаллов продолжается до тех пор, пока они не приходят в соприкосновение друг с другом, образуя единое тело.

К поликристаллам относятся не только металлы. Кусок сахара, например, также имеет поликристаллическую структуру.

Большинство кристаллических тел - поликристаллы, так как они состоят из множества сросшихся кристаллов. Одиночные кристаллы - монокристаллы имеют правильную геометрическую форму, и их свойства различны по разным направлениям (анизотропия).

3. Применение кристаллов

Применения кристаллов в науке и технике так многочисленны и разнообразны, что их трудно перечислить.

Самый твердый и самый редкий из природных минералов - алмаз. Сегодня алмаз в первую очередь камень-работник, а не камень-украшение.

Благодаря своей исключительной твердости алмаз играет громадную роль в технике. Алмазными пилами распиливают камни. Алмазная пила - это большой (до 2-х метров в диаметре) вращающийся стальной диск, на краях которого сделаны надрезы или зарубки. Мелкий порошок алмаза, смешанный с каким-нибудь клейким веществом, втирают в эти надрезы. Такой диск, вращаясь с большой скоростью, быстро распиливает любой камень.

Колоссальное значение имеет алмаз при бурении горных пород, в горных работах.

В граверных инструментах, делительных машинах, аппаратах для испытания твердости, сверлах для камня и металла вставлены алмазные острия.

Алмазным порошком шлифуют и полируют твердые камни, закаленную сталь, твердые и сверхтвердые сплавы. Сам алмаз можно резать, шлифовать и гравировать тоже только алмазом. Наиболее ответственные детали двигателей в автомобильном и авиационном производстве обрабатывают алмазными резцами и сверлами.

Рубин и сапфир относятся к самым красивым и самым дорогим из драгоценных камней. У всех этих камней есть и другие качества, более скромные, но полезные. Кроваво-красный рубин и лазарево-синий сапфир - это родные братья, это вообще один и тот же минерал - корунд, окись алюминия Al_2O_3 . Разница в цвете возникла из-за очень малых примесей в окиси алюминия: ничтожная добавка хрома превращает бесцветный корунд в кроваво-красный рубин, окись титана - в сапфир. Есть корунды и других цветов. Есть у них ещё совсем скромный, невзрачный брат: бурый, непрозрачный, мелкий корунд - наждак, которым чистят металл, из которого делают наждачную шкурку. Корунд со всеми его разновидностями - это один из самых твердых камней на Земле, самый твердый после алмаза. Корундом можно сверлить, шлифовать, полировать, точить камень и металл. Из корунда и наждака делают точильные круги и бруски, шлифовальные порошки.

Вся часовая промышленность работает на искусственных рубинах. На полупроводниковых заводах тончайшие схемы рисуют рубиновыми иглами. В текстильной и химической промышленности рубиновые нитеводители вытягивают нити из искусственных волокон, из капрона, из нейлона.

Новая жизнь рубина - это лазер или, как его называют в науке, оптический квантовый генератор (ОКГ), чудесный прибор наших дней. В 1960г. был создан первый лазер на рубине. Оказалось, что кристалл рубина усиливает свет. Лазер светит ярче тысячи солнц.

Мощный луч лазера громадной мощностью. Он легко прожигает листовую металл, сваривает металлические провода, прожигает металлические трубы, сверлит тончайшие отверстия в твердых сплавах, алмазе. Эти функции выполняет твердый лазер, где используется рубин, гранат с неодитом. В глазной хирургии применяется чаще всего неодимовые лазеры и лазеры на рубине. В наземных системах ближнего радиуса действия часто используются инъекционные лазеры на арсениде галлия.

Появились и новые лазерные кристаллы: флюорит, гранаты, арсенид галлия и др.

Сапфир прозрачен, поэтому из него делают пластины для оптических приборов.

Основная масса кристаллов сапфира идет в полупроводниковую промышленность.

Кремень, аметист, яшма, опал, халцедон — все это разновидности кварца. Мелкие зернышки кварца образуют песок. А самая красивая, самая чудесная разновидность кварца - это и есть горный хрусталь, т.е. прозрачные

кристаллы кварца. Поэтому из прозрачного кварца делают линзы, призмы и др. детали оптических приборов.

Особенно удивительны электрические свойства кварца. Если сжимать или растягивать кристалл кварца, на его гранях возникают электрические заряды. Это - пьезоэлектрический эффект в кристаллах.

В наши дни в качестве пьезоэлектриков используют не только кварц, но и многие другие, в основном искусственно синтезированные вещества: синетову соль, титанат бария, дигидрофосфаты калия и аммония (КДР и АДР) и многие другие.

Пьезоэлектрические кристаллы широко применяются для воспроизведения, записи и передачи звука.

Существуют и пьезоэлектрические методы измерения давления крови в кровеносных сосудах человека и давления соков в стеблях и стволах растений. Пьезоэлектроды измеряют, например, давление в стволе артиллерийского орудия при выстреле, давление в момент взрыва бомбы, мгновенные давления в цилиндрах двигателей при взрыве в них горячих газов.

Электродоптическая промышленность - это промышленность кристаллов, не имеющих центра симметрии. Эта промышленность очень велика и разнообразна, на её заводах выращивают и обрабатывают сотни наименований кристаллов для применения в оптике, акустике, радиоэлектронике, в лазерной технике.

В технике также нашел своё применение поликристаллический материал поляроид.

Поляроид - это тонкая прозрачная пленка, сплошь заполненная крохотными прозрачными игольчатыми кристалликами вещества, двупреломляющего и поляризующего свет. Все кристаллики расположены параллельно друг другу, поэтому все они одинаково поляризуют свет, проходящий через пленку.

Поляроидные пленки применяются в поляроидных очках. Поляроиды гасят блики отраженного света, пропуская весь остальной свет. Они незаменимы для полярников, которым постоянно приходится смотреть на ослепительное отражение солнечных лучей от заледеневшего снежного поля.

Поляроидные стекла помогут предотвратить столкновения встречных автомобилей, которые очень часто случаются из-за того, что огни встречной машины ослепляют шофера, и он не видит этой машины. Если же ветровые стекла автомобилей и стекла автомобильных фонарей сделать из поляроида, причем повернуть оба поляроида так, чтобы их оптические оси были смещены, то ветровое стекло не пропустит света фонарей встречного автомобиля, "погасит его".

Кристаллы сыграли важную роль во многих технических новинках 20 в. Некоторые кристаллы генерируют электрический заряд при деформации. Первым их значительным применением было изготовление генераторов радиочастоты со стабилизацией кварцевыми кристаллами. Заставив кварцевую пластинку вибрировать в электрическом поле радиочастотного

колебательного контура, можно тем самым стабилизировать частоту приема или передачи.

Полупроводниковые приборы, революционизировавшие электронику, изготавливаются из кристаллических веществ, главным образом кремния и германия. При этом важную роль играют легирующие примеси, которые вводятся в кристаллическую решетку. Полупроводниковые диоды используются в компьютерах и системах связи, транзисторы заменили электронные лампы в радиотехнике, а солнечные батареи, помещаемые на наружной поверхности космических летательных аппаратов, преобразуют солнечную энергию в электрическую. Полупроводники широко применяются также в преобразователях переменного тока в постоянный.

Кристаллы используются также в некоторых лазерах для усиления волн СВЧ - диапазона и в лазерах для усиления световых волн. Кристаллы, обладающие пьезоэлектрическими свойствами, применяются в радиоприемниках и радиопередатчиках, в головках звукозаписывающих устройств и в гидролокаторах. Некоторые кристаллы модулируют световые пучки, а другие генерируют свет под действием приложенного напряжения. Перечень видов применения кристаллов уже достаточно длинен и непрерывно растет.

4. Аморфные тела

Не все твёрдые тела - кристаллы. Существует множество аморфных тел. Чем они отличаются от кристаллов?

У аморфных тел нет строгого порядка в расположении атомов. Только ближайшие атомы - соседи располагаются в некотором порядке. Но строгой направленности по всем направлениям одного и того же элемента структуры, которая характерна для кристаллов в аморфных телах, нет.

Часто одно и то же вещество может находиться как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии. Например, кварц SiO_2 , может быть как в кристаллической, так и в аморфной форме (кремнезем). Кристаллическую форму кварца схематически можно представить в виде решётки из правильных шестиугольников. Аморфная структура кварца также имеет вид решётки, но неправильной формы. Наряду с шестиугольниками в ней встречаются пяти и семиугольники.

В 1959 г. английский физик Д. Бернал провёл интересные опыты: он взял много маленьких пластилиновых шариков одинакового размера, обвалял их в меловой пудре и спрессовал в большой ком. В результате шарики деформировались в многогранники. Оказалось, что при этом образовывались преимущественно пятиугольные грани, а многогранники в среднем имели 13,3 грани. Так что какой-то порядок в аморфных веществах определённо есть.

4.1. Свойства аморфных тел

Все аморфные тела изотропные, т.е. их физические свойства одинаковы по всем направлениям. К аморфным телам относятся стекло, смола, канифоль, сахарный леденец и др.

