

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики и физики»

Экспериментальная физика

Кристаллы в природе. Выращивание кристаллов

Митянина Ангелина, Сукрушева
Екатерина,
9 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Пермь

Гольдштейн И.Г., учитель физики

г. Пермь. 2017

КРИСТАЛЛЫ В ПРИРОДЕ

ВВЕДЕНИЕ: нам стала интересна тема кристаллов, так как это очень красивые природные тела. Мы предполагали, что будет достаточно интересно наблюдать за тем, как из маленькой крупинки вырастает прозрачный кристалл темно-синего цвета.

Вопрос о происхождении большинства минералов в природе тесно связано сложной проблемой происхождения и развития Земли. Многие минералы и горные породы образовались при охлаждении земной коры подобно тому, как образуется лед при замерзании воды. При охлаждении магмы сначала в ней образовались кристаллы того вещества, температура кристаллизации, которого самая высокая. По мере дальнейшего охлаждения происходила кристаллизация других минералов, обладающих меньшей температурой кристаллизации, и так до тех пор, пока вся магма не затвердела. Так, в частности, могли образовываться такие распространенные породы, как граниты. Чем медленнее понижалась температура магмы, т. е. чем дольше росли кристаллы, тем крупнозернистее получался минерал. Мелкозернистые же минералы образовались при более быстром охлаждении, а при очень быстром охлаждении магмы, например при ее выбросах, на поверхность Земли во время извержения вулканов, она затвердела раньше, чем начали расти кристаллы.

Никто не видел, как образуется зародыш кристалла в растворе или расплаве. Можно высказать предположение, что беспорядочно движущиеся атомы или молекулы случайно могут расположиться в таком порядке, какой соответствует кристаллической решетке. В результате при росте кристаллов на их поверхности самопроизвольно возникают плоские грани, а сами кристаллы принимают разнообразную геометрическую форму. Если раствор не насыщен или температура расплава выше температуры кристаллизации, то зародыши образуются и тут же растворяются или разрушаются тепловым движением. В перенасыщенном растворе или в расплаве, охлажденном до

температуры ниже температуры кристаллизации, скорость роста зародыша превышает скорость его разрушения.

В зависимости от строения, кристаллы делятся на ионные, ковалентные, молекулярные и металлические.

Ионные кристаллы построены из чередующихся катионов и анионов, которые удерживаются в определенном порядке силами электростатического притяжения и отталкивания.

Пример ионного кристалла кристалл из NaCl.



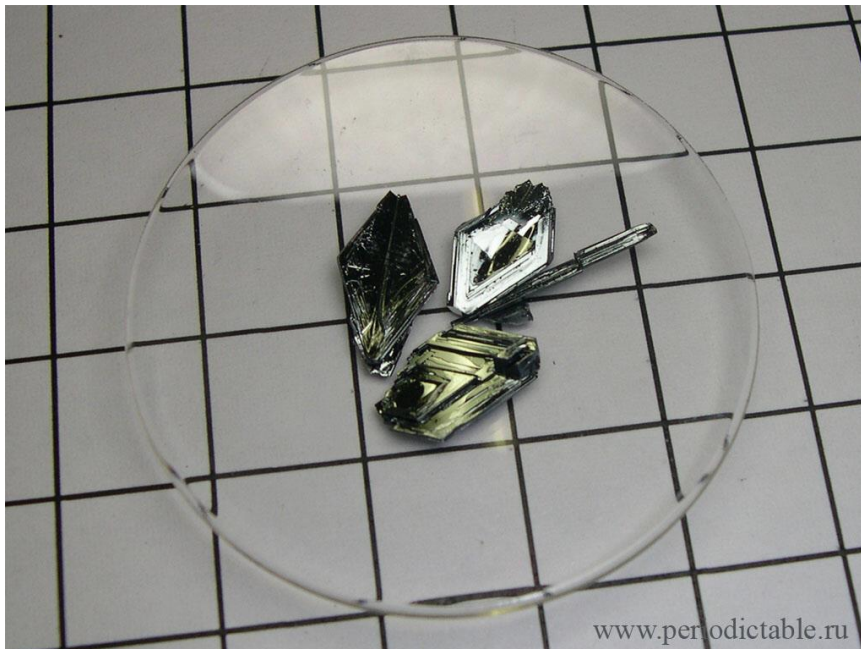
В ковалентных кристаллах (их еще называют атомными) в узлах кристаллической решетки находятся атомы, одинаковые или разные, которые связаны ковалентными связями.