При внешних воздействиях аморфные тела обнаруживают одновременно упругие свойства, подобно твёрдым телам, и текучесть, подобно жидкости. Так, при кратковременных воздействиях (ударах) они ведут себя как твёрдые тела и при сильном ударе раскалываются на куски. Но при очень продолжительном воздействии аморфные тела текут. Проследим за куском смолы, который лежит на гладкой поверхности. Постепенно смола по ней растекается, и, чем выше температура смолы, тем быстрее это происходит.

Атомы или молекулы аморфных тел, подобно молекулам жидкости, имеют определённое время “осёдлой жизни” - время колебаний около положения равновесия. Но в отличие от жидкостей это время у них весьма велико. Так, для пара при $t = 20^{\circ}\text{C}$ время “осёдлой жизни” 0,1 с. В этом отношении аморфные тела близки к кристаллическим, так как перескоки атомов из одного положения равновесия в другое происходят редко.

Аморфные тела при низких температурах по своим свойствам напоминают твёрдые тела. Текучестью они почти не обладают, но по мере повышения температуры постепенно размягчаются и их свойства всё более и более приближаются к свойствам жидкостей. Это происходит потому, что с ростом температуры постепенно учащаются перескоки атомов из одного положения в другое. Определённой температуры тел у аморфных тел, в отличие от кристаллических, нет.

5. Прочность твердых тел.

Повышение пределов прочности таких широко используемых в технике материалов, как сталь, чугун, алюминий, медь и многих других является задачей исключительной важности.

Сравнение реальной прочности кристаллов со значениями, полученными на основании теоретических расчетов, обнаруживает весьма существенные расхождения: теоретический предел прочности в десятки и даже сотни раз превосходит значения, получаемые при испытании реальных образцов! Это означает, что на изготовление станков и машин, железных дорог и трубопроводов расходуется в десятки и сотни раз больше материалов, чем это было бы необходимо при получении материалов, обладающих такой прочностью, какая предсказана теорией. Поэтому физикам и инженерам очень важно было узнать, по какой причине реальная прочность твердых тел оказывается значительно меньше величин, рассчитанных для идеальной модели. Оказалось, что причина расхождения теории и эксперимента – в

наличии внутренних и поверхностных дефектов, существование которых не учитывалось в расчетах.

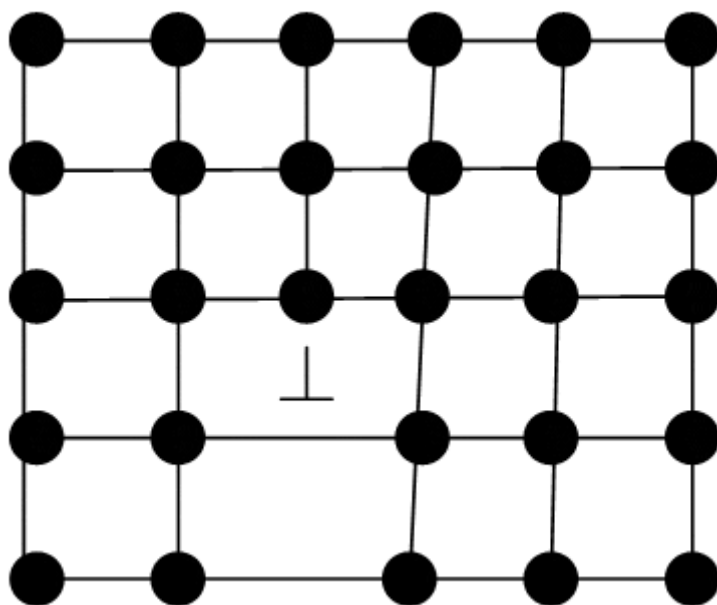
6. Дефекты в кристаллах

Уже сам факт сильной зависимости пластических свойств тела от его обработки, наличия примесей и т.п. указывает на тесную связь этих свойств с особенностями кристаллического строения реальных тел – особенностями, отличающими реальные кристаллы от идеальных.

О нарушениях идеальной кристаллической структуры говорят как о дефектах кристаллов. Наиболее простой тип дефектов (которые можно назвать точечными) состоит в отсутствии атома в узле решетки (свободная вакансия) или в замене «правильного атома в узле чужеродным (атомом примеси), во внедрении лишнего атома в межузельное пространство и т.п. Нарушение правильности структуры решетки распространяется на небольшое (порядка величины нескольких периодов) расстояние вокруг такой точки.

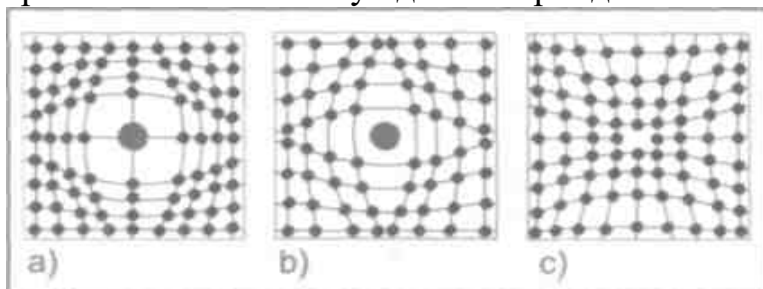
Наиболее важную роль в механических свойствах твердых тел играют, однако, дефекты другого рода, которые можно назвать линейными, поскольку нарушение правильности структуры кристаллической решетки сосредоточено вблизи нескольких линий. Эти дефекты называют **дислокациями**.

Изображенную на рисунке дислокацию можно представить себе как дефект решетки, вызванный наличием в ней одной лишней кристаллической полуплоскости, вдвинутой между двумя «правильными» плоскостями (слоями атомов).



Линией дислокации (которую в данном случае можно назвать краевой), является перпендикулярная плоскости рисунка прямая линия, отмеченная на рисунке значком перпендикуляра. «Лишний» слой атомов расположен над

этим значком. Эту дислокацию можно представить и как результат сдвига верхней части кристалла на величину одного периода.



Другой тип дислокации можно наглядно представить как результат «разреза» решетки по полуплоскости, после чего части решетки по обе стороны разреза сдвигаются навстречу друг другу на один период параллельно краю разреза (который называется в этом случае винтовой дислокацией). Наличие такой дислокации превращает кристаллические плоскости в решетке в геликоидальную поверхность (подобную винтовой лестнице без ступенек). В краевой дислокации направление сдвига перпендикулярно, а в винтовой – параллельно линии дислокации. Между этими двумя предельными случаями возможны любые промежуточные. Линии дислокации не обязательно прямые: они могут быть и кривыми, в том числе образовывать замкнутые петли.

7. Способы повышения прочности твердых тел.

Для получения материалов с высокой прочностью на разрыв и сдвиг, т.е. с большим сопротивлением пластической деформации, необходимо:

- а) либо уменьшить в них число дислокаций,
- б) либо создать условия, затрудняющие перемещения дислокаций.

Препятствием перемещению дислокации может служить другая дислокация, встретившаяся на ее пути. Поэтому при увеличении числа дислокаций в единице объема прочность кристалла сначала уменьшается, а затем начинает возрастать. Это обстоятельство иллюстрируется на графике зависимости предела прочности от числа дефектов в единице объема кристалла.

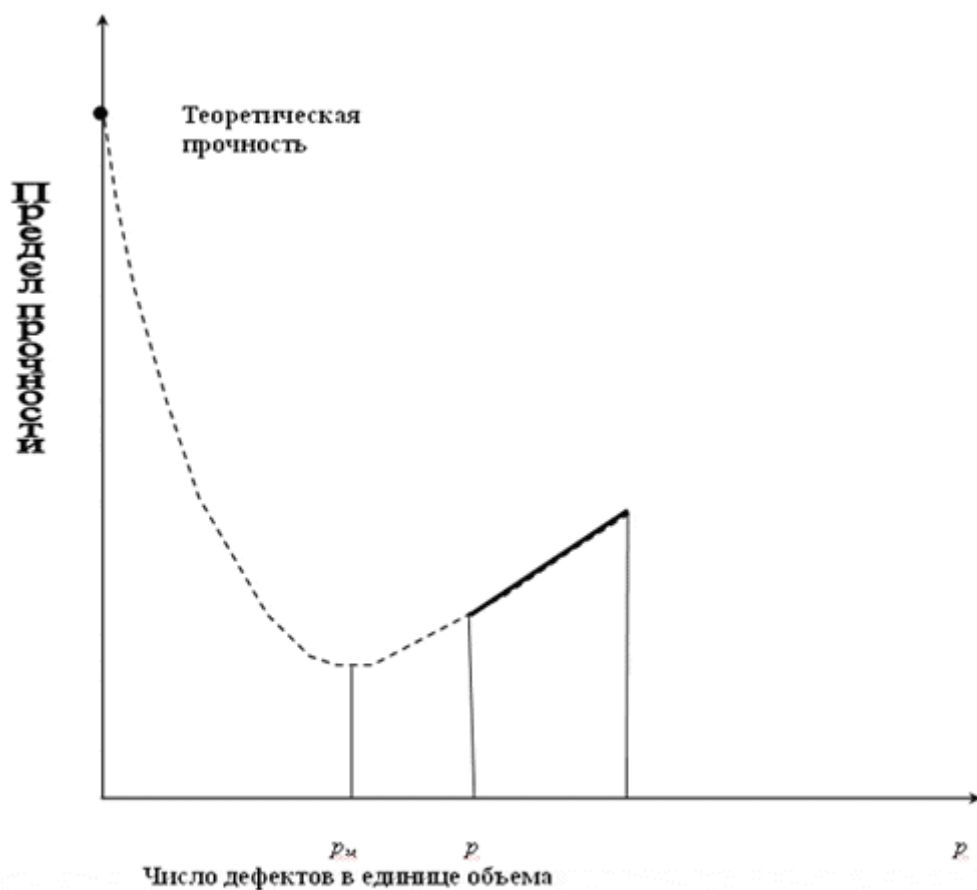


График зависимости предела прочности от числа дефектов в единице объема кристалла