Пример ковалентного кристалла из мышьяка.



Молекулярные кристаллы построены из изолированных молекул, между которыми действуют сравнительно слабые силы притяжения. В результате такие кристаллы имеют намного меньшие температуры плавления и кипения, твердость их низка.

Пример молекулярного кристалла из йода.



Металлические кристаллы образуют чистые металлы и их сплавы. Такие кристаллы можно увидеть на изломе металлов, а также на поверхности оцинкованной жести. Кристаллическая решетка металлов образована катионами, которые связаны подвижными электронами («электронным газом»). Такое строение обуславливает электропроводность, ковкость, высокую отражательную способность (блеск) кристаллов. Пример металлического кристалла из золота.



Все кристаллические соединения можно разделить на моно- и поликристаллические. Монокристалл представляет собой монокристалл с единой ненарушенной кристаллической решеткой. Природные монокристаллы больших размеров встречаются очень редко. Большинство кристаллических тел являются поликристаллическими, то есть состоят из множества мелких кристалликов, иногда видных только при сильном увеличении.

Каждое кристаллическое вещество имеет определенную свойственную ему внешнюю форму кристалла. Например, для хлорида натрия эта форма – куб, для алюмокалиевых квасцов – октаэдр. И даже если сначала такой кристалл имел неправильную форму, он все равно рано или поздно превратится в куб или октаэдр. Более того, если кристалл с правильной формой специально испортить, например, отбить у него вершины, повредить ребра и грани, то при дальнейшем росте такой кристалл начнет самостоятельно «залечивать» свои повреждения. Происходит это потому, что «правильные» грани кристалла растут быстрее, «неправильные» – медленнее. Чтобы убедиться в этом, был проведен такой опыт: из кристалла поваренной соли выточили шар, а потом поместили его в насыщенный раствор NaCl; через некоторое время шар сам постепенно превратился в куб!

Если процесс кристаллизации идет не слишком быстро, а частицы обладают удобной для укладки формой и высокой подвижностью, они легко находят свое место. Если же резко снизить подвижность частиц с низкой симметрией, то они «застывают» как попало, образуя прозрачную массу, похожую на стекло. Такое состояние вещества так и называют – стеклообразным.

Несколько индивидов, развивающихся из расположенных по соседству центров кристаллизации, срастаются в агрегат минералов. Из всего

многообразия агрегатов более всего коллекционеров интересуют друзы, вырастающие в свободном пространстве из произвольно расположенных зародышей. В процессе друзового роста индивиды развиваются независимо друг от друга и сохраняют форму одиночных кристаллов.

С течением времени растущие индивиды начинают стеснять друг друга. Возможность дальнейшего развития сохраняют лишь те из них, которые растут в сторону свободного пространства, т. е. перпендикулярно поверхности нарастания агрегата. Это явление носит название геометрического отбора. В результате самоупорядочения ориентировки индивидов друза перерастает в параллельно-шестоватый агрегат. Его свободная поверхность, образованная головками кристаллов, называется щеткой.

Поэтому ясно, почему крупные друзы встречаются нечасто: по мере роста увеличивается вероятность вырождения друзы в параллельно-шестоватый агрегат. Для образования крупных друз нужно, чтобы центры кристаллизации были немногочисленны и расположены не слишком близко друг к другу (достаточно сильно удалены). Условия, благоприятные для продолжительного друзового роста и образования крупных кристаллов, обычно обеспечиваются только при достаточно медленной кристаллизации. При чрезмерно быстрых процессах образуются мелкие и очень мелкие агрегаты и кристаллы (вплоть до микронных).

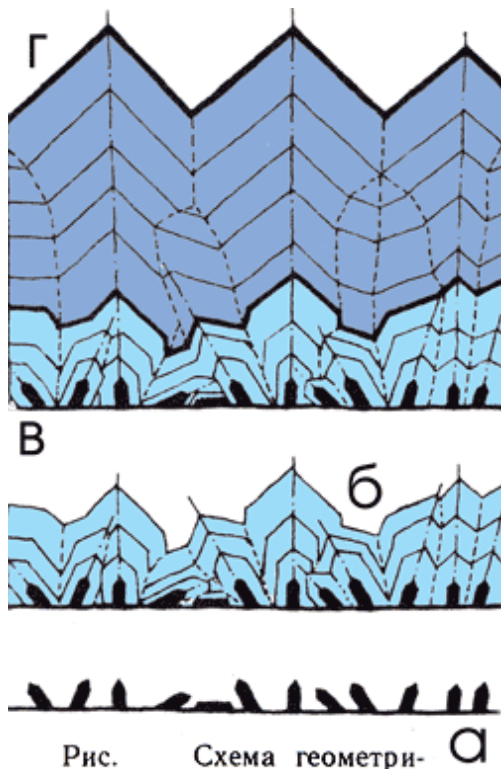


Рис. Схема геометрического отбора:
a — рост отдельных кристаллов;
б — срастание в друзу; *в* — параллельно-шестоватый агрегат;
г — шетка

Особую роль в процессе роста кристалла играют несовершенства его структуры, называемые дислокациями (смещениями).