Способ повышения прочности твердых тел путем получения кристаллов с очень малым количеством дислокаций пока еще не используется в промышленности. Большинство современных методов упрочнения материалов основано на противоположном способе, состоящем в искажении кристаллической структуры путем создания в ней различного рода дефектов – введением примесей, созданием дислокаций. Например, при легировании стали – введении в расплав небольших добавок хрома, вольфрама и других элементов – ее прочность увеличивается примерно втрое. При протяжке, дробеструйной обработке металлов и т.п. происходит так называемый наклеп, приводящий к увеличению плотности дислокаций и повышению прочности. Например, после протяжки бруска углеродистой стали предел прочности возрастает втрое.

Обработка металлов давлением приводит к уменьшению размеров кристаллов и увеличению дефектов структуры внутри самих зерен. И то и другое мешает передвижению дислокаций и приводит к значительному повышению прочности.

Использование научных достижений в металлургии позволило получать алюминиевые сплавы, не уступающие по прочности легированным сталям. Лучшие марки стали 30-х годов обладали прочностью на разрыв 109 Па , а современные – $2,3 \times 10^9 \text{ Па}$.

Приблизить практическую прочность металлов к теоретической можно и другим способом – высокоскоростной кристаллизацией. На основе высокоскоростной кристаллизации и последующего горячего прессования разработана технология производства, например, дисков из никелевых сплавов для газотурбинных двигателей. Таким способом жаропрочность дисков была повышена более чем в полтора раза. Это дало возможность уменьшить массу агрегатов, повысить рабочие температуры, увеличить срок службы двигателей.

8. Физика твёрдого тела.

Человечество всегда использовало, и будет использовать твёрдые тела. Но если раньше физика твёрдого тела отставала от развития технологии, основанной на непосредственном опыте, то теперь положение перевернулось. Теоретические исследования приводят к созданию твёрдых тел, свойства которых совершенно необычны. Получить такие тела методом проб и ошибок было бы невозможно. Создание транзисторов, о которых пойдёт речь в дальнейшем, - яркий пример того, как понимание структуры твёрдых тел привело к революции во всей радиотехнике.

Получение материалов с заданными механическими, магнитными, электрическими и другими свойствами - одно из основных направлений современной физики твёрдого тела.

Аморфные тела занимают промежуточное положение между кристаллическими твёрдыми телами и жидкостями. Их атомы или молекулы располагаются в относительном порядке. Понимание структуры твёрдых тел (кристаллических и аморфных) позволяет создавать материалы с заданными свойствами.

8.1. Деформация твёрдого тела

- изменение его формы или объёма. Растяните резиновый шнур за концы. Очевидно, участки шнура сместятся друг относительно друга; шнур окажется деформированным - станет длиннее и тоньше. Деформация возникает всегда, когда различные части тела под действием сил перемещаются неодинаково.

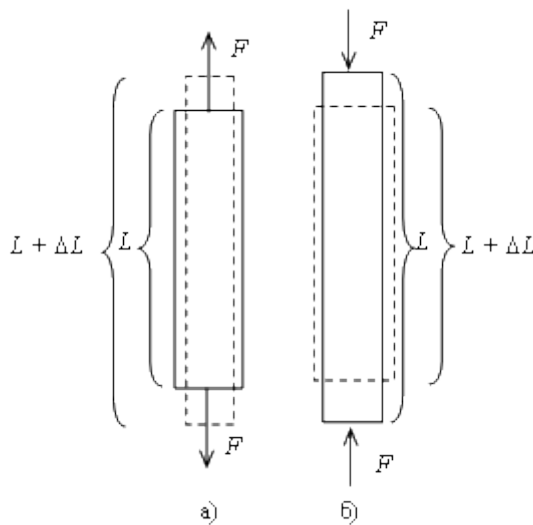
Шнур, после прекращения действия на него сил, возвращается в исходное состояние. *Деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия внешних сил, называются упругими.* Кроме резинового шнура, упругие деформации испытывают пружина, стальные шарики при столкновении и т.д.

Теперь сожмите кусочек пластилина. В ваших руках он легко примет любую форму. Первоначальная форма пластилина не восстановится сама собой. Пластилин “не помнит” какая форма бы у него сначала. Деформации,

которые не исчезают после прекращения действия внешних сил, называются пластическими. Пластическую деформацию, при небольших, но не кратковременных воздействиях испытывают воск, глина, свинец.

8.2. Деформация растяжения (сжатия).

Если к одному стержню, закреплённому одним концом, приложить силу F вдоль оси стержня в направлении от этого конца, то стержень подвергнется деформации растяжения. Деформацию растяжения характеризуют абсолютным удлинением.



$$D l = l - l_0$$

и относительным удлинением

$$e = D l / l_0$$

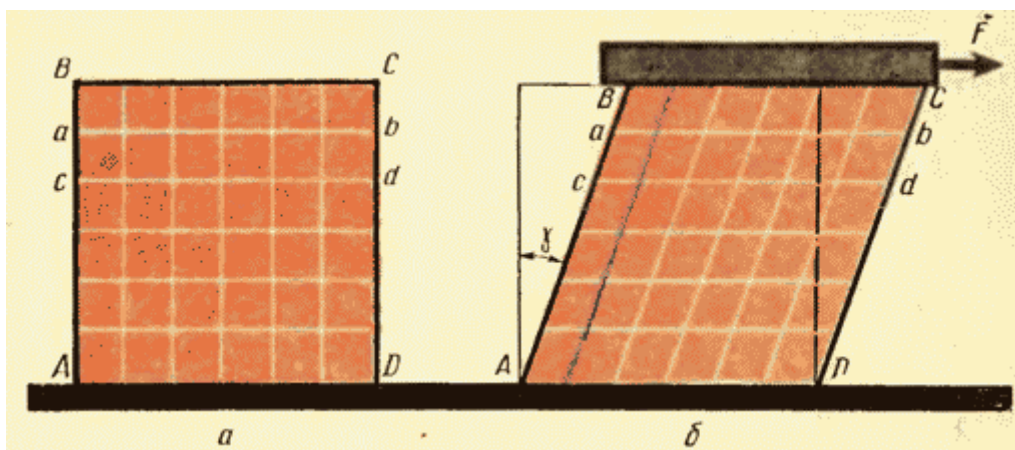
где l_0 - начальная длина, а l - конечная длина стержня.

Деформацию растяжения испытывают тросы, канаты, цепи в подъёмных устройствах, стяжки между вагонами и т.д.

При малых растяжениях ($l_0 < l$), деформации большинства тел упругие.

Если на тот же стержень подействовать силой F , направленной к закреплённому концу, то стержень подвергнется деформации сжатия. В этом случае относительная деформация отрицательна: $e < 0$.

При растяжении или сжатии изменяется площадь поперечного сечения тела. Это можно обнаружить, если растянуть резиновую трубку, на которую предварительно надето металлическое кольцо. При достаточно сильном растяжении кольцо падает. При сжатии, наоборот, площадь поперечного сечения тела увеличивается.



8.3. Деформация сдвига.

Возьмём резиновый брусок с начерченными на его поверхности горизонтальными и вертикальными линиями и закрепим на столе. Сверху к бруску прикрепим рейку и приложим к ней горизонтальную силу. Слои бруска ab , cd и др. Сдвинутся, оставаясь параллельными, а вертикальные грани, оставаясь плоскими, наклонятся на угол g .

Деформацию, при которой происходит смещение слоёв тела друг относительно друга, называют деформацией сдвига.

Если силу F увеличить в два раза, то и угол g увеличится в 2 раза. Опыты показывают, что при упругих деформациях угол сдвига g прямо пропорционален модулю F приложенной силы.

Наглядно деформацию сдвига можно показать на модели твёрдого тела, которое состоит из ряда параллельных пластин, соединённых между собой пружинами. Горизонтальная сила сдвигает пластины друг относительно друга без изменения объёма тела. У реальных твёрдых тел при деформации сдвига объём также не меняется.

Деформациям сдвига подвержены все балки в местах опор, заклёпки и болты, скрепляющие детали и т.д. Сдвиг на большие углы может привести к разрушению тела - срезу. Срез происходит при работе ножниц, долота, зубила, зубьев пилы.

8.4. Изгиб и кручение.

Более сложными видами деформации являются изгиб и кручение. Деформацию изгиба испытывает, например, нагруженная балка. Кручение происходит при завёртывании болтов, вращении валов машин, свёрл и т.д. Эти деформации сводятся к неоднородному растяжению или сжатию и неоднородному сдвигу.

Все деформации твёрдых тел сводятся к растяжению (сжатию) и сдвигу. При упругих деформациях форма тела восстанавливается, а при пластических не восстанавливается.

8.5. Тепловое движение

Тепловое движение вызывает колебания атомов (или ионов), из которых состоит твёрдое тело. Амплитуда колебаний обычно мала по сравнению с межатомными расстояниями, и атомы не покидают своих мест. Поскольку атомы в твёрдом теле связаны между собой, их колебания происходят согласованно, так что по телу с определённой скоростью распространяется *волна*. Для описания колебаний в твёрдых телах при низких температурах часто используют представления о *квазичастицах* - *фононах*.

По своим электронным свойствам твёрдые тела разделяются на *металлы*, *диэлектрики* и *полупроводники*. Кроме того, при низких температурах возможно сверхпроводящее состояние, в котором сопротивление электрическому току равно нулю.

Движение микрочастиц подчиняется законам квантовой механики. У связанных *электронов*, например в *атоме*, энергия может принимать только определённые квантовые значения. В твёрдом теле эти уровни энергии объединяются в зоны, разделённые запрещёнными областями энергии. В силу *принципа Паули* электроны не скапливаются на нижнем уровне, а занимают уровни с разными энергиями. В результате может оказаться, что все уровни энергии в зоне будут полностью заполнены. Такое твёрдое тело является диэлектриком. Изменить энергию электрона можно только сразу на большую конечную величину (ширину запрещённой области, или, как говорят, *энергетической щели*). Поэтому электроны в диэлектрике не могут ускоряться в электрическом поле, и проводимость при нулевой температуре (когда нет тепловых возбуждений) равна нулю (сопротивление бесконечно).

В металле, напротив, верхний заполненный уровень энергии лежит внутри зоны, энергия электронов может меняться почти непрерывно, и электрическое поле создаёт ток. Упорядоченное движение электронов вдоль поля накладывается на интенсивное хаотическое движение. Максимальная энергия электронов определяется их *концентрацией*. В типичных металлах это величина порядка электрон-вольт. Соответствующая такой энергии температура $\gg 10^4\text{K}$! Так что даже при абсолютном нуле часть электронов в металле энергично движется и имеет огромную эффективную температуру.

Полупроводник - это тот же диэлектрик, но с малой величиной энергетической щели. Тепловое движение может “забрасывать” электроны в свободную зону (она называется зоной проводимости в отличие от заполненной валентной зоны), где они уже ускоряются электрическим полем. Поэтому полупроводники обычно имеют небольшую проводимость, резко

зависящую от температуры. На проводимость полупроводников можно также влиять, вводя специальные примеси.

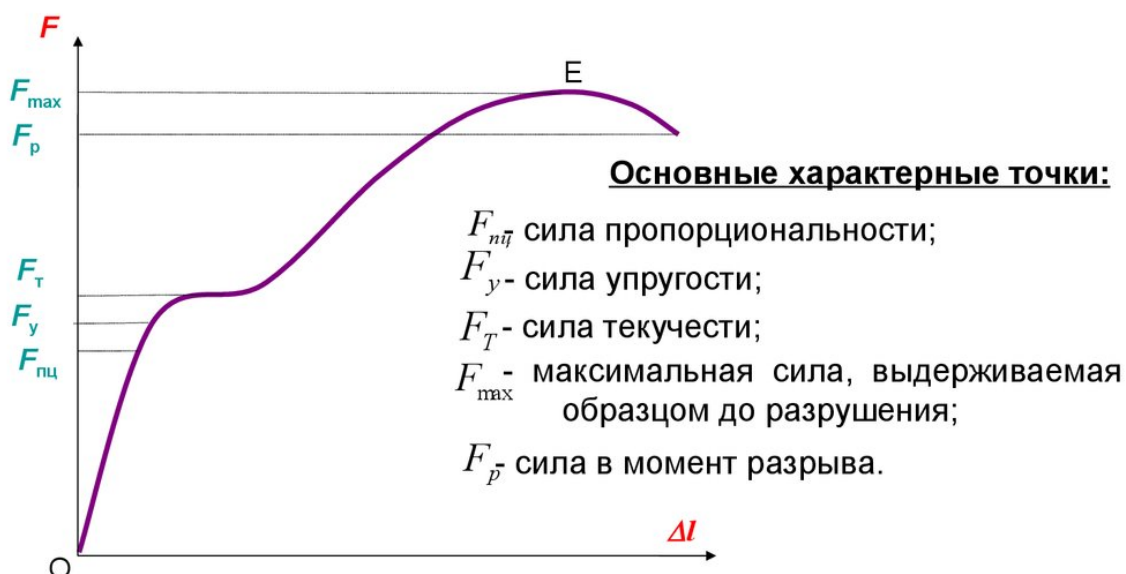
Полупроводниковые кристаллы позволяют создавать сложные *полупроводниковые приборы*, в том числе так называемые *интегральные схемы*. Сейчас достигнута такая степень интеграции, что миллионы отдельных элементов уместаются на площади размером в 1 см^2 ! Такое устройство как бы является единым кристаллом, и новую область техники не зря называют *твердотельной электроникой*.

Огромное значение для современной техники имеют магнитные материалы. Атомы (или часть атомов), из которых состоит магнитное тело, могут обладать *магнитным моментом*. Если взаимодействие между магнитными моментами велико, то они выстраиваются определенным образом и твёрдое тело переходит в ферромагнитное или антиферромагнитное состояние.

8.6. Диаграмма растяжения

Первичная диаграмма растяжения

(построена для образца из малоуглеродистой стали марки ВСт3).



Величина, характеризующая состояние деформированного тела, называется *механическим напряжением*. В любом сечении деформированного тела действуют силы упругости, препятствующие разрыву этого тела на части. Напряжением или, точнее, **механическим**

напряжением называют отношение модуля силы упругости F к площади поперечного сечения S тела.

$$s = F/S$$

В СИ за единицу напряжения принимается $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$, как и для давления.

В случае сжатия стержня напряжение аналогично давлению в газах и жидкостях. Для исследования деформации растяжения стержень при помощи специальных устройств подвергают растяжению, а затем измеряют удлинение образца и возникающее в нём напряжение. По результатам опытов вычерчивают график зависимости напряжения s от относительного удлинения e , получивший название диаграммы растяжения.

8.7. Закон Гука

Опыт показывает: **при малых деформациях напряжение s прямо пропорционально относительному удлинению e .** Эта зависимость, называемая **законом Гука**, записывается так:

$$s = E |e| \quad (1)$$

Относительное удлинение e в формуле (1) взято по модулю, так как закон Гука справедлив как для деформации растяжения, так и для деформации сжатия, когда $e < 0$.

Коэффициент пропорциональности E , входящий в закон Гука, называется модулем упругости или модулем Юнга. Модуль Юнга определяют по формуле (1), измеряя напряжение s и относительное удлинение e при малых деформациях.

Для большинства широко распространённых материалов модуль Юнга определён экспериментально. Так, для хромоникелевой стали $E = 2,1 \times 10^{11}$ Па, а для алюминия $E = 7 \times 10^{10}$ Па. Чем больше модуль Юнга, тем меньше деформируется стержень при прочих равных условиях (одинаковых F, S, l_0). Модуль Юнга характеризует сопротивляемость материала упругой деформации растяжения или сжатия.

Закон Гука, записанный в формуле (1), легко привести к виду, известному из курса физики IX класса.

Действительно, подставив в формулу (1) $s = F/S$ и $e = |D l|/l_0$, получим:

$$F/S = E \times |D l|/l_0$$

Отсюда

$$F = SE/l_0 \times |D l|. \quad (2)$$

Обозначим

$$SE/l_0 = k, \text{ тогда}$$

$$F = k|D l|. \quad (3)$$

Таким образом, *жесткость* к стержня прямо пропорциональна произведению модуля Юнга на площадь поперечного сечения стержня и обратно пропорциональна его длине.

8.8 Пределы пропорциональности и упругости

Мы уже говорили, что закон Гука выполняется при небольших *деформациях*, а, следовательно, при напряжениях, не превосходящих некоторого предела. Максимальное напряжение $\sigma_{п}$, при котором ещё выполняется закон Гука, называют пределом пропорциональности.

Если увеличивать нагрузку, то деформация становится нелинейной, напряжение перестанет быть прямо пропорциональным относительному удлинению. Тем не менее, при небольших нелинейных деформациях после снятия нагрузки форма и размеры тела практически восстанавливаются. Максимальное напряжение, при котором ещё не возникают заметные остаточные деформации (относительная остаточная деформация не превышает 0,1%), называют пределом упругости $\sigma_{уп}$. Предел упругости превышает предел пропорциональности лишь на сотые доли процента.

8.9. Предел прочности

Если внешняя нагрузка такова, что напряжение в материале превышает предел упругости, то после снятия нагрузки образец, хотя немного и укорачивается, но не принимает прежних размеров, а остаётся деформированным.