Точечные дефекты – это нарушение кристаллической решётки в изолированных друг от друга точках. Так, к точечным дефектам относятся вакансии, т. е. такие узлы решётки, в которых нет атомов (дырки). Точечными дефектами могут быть атомы внедрения, т. е. лишние атомы, поместившиеся в промежутках между атомами, расположенными в узлах кристаллической решётки. Это могут быть и примеси (инородные атомы), занимающие места в решётке. Размеры точечных дефектов равны примерно диаметру атома.

Каковы же причины образования дефектов? В результате теплового движения атомов и их взаимодействия возможны отклонения (флуктуации)

энергии отдельных атомов от среднего значения, при котором атом удерживается в узле кристаллической решётки.

При этом большие отклонения от средней величины менее вероятны, чем малые отклонения. Однако большие отклонения, превышающие среднее значение энергии на несколько порядков, всё-таки возможны.

Дефекты могут появиться также в процессе роста кристалла.

Итак, образование точечных дефектов возможно в процессе роста кристалла и из-за флуктуации энергии.

Экспериментально подтверждает наличие точечных дефектов в кристаллах явление диффузии в твёрдых телах.

На самом деле, в кристалле без дефектов никакой диффузии не должно было бы быть. Если атомы колеблются около узлов кристаллической решетки и не «покидают» эти положения, то не может быть проникновения атомов одного кристалла в другой.

Между тем установлено, что диффузия в твердых телах происходит, хотя и в меньших масштабах, чем в газах и жидкостях. Особенно интересно, что интенсивность этого процесса растет с увеличением температуры.

Как же объясняет явление диффузии в кристаллах современная теория строения твёрдого тела? Согласно этой теории диффузия в кристаллах происходит за счёт движения атомов внедрения, движения вакансии или какого-либо обмена местами между атомами. Для того чтобы атомы внедрения «перебрались» в другие промежутки между узлами, а вакансии – в другие узлы, необходимо, чтобы атомы, составляющие непосредственное окружение точечного дефекта, «расступились». При повышении температуры атомы «расступаются» чаще и дефекты перемещаются по кристаллу быстрее, а следовательно, и процесс диффузии происходит

быстрее. Кроме того, с ростом температуры увеличивается и число точечных дефектов.

Интересно происхождения слова «кристалл» (оно звучит почти одинаково во всех европейских языках). Много веков назад среди вечных снегов в Альпах, на территории современной Швейцарии, нашли очень красивые, совершенно бесцветные кристаллы, очень напоминающие чистый лед. Древние натуралисты так их и называли – «кристаллос», по-гречески – лед; это слово происходит от греческого «криос» – холод, мороз. Полагали, что лед, находясь длительное время в горах, на сильном морозе, окаменевают и теряют способность таять. Один из самых авторитетных античных философов Аристотель писал, что «кристаллос рождается из воды, когда она полностью утрачивает теплоту». Римский поэт Клавдиан в 390 то же самое описал стихами:

Ярой альпийской зимой лед превращается в камень.

Солнце не в силах затем камень такой растопить.

Аналогичный вывод сделали в древности в Китае и Японии – лед и горный хрусталь обозначали там одним и тем же словом. И даже в 19 в. поэты нередко соединяли воедино эти образы:

Едва прозрачный лед, над озером тускнея,

Кристаллом покрывал недвижные струи.

А.С.Пушкин. *К Овидию*

Кристалл представляет собой правильную трехмерную решетку, составленную из атомов или молекул. Структура кристалла – это пространственное расположение его атомов (или молекул). Геометрия такого расположения подобна рисунку на обоях, в которых основной элемент

рисунка повторяется многократно. Одинаковые точки можно расположить на плоскости пятью разными способами, допускающими бесконечное повторение. Для пространства же имеется 14 способов расположения одинаковых точек, удовлетворяющих требованию, чтобы у каждой из них было одно и то же окружение. Это пространственные решетки, называемые также решетками Браве по имени французского ученого О. Браве, который в 1848 доказал, что число возможных решеток такого рода равно 14.