По мере увеличения нагрузки деформация нарастает всё быстрее и быстрее. При некотором значении напряжения удлинение нарастает практически без увеличения нагрузки. Это явление называют текучестью материала. Далее с увеличением деформации кривая напряжений начинает немного возрастать, и достигает максимума. Затем напряжение резко спадет, и образец нарушается. Таким образом, разрыв происходит после того, как напряжение достигает максимального значения $\sigma_{пч}$, называемого пределом прочности (образец растягивается без увеличения внешней нагрузки вплоть до разрушения). Эта величина зависит от материала образца и качества его обработки.

Сооружения или конструкции надёжны, если возникающие в них при эксплуатации напряжения в несколько раз меньше предела прочности.

Исследования растяжения (сжатия) твёрдого тела позволяют установить, от чего зависит коэффициент жесткости в законе Гука. Диаграмма растяжения, полученная экспериментально, даёт достаточно полную информацию о механических свойствах материала и позволяет оценить его прочность.

8.10. Пластичность, хрупкость и упругость

Упругость. Тело из любого материала при малых деформациях ведёт себя, как упругое. Его размеры и форма восстанавливаются при снятии нагрузки. В то же время все тела в той или иной мере могут испытывать пластические деформации.

Механические свойства материалов разнообразны. Такие материалы, как резина или сталь обнаруживают упругие свойства при сравнительно больших напряжениях и деформациях. Для стали, например, закон Гука выполняется вплоть до $\epsilon = 1\%$, а для резины - до десятков процентов. Поэтому такие материалы называют упругими.

Пластичность. У мокрой глины, пластилина или свинца область упругих деформаций мала. *Материалы, у которых незначительные нагрузки вызывают пластические деформации, называют пластичными.*

Деление материалов на упругие и пластичные в значительной мере условно. В зависимости от возникающих напряжений один и тот же материал будет вести себя или как упругий, или как пластичный. Так, при очень больших напряжениях сталь обнаруживает пластические свойства. Это широко используют при штамповке стальных изделий с помощью прессы, создающего огромную нагрузку.

Холодная сталь или железо с трудом поддаются ковке молотом. Но после сильного нагрева им легко придать посредствомковки любую форму. Свинец пластичный и при комнатной температуре, но приобретает ярко выраженные упругие свойства, если его охладить до температуры ниже -100 C^0 .

Хрупкость. Большое значение на практике имеет свойство твёрдых тел, называемое хрупкостью. Материал называют хрупким, если он разрушается при небольших деформациях. Изделия из стекла и фарфора хрупкие, так как они разбиваются на куски при падении на пол даже с небольшой высоты. Чугун, мрамор, янтарь также обладают повышенной хрупкостью, и, наоборот, сталь, медь, свинец не являются хрупкими.

У всех хрупких материалов напряжение очень быстро растёт с увеличением деформации, они разрушаются при весьма малых деформациях. Так, чугун разрушается при относительном удлинении $\epsilon \gg 0,45\%$. У стали же

при $\epsilon \gg 0,45\%$ деформация остаётся упругой и разрушение происходит при $\epsilon \gg 15\%$.

Пластичные свойства у хрупких материалов практически не проявляются.

9. Растворы и кристаллы

Зарождение и рост кристаллов. С миром кристаллов, чудесным и разнообразным, человек встречается на каждом шагу, например когда добавляет в чай мелкие кристаллики сахарного песка. Поваренная соль, без которой не обходится ни одна хозяйка, также состоит из отдельных маленьких частичек, хотя в природе встречаются большие прозрачные кристаллы каменной соли NaCl , немного похожие на хрусталь. Зимой лужи покрываются тонким слоем льда — это кристаллическая вода.

Многогранная натура кристаллов. Атомы, молекулы или ионы располагаются в кристаллических телах упорядоченно — в вершинах многогранников, а иногда в середине граней или в центре самого многогранника. Складывая вместе множество таких многогранников, можно получить кристалл в целом.

Французский ученый и морской офицер Огюст Браве (1811 — 1863) представил кристалл в виде решетки, в пересечениях прутьев которой размещаются слагающие ее частицы. Упорядоченное расположение частиц в узлах кристаллической решетки и придает кристаллу красивую, правильную и симметричную форму. В кристаллической решетке можно перемещаться в разных направлениях: вдоль, поперек, а также по диагонали. При этом количество частиц в узлах решетки, которые встречаются на пути, окажется разным. В этом причина анизотропии (от греч. «анизос» — «неравный» и «тропос» — «направление»; зависимость свойств от направления) кристалла. Например, значения электропроводности, показателя преломления, теплопроводности связаны с направлением, в котором они измерены.

У аморфных тел, частицы которых расположены в пространстве неупорядоченно, анизотропия отсутствует.

Как рождаются и растут кристаллы? Чтобы начался рост кристалла, необходимо прежде всего возникновение центра кристаллизации.

Как же он появляется? В совершенно прозрачном растворе, расплаве или в парах вещества протекает бурная «жизнь»: каждое мгновение частицы (ионы или молекулы) сталкиваются, и иногда при этом появляются мельчайшие зародыши будущего кристалла. Они недолговечны и, едва возникнув, разрушаются. Но однажды два-три зародыша, случайно столкнувшись, приобретают структуру элементарной ячейки — мельчайшего кристаллика вещества. Это скопление частиц уже не разрушается и начинает расти. Так появляется центр кристаллизации.

В его роли могут выступать и попавшие в раствор пылинки, дефекты поверхности сосуда, в котором находится раствор, либо внесенный извне кристаллик растворенного вещества. Это может быть и кристаллик другого вещества (при условии, что он обладает сходной кристаллической структурой).

Не все центры кристаллизации в конечном счете превращаются в кристаллы вещества. Крупные кристаллы продолжают расти, а более мелкие растворяются.

Совершенство формы и красота плоских граней кристаллов наводят на мысль, что эти «каменные цветы» растут слоями. Очень часто это действительно так, причем рост каждого слоя частиц начинается от центра грани кристалла. Большое увеличение позволяет увидеть ступеньки, размеры которых уменьшаются при переходе от этажа к этажу, как кольца в детской игрушке — пирамидке. Что произойдет, если какая-то частица вещества случайно попадет на грань мельчайшего кристалла, находящегося в пересыщенном растворе, расплаве или газе? Образовавшийся бугорок может положить начало новому слою, и весьма вероятно, что другие частицы устремятся именно сюда, обеспечивая формирование слоя и рост кристалла.

Кристалл растет быстрее, если частицы попадают на его поверхность не поодиночке, а целыми скоплениями, «толпами». Такие скопления затем разрастаются по горизонтали, покрывая поверхность кристалла, и в нем появляется новый слой частиц...

Кристаллы из вулканов и Озер. В природе кристаллы зарождаются и растут очень медленно. Все минералы и горные породы в недрах Земли образовались при кристаллизации магмы — расплавленной массы, насыщенной газами и перегретым водяным паром. При охлаждении магмы в первую очередь выделяется вещество с наиболее высокой температурой плавления (в отличие от аморфных тел, температура плавления кристаллических веществ имеет вполне определенное значение): образуются зародыши, постепенно вырастающие в правильные многогранники.

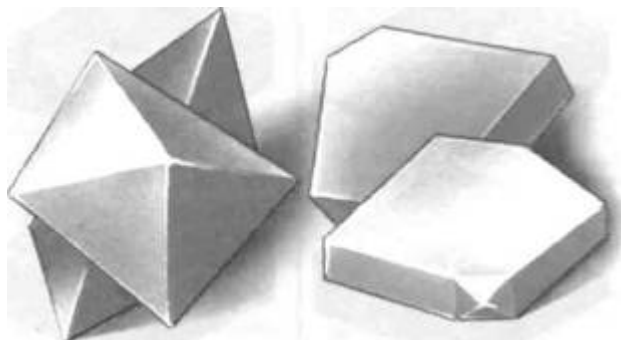
Когда они становятся достаточно большими и начинают мешать друг другу, вместо отдельных монокристалликов образуется их конгломерат, и тогда можно говорить о поликристаллической структуре. Вещество с более низкой температурой плавления дает мелкие кристаллы: ведь часть пространства уже занята выделениями высокоплавкого компонента.

В соляных озерах вода на вкус горько-соленая: ведь в ней растворены, помимо поваренной, и другие соли. Летом, когда светит солнце, часть воды испаряется, раствор становится перенасыщенным, а кристаллы солей выпадают в осадок, плавают на поверхности, оседают на любых предметах, попавших в такое озеро. Кристаллы хлорида натрия NaCl могут срастаться друг с другом.

Медленная кристаллизация в течение столетий приводит к образованию крупных кристаллов каменной соли (хлорида натрия). В пустыне Сахара сохранились развалины древнего города, возведенного из глыб этого

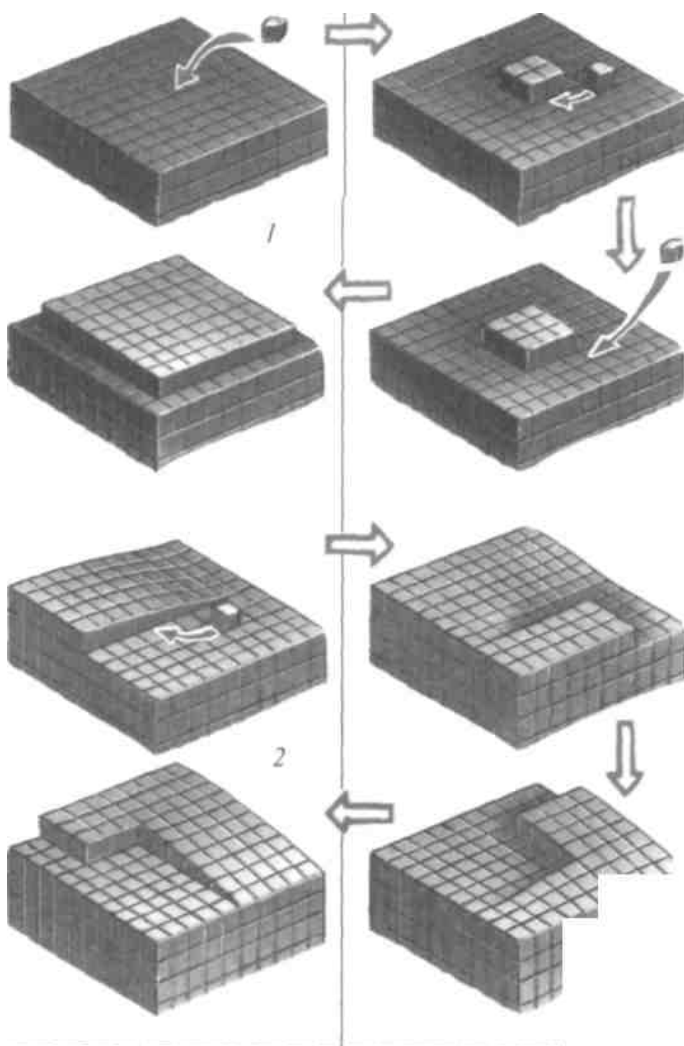
своеобразного строительного материала. Город простоял много лет, ведь в пустыне практически не бывает дождей.

Подобные явления происходят и в природных условиях. Например, самородная сера образуется при охлаждении паров, выделяющихся из кратеров или трещин вулканов. Аналогичен «жизненный путь» многих других веществ, входящих в состав минералов.



Кристаллы имеют правильную и красивую форму, например октаэдрическую (слева) или пластинчатую (справа).

При быстром охлаждении вещества могут кристаллизоваться из пара, минуя жидкое состояние. Тогда и в комнате может неожиданно пойти... снег! Подобный случай, кстати, был описан в «Санкт-Петербургских ведомостях» за 1773 г. Во время бала в помещении было настолько жарко и душно, что затянутые в корсет дамы начали падать в обморок. Один находчивый офицер выбил оконное стекло: ведь в этом зале форточек не было. Стало немного прохладнее, но, к изумлению присутствующих, от ворвавшегося морозного воздуха в зале хлопьями повалил снег...



Два типа роста кристаллов:

1— от центра грани; 2— ступеньками

Рукотворные драгоценности. Драгоценные камни всегда манили и привлекали к себе людей. Возникла задача «рукотворного» получения драгоценных камней. Синтез искусственного кварца основан на кристаллизации из раствора. Различные добавки позволяют получить настоящую россыпь драгоценных камней. Темно-дымчатая окраска кварца-мориона обусловлена примесью алюминия, причем готовые кристаллы подвергают рентгеновскому облучению для проявления окраски. Цвет голубого кварца (перунита) обусловлен примесями кобальта. Аметистовая окраска кварца вызывается атомами железа в необычной степени окисления + IV. Они замещают атомы кремния в кварце. При малом содержании ионов железа в кварце окраска искусственных аметистов бурая, а при высоком — зеленая. Цвет зависит даже от того, каким образом распределены атомы железа в кристалле. Для проявления аметистовой окраски кристаллы облучают.

10. Твердые растворы и жидкие кристаллы

Когда человек берет в руки ложку или вилку из нержавеющей стали или же, гуляя, проходит мимо бронзового памятника на бульваре, ему и в голову не приходит, какие удивительные вещества — металлические сплавы. А ведь это твердые растворы разных металлов друг в друге. Нержавеющая сталь, например, кроме железа содержит еще хром, никель и марганец, а бронза, помимо меди, включает олово и свинец.

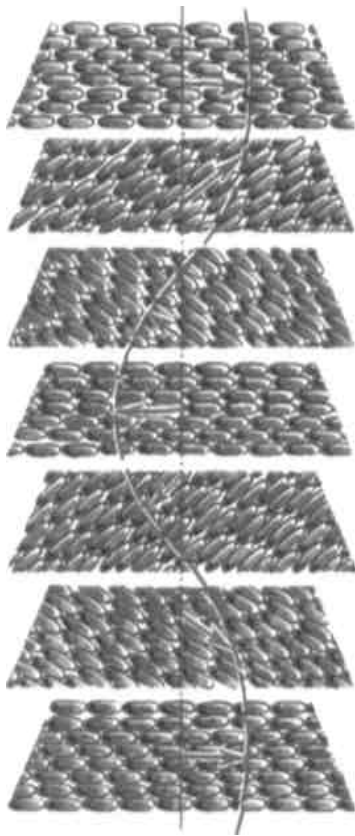
Металлические растворы. Твердые растворы получаются, когда в кристаллической решетке одного вещества — не обязательно металла — без изменения ее строения располагаются атомы или ионы другого вещества. Например, в кристалле металлического серебра Ag все атомы можно последовательно заменить атомами золота Au . Кристаллическая решетка при этом останется по существу прежней, только вместо одного металла (серебра) сначала получается ряд сплавов со все растущим содержанием золота и, наконец, второй металл (чистое золото). В этом случае химики говорят, что образуется «неограниченный твердый раствор» или что золото и серебро неограниченно растворимы друг в друге.

Химическая диковинка: жидкие кристаллы. Жидкие кристаллы действительно существуют — это вещества, обладающие свойствами и жидкостей, и кристаллов. Их даже нельзя считать «химической редкостью», поскольку из каждой тысячи новых органических веществ, синтезируемых в лабораториях мира, по крайней мере пять — жидкие кристаллы. По механическим свойствам это вещества более или менее текучие, а в оптическом отношении они в точности повторяют свойства кристаллов.

Жидкие «нити» и холестерин. Вторым типом жидкокристаллических веществ называется нематическим (от *греч.* «нема» — «нить»). Эти вещества содержат нитевидные частицы, которые либо прилипают к стенкам сосуда, либо остаются свободными. Эти нити выглядят «причесанными» и направлены параллельно друг другу, но могут скользить вверх и вниз. Подходящая аналогия для нематических жидких кристаллов — длинная коробка с короткими карандашами, которые могут свободно поворачиваться вокруг своей оси, перемещаться вдоль коробки, но никогда не встают поперек.

Столь своеобразное строение — причина совершенно необычных оптических свойств холестерических жидких кристаллов. Обычный (неполяризованный) свет, проходя через такие вещества, распадается на два луча, которые преломляются по-разному. Когда бесцветный, как вода, холестерический жидкий кристалл попадает в зону пространства с меняющейся температурой, он начинает принимать удивительно яркую окраску. Кристалл может стать сначала фиолетовым, затем голубым, зеленым, желтым, красным и, наконец, опять бесцветным.

Сейчас с жидкокристаллическими индикаторами человек сталкивается практически ежедневно, глядя на циферблаты электронных часов и калькуляторов, экран переносного компьютера — «ноутбука», электронные табло на вокзалах и в аэропортах, на рекламные щиты с «живым» изображением.



Колебания видимого света в слоях холестерического жидкого кристалла

Выращивание кристаллов. Можно за две-три недели вырастить красивые кристаллы твердых растворов солей и у себя дома. Для этого потребуются стеклянная банка, проволока и нитка, да еще необходимый запас солей, кристаллы которых вы собираетесь выращивать. Эффектно выглядят «доморощенные» кристаллы чистых алюмокалиевых и хромокалиевых кварцов (бесцветные либо фиолетовые октаэдрические многогранники), и очень хороши такие же октаэдрические кристаллы нежно-сиреневого цвета, которые вырастают из раствора смеси этих солей.

Сначала готовят как можно более концентрированный раствор соли или смеси солей и наливают его в банку, а потом с помощью проволочной перемычки подвешивают в растворе на нитке кристаллическую «затравку»-маленький кристаллик. На этой «затравке» и предстоит расти будущему экспонату коллекции кристаллов. Банку, не закрывая, ставят в теплое место. Когда кристалл станет достаточно большим, его вынимают, обсушивают мягкой тряпочкой или бумажной салфеткой, обрезают нитку и покрывают грани бесцветным лаком, чтобы предохранить от «выветривания» на воздухе.