В зависимости от строения, кристаллы делятся на ионные, ковалентные, молекулярные и металлические.

Ионные кристаллы построены из чередующихся катионов и анионов, которые удерживаются в определенном порядке силами электростатического притяжения и отталкивания.

В ковалентных кристаллах (их еще называют атомными) в узлах кристаллической решетки находятся атомы, одинаковые или разные, которые связаны ковалентными связями.

Молекулярные кристаллы построены из изолированных молекул, между которыми действуют сравнительно слабые силы притяжения. В результате такие кристаллы имеют намного меньшие температуры плавления и кипения, твердость их низка.

Металлические кристаллы образуют чистые металлы и их сплавы. Такие кристаллы можно увидеть на изломе металлов, а также на поверхности оцинкованной жести. Кристаллическая решетка металлов образована катионами, которые связаны подвижными электронами («электронным газом»). Такое строение обуславливает электропроводность, ковкость, высокую отражательную способность (блеск) кристаллов.

Все кристаллические соединения можно разделить на моно- и

поликристаллические. Монокристалл представляет собой монокристалл с единой ненарушенной кристаллической решеткой. Природные монокристаллы больших размеров встречаются очень редко. Большинство кристаллических тел являются поликристаллическими, то есть состоят из множества мелких кристалликов, иногда видных только при сильном увеличении.

Каждое кристаллическое вещество имеет определенную свойственную ему внешнюю форму кристалла. Например, для хлорида натрия эта форма – куб, для алюмокалиевых квасцов – октаэдр. И даже если сначала такой кристалл имел неправильную форму, он все равно рано или поздно превратится в куб или октаэдр. Более того, если кристалл с правильной формой специально испортить, например, отбить у него вершины, повредить ребра и грани, то при дальнейшем росте такой кристалл начнет самостоятельно «залечивать» свои повреждения. Происходит это потому, что «правильные» грани кристалла растут быстрее, «неправильные» – медленнее. Чтобы убедиться в этом, был проведен такой опыт: из кристалла поваренной соли выточили шар, а потом поместили его в насыщенный раствор NaCl; через некоторое время шар сам постепенно превратился в куб!

Если процесс кристаллизации идет не слишком быстро, а частицы обладают удобной для укладки формой и высокой подвижностью, они легко находят свое место. Если же резко снизить подвижность частиц с низкой симметрией, то они «застывают» как попало, образуя прозрачную массу, похожую на стекло. Такое состояние вещества так и называют – стеклообразным.

Несколько индивидов, развивающихся из расположенных по соседству центров кристаллизации, срастаются в агрегат минералов. Из всего многообразия агрегатов более всего коллекционеры интересуют друзы, вырастающие в свободном пространстве из произвольно расположенных

зародышей. В процессе друзового роста индивиды развиваются независимо друг от друга и сохраняют форму одиночных кристаллов.

С течением времени растущие индивиды начинают стеснять друг друга. Возможность дальнейшего развития сохраняют лишь те из них, которые растут в сторону свободного пространства, т. е. перпендикулярно поверхности нарастания агрегата. Это явление носит название геометрического отбора. В результате самоупорядочения ориентировки индивидов друза перерастает в параллельно-шестоватый агрегат. Его свободная поверхность, образованная головками кристаллов, называется щеткой.

Поэтому ясно, почему крупные друзы встречаются нечасто: по мере роста увеличивается вероятность вырождения друзы в параллельно-шестоватый агрегат. Для образования крупных друз нужно, чтобы центры кристаллизации были немногочисленны и расположены не слишком близко друг к другу (достаточно сильно удалены). Условия, благоприятные для продолжительного друзового роста и образования крупных кристаллов, обычно обеспечиваются только при достаточно медленной кристаллизации. При чрезмерно быстрых процессах образуются мелкие и очень мелкие агрегаты и кристаллы (вплоть до микронных).

Время роста кристалла зависит от температуры и концентрации минералообразующей среды, скорости пополнения ее кристаллизующимся веществом, темпов реакций минералообразования. В кристаллизации могут наступать перерывы, рост кристаллов может сменяться их растворением. Для вырастания больших и маленьких индивидов требуется разное время, поэтому правильнее говорить о скорости роста минералов. Природные кристаллы растут из подвижных сред - растворов, расплавов, паров. Даже когда кристалл образуется в твердой среде, рост происходит за счет окружающего его микроскопически тонкого "чехла" питающего раствора.