11. Исследование. Измерение жёсткости пружины

Цель работы: найти жёсткость пружины из измерений удлинения пружины при различных значениях силы тяжести $F_T=mg$, уравновешивающей силу

упругости $F_{\text{упр}}$, на основе закона Гука: $k = \frac{F_{\text{упр}}}{X}$. В каждом из опытов жёсткость пружины определяется при разных значениях силы упругости и удлинения, т.е. условия опыта меняются. Поэтому для нахождения среднего значения жёсткости нельзя вычислить среднее арифметическое результатов измерений. Воспользуемся графическим способом нахождения среднего значения, который может быть применен в таких случаях. По результатам нескольких опытов построим график зависимости модуля силы упругости от модуля удлинения. При построении графика по результатам опыта экспериментальные точки могут не оказаться на прямой, которая соответствует формуле $F_{\text{упр}} = kx$. Это связано с погрешностями измерения. В этом случае график надо проводить так, чтобы примерно одинаковое число точек оказалось по разные стороны от прямой. После построения графика возьмите точку на прямой (в средней части графика), определите по нему соответствующие этой точке силы упругости и удлинения и вычислите жёсткость. Она и будет искомым средним значением жёсткости пружины. Результат измерения обычно записывается в виде выражения $k = k_{\text{ср}} \pm \Delta k$, где Δk — наибольшая абсолютная погрешность измерения. Из курса алгебры (VII класс) известно, что относительная погрешность (ε_k) равна отношению

абсолютной погрешности Δk к значению величины k :

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k},$$

откуда $\Delta k = \varepsilon_k k$. Существует правило для расчета относительной погрешности: если определяемая в опыте величина находится в результате умножения и деления приближенных величин, входящих в расчетную формулу, то относительные погрешности складываются. В данной работе

$$k = \frac{mg}{|x|}.$$

Поэтому $\varepsilon_k = \varepsilon_m + \varepsilon_g + \varepsilon_x \dots$ (1)

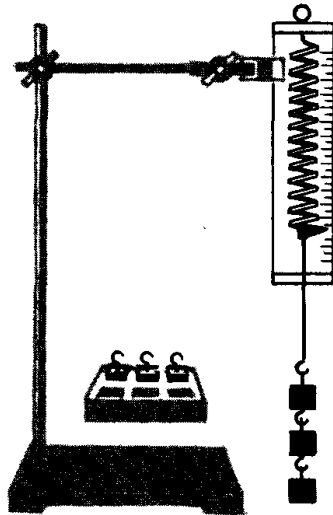
Средства измерения: 1) набор грузов, масса каждого равна $m_0 = 0,100$ кг, а погрешность $\Delta m_0 = 0,002$ кг; 2) линейка с миллиметровыми делениями.

Материалы: 1) штатив с муфтами и лапкой; 2) спиральная пружина.

Порядок выполнения работы

1. Закрепите на штативе конец спиральной пружины (другой конец пружины снабжен стрелкой-указателем и крючком — рис. 176).

Рис. 176



2. Рядом с пружиной или за ней установите и закрепите линейку с миллиметровыми делениями.
3. Отметьте и запишите то деление линейки, против которого приходится стрелка-указатель пружины.
4. Подвесьте к пружине груз известной массы и измерьте вызванное им удлинение пружины.
5. К первому грузу добавьте второй, третий и т. д. грузы, записывая каждый раз удлинение $|x|$ пружины. По результатам измерений заполните таблицу:

Номер опыта	m , кг	mg^1 , Н	$ x $, м

6. По результатам измерений постройте график зависимости силы упругости от удлинения и, пользуясь им, определите среднее значение жесткости пружины $k_{\text{ср}}$.
7. Рассчитайте наибольшую относительную погрешность, с которой найдено значение $k_{\text{ср}}$ (из опыта с одним грузом). В формуле (1)

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{0,002 \text{ кг}}{0,100 \text{ кг}} = 0,02; \quad \varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,02 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = 0,002;$$

так как погрешность при измерении удлинения $\Delta x = 1 \text{ мм}$, то

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1 \text{ мм}}{25 \text{ мм}} = 0,04.$$

8. Найдите $\Delta k = \varepsilon_k k_{\text{ср}}$ и запишите ответ в виде: $k = k_{\text{ср}} \pm \Delta k$.

1). Первая пружина.

№ опыта	m, кг	mg, Н	x, м
1	0,1	1	0,15
2	0,2	2	0,215
3	0,3	3	0,285
4	0,4	4	0,35

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{x} = \frac{2}{0,215} = 9,3 \text{ (Н/м)}$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon_g + \varepsilon_m + \varepsilon_x = 0,04 + 0,02 + 0,002 = 0,062$$

$$\Delta k = k * \varepsilon_k = 9,3 * 0,062 = 0,57$$

Ответ: $k = 9,3 \pm 0,57 \text{ (Н/м)}$

2). Вторая пружина.

№ опыта	m, кг	mg, Н	x, м
1	0,1	1	0,49
2	0,2	2	0,92
3	0,3	3	1,3
4	0,4	4	1,71

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{x} = \frac{2}{0,92} = 2,17 \text{ (Н/м)}$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon_g + \varepsilon_m + \varepsilon_x = 0,04 + 0,02 + 0,002 = 0,062$$

$$\Delta k = k * \varepsilon_k = 2,17 * 0,062 = 0,134$$

Ответ: $k = 2,17 \pm 0,134 \text{ (Н/м)}$

3). Третья пружина.

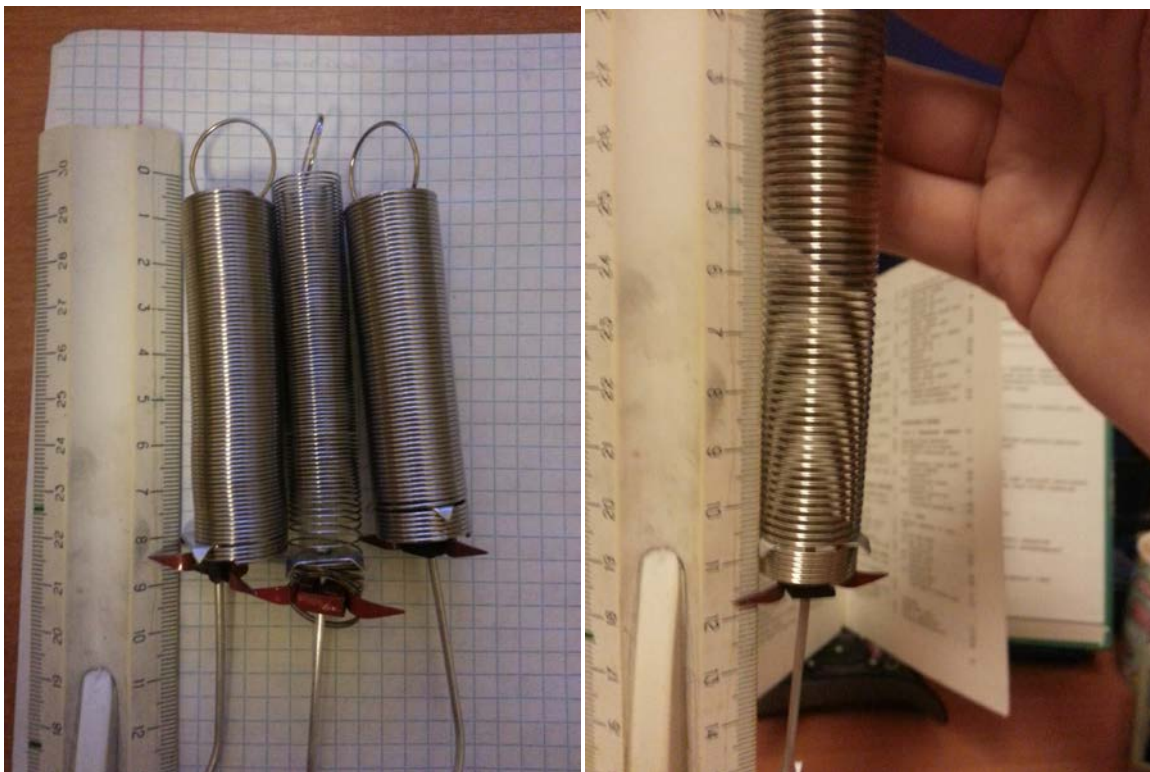
№ опыта	m, кг	mg, Н	x, м
1	0,1	1	0,116
2	0,2	2	0,156
3	0,3	3	0,196
4	0,4	4	0,233

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{x} = \frac{2}{0,132} = 15,15 \text{ (Н/м)}$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{g+} + \varepsilon_{m+} + \varepsilon_x = 0,04 + 0,02 + 0,002 = 0,062$$

$$\Delta k = k * \varepsilon_k = 15,15 * 0,062 = 0,93$$

Ответ: $k = 15,15 \pm 0,93$ (Н/м)



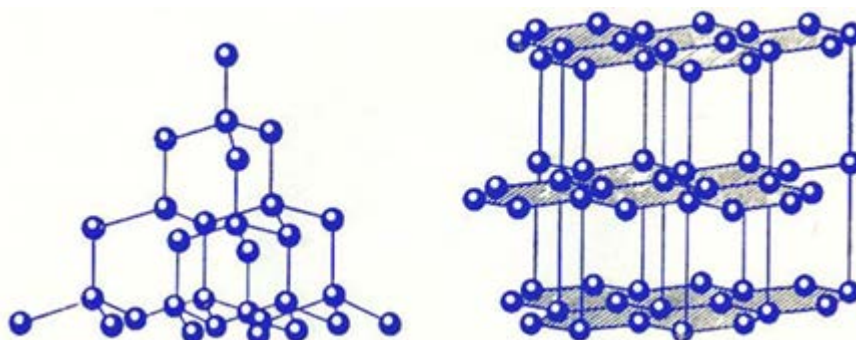
Выводы:

У всех пружин жёсткость оказалась разной, из этого можно сделать вывод, что коэффициент упругости зависит от некоторых геометрических характеристик пружин, т.к. пружины были разными по длине и площади поперечного сечения.

1. $k = \frac{F * S}{L}$ и если принять F за единицу (т.е. опыт с одним грузом), то $k = S$, если длина пружин одинаковая.
2. $K = 1/L$, если площади поперечного сечения пружин равны.
3. А также я научился правильно оформлять исследование.

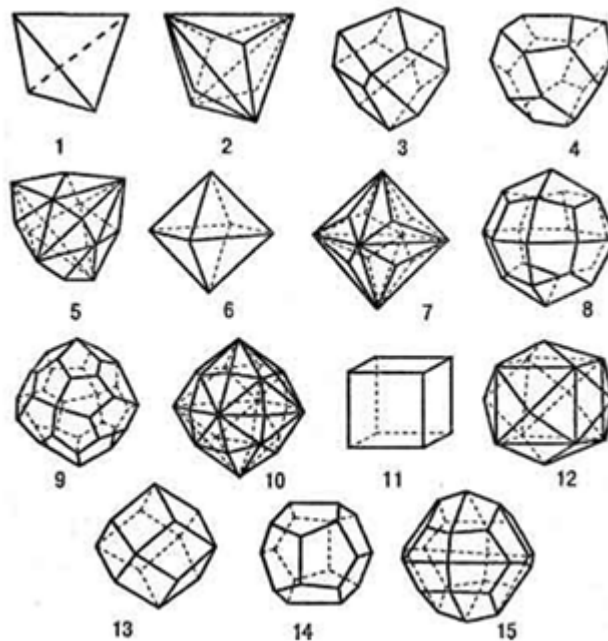
12. Кристаллография.

С древнейших времён и до наших дней человек активно использует природный камень. Строительная отрасль является одним из наиболее активных потребителей минерального сырья, но для его эффективного применения необходимо иметь полную информацию о свойствах вещества. Одной из самых важных и любопытных особенностей минералов считается способность их к образованию замкнутых многогранников — кристаллизации. Декоративность, устойчивость к химическому и механическому воздействию и множество других характеристик минерала зависит не только от сочетания химических элементов в его составе, но и от расположения частиц в пространстве. Именно этим объясняется разница в свойствах, например, графита и алмаза.



Кристаллические решётки алмаза (слева) и графита (справа)

Исследованием свойств кристаллов занимается наука кристаллография. Владея знаниями в этой области, можно наиболее точно идентифицировать минеральные вещества, поэтому при изучении дисциплины «Геология» в учебный план включаются основы кристаллографии. Я узнал, что при благоприятных условиях окружающей среды различные вещества могут образовать замкнутые многогранники — кристаллы.



Кристаллы минералов

Каждое конкретное вещество, обладающее способностью самоограняться, может образовать кристаллы разной формы.



Кристаллы разного облика, сформированные одним минеральным веществом — минералом пиритом

Кристаллы одного минерального вещества могут выглядеть по-разному, но все они подчиняются одному из фундаментальных законов кристаллографии — закону Стено (Николаус Стено, 1638—1686, датский естествоиспытатель). Он гласит: «У всех кристаллов данного вещества при

данных температуре и давлении двугранные углы между соответствующими гранями кристаллов (вне зависимости от размеров и формы граней) всегда одинаковы». Таким образом, по осколку кристалла можно идентифицировать минерал, измерив углы между его гранями. Но отсюда вытекает ещё один вывод: даже повреждённый кристалл в благоприятной для роста среде принимает форму, характерную именно для этого минерала.

Данное утверждение вызвало у меня большой интерес. С одной стороны, я не стал бы подвергать сомнению слова великих учёных, работавших над законом постоянства двугранных углов. Но хотелось самому понаблюдать над этим процессом. Поэтому я провел исследование (Пункт 13).

13. Исследование. Наблюдение роста кристаллов из раствора.

Оборудование: дистиллированная вода, стакан, контейнер для медного купороса, стеклянная палочка, насыщенный медного купороса.

Цель: исследовать способ выращивания кристаллов медного купороса, основанного на испарении насыщенного раствора при постоянной температуре; сравнить величины двугранных углов полученного кристалла с выверенными для медного купороса величинами двугранных углов.

Ход работы:

Схема опыта по росту кристаллов для медного купороса и поваренной соли идентична, поэтому ниже приведен алгоритм, которым можно пользоваться для обоих опытов.

1. Взять порошок сульфата меди (натрия хлорида) и чистый стакан с горячей дистиллированной (практически кипящей) водой.
2. Всыпать порошок медного купороса (натрия хлорида) в воду, размешивая стеклянной палочкой. Затем всыпать ещё, и снова размешать. И так до тех пор, пока порошок не перестанет растворяться. Если это необходимо, профильтровать полученный раствор.



3. Завязать на конце нитки узелок (или привязать бисеринку), другой конец нитки привязать к деревянной палочке и опустить узелок в воду, так, чтобы он не касался дна.

4. Поставить в такое место, где раствор будет медленно остывать (тогда кристаллы получатся правильной формы). Когда раствор совсем остынет, убирать в тёмное прохладное место. Через пару дней на нитке появятся маленькие кристаллы-затравки.

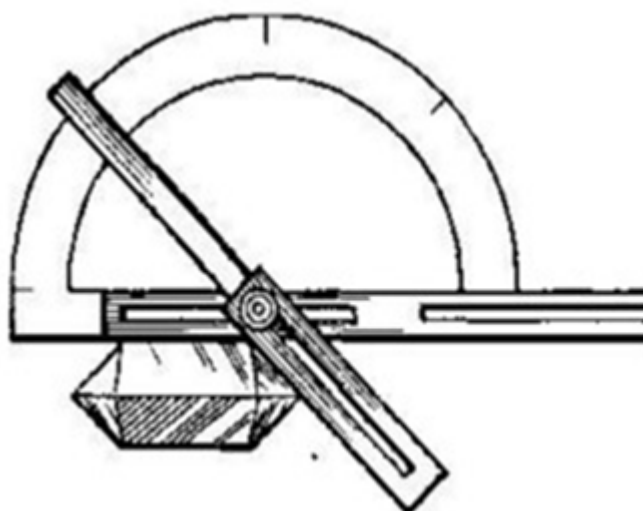


5. Вынуть кристаллы. Если размер вам достаточный, то обработать их бесцветным лаком для предотвращения разрушения. Если же нет, то вылить старый раствор и повторить процедуру со стаканом и раствором снова, когда раствор остынет, поместить маленькие кристаллы в этот новый раствор и ждать их роста дальше.

Следует отметить, что от объема стакана и количества порошка зависит размер кристалла.



Вторая задача, которую нужно было решить — сравнение величин двугранных углов. Для их замера используют различные приборы и приспособления, простейшим из которых является прикладной гониометр.



Прикладной гониометр

Известно, что для кристаллов медного купороса, а так же для его природного аналога — минерала халькантита, характерны следующие величины двугранных углов: $\alpha=97^{\circ}44'$; $\beta=125^{\circ}20'$; $\gamma=94^{\circ}19'$.



Двугранные углы кристалла медного купороса

Выборочные замеры показали, что у полученных в результате опыта кристаллов двугранные углы практически соответствуют указанным величинам.



Итог: я вырастил кристалл медного купороса 7,5см. в длину, 5,5 см. в ширину и 3см. в высоту. Так же я пробовал вырастить кристалл железного купороса, но, к сожалению, он растворился. Двугранные углы полученного кристалла, практически точно, соответствуют характерным величинам для медного купороса.



14. Заключение

В ходе работы я исследовал тему «Твердые тела и их свойства» и изучил законы связанные с ней, которые не раскрыты в полной мере в учебнике физики. Я исследовал свойства кристаллических, аморфных тел и жидких кристаллов. Провёл исследование упругих свойств разных пружин и измерил их жёсткость (коэффициент упругости). Я установил зависимость коэффициента упругости от геометрических характеристик пружин. Провёл эксперимент по выращиванию кристаллов в домашних условиях.

15. Список литературы

1. Кабардин О. Ф., Кабардин С. И., Шефер Н. И. Факультативный курс физики. Учеб. пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1986.
2. Конева Н. А. Природа стадий пластических деформаций. Соросовский образовательный журнал, № 10, 1998.
3. Ландау Л. Д., Ахиезер А. И., Лифшиц Е. М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика, М.: Наука, 1969.
4. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов.– М.: Наука, 1978.
5. Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев Физика X 1990г.
6. В.А.Чуянов Энциклопедический словарь юного физика 1984г.
7. Кантор Б.З. Минерал рассказывает о себе. — М.: Недра, 1985. — 135 с., ил. 60.
8. Лазаренко Е.К. Курс минералогии. Учебник для студентов. — М.: Высшая школа. 1971. — 608 с.