ЧТО МНЕ ПОНАДОБИЛОСЬ: медный купорос (500гр), емкости по 850гр (2 штуки), емкость объемом 2,5л, кипятик, нитка, воронка с салфеткой (фильтр).

ХОД РАБОТЫ: я взяла емкость в 850гр, по частям сыпала туда купорос, постепенно заливая кипятком, объем получился полностью заполненным. Далее, в емкость, объемом 3л, я сделала из воронки и салфетки фильтр, затем начала переливать (по частям) растворенный уже медный купорос. После того, как я закончила эту манипуляцию, я поставила «готовое» на плитку (пол), оставив на сутки. Спустя уже 5 часов, на дне банки начали образовываться кристаллики, позже образовав собой целую цепь и заполнив все дно. Через сутки я провела следующие действия: вылила все содержимое из 3литровой банки в 2 по 850гр, а кристаллики, образовавшиеся на дне, я изъела, с целью получения затравки для выращивания. Через ранее сделанный фильтр я пропустила всю жидкость. После этого взяла кристаллик (затравку), привязала его на обыкновенную нитку для шитья, и через отверстие в воронке опустила получившуюся конструкцию в содержимое в банке, поставив банку на прежнее место (плитка). В течение недели я наблюдала за ним.

ВРЕМЯ	1 ребро, мм	2 ребро, мм	3 ребро, мм	4 ребро, мм	Длина всего крист., см	Ширина всего крист, см
31.01.17 20:00	2	3	1	3	1	1,5
01.02.17 19:30	5	4	3	6	2,2	2,7
02.02.17 17:45	6	7	5	8	3,1	3,6
03.02.17 21:00	8	8	6	9	3,7	4,2
04.02.17 16:25	9	10	10	11	4,7	5,4

05.02.17	10	12	11	12	5,2	5,7
12:00						

На седьмой день произошло разрушение кристаллической решетки, кристалл упал на дно банки и сломался, это произошло из-за того, что я фильтровала раствор и процентное содержание купороса в нем становилось меньше. Потом я начала новый опыт другим способом, которым растила моя напарница.

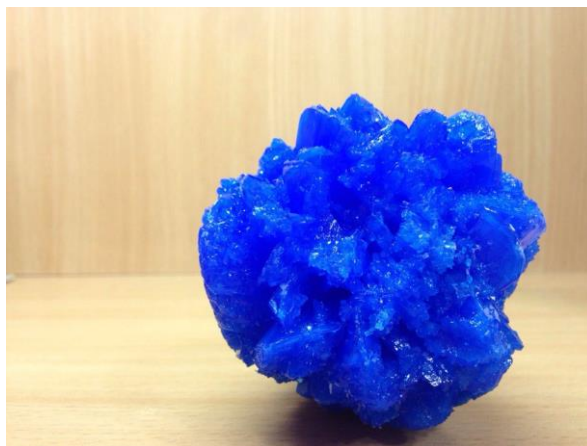


ЧТО МНЕ ПОНАДОБИЛОСЬ: стеклянная банка (500 мл), медный купорос (400 гр), карандаш, х/б нить, деревянная палочка.

ХОД РАБОТЫ: я взяла стеклянную банку, налила туда кипяченую воду и засыпала туда 100 грамм медного купороса. Поставила все это на водяную баню, довела воду до кипения, помешивая купорос, он растворился. Пока вода вскипала, я завязала узелок на одном конце нити, а другой конец привязала к карандашу. После того, как я сняла банку с водяной бани и сразу же опустила туда нитку. Через 30 минут на поверхность воды начали подниматься кристаллы. И через 30 минут я первый раз его измерила.

ВРЕМЯ	1	2	3	4	5	Длина	Ширина
	ребро,	ребро,	ребро,	ребро,	ребро,	всего	всего
	мм	мм	мм	мм	мм	крист.,	крист.,
						См	См

31.01.17	4	3	2	2	1	1,7	2
19:00							
19:30	7	5	3	2	3	1,9	2,2
20:00	7	5	4	3	3	2	2,2
20:30	8	5	4	4	3	2,1	2.5
21:00	9	6	6	5	5	2,4	2,6



После этого раствор остыл, а образовались кристаллы на дне. Я профильтровала раствор, предварительно достав оттуда кристалл, и снова подогрела раствор. Опустила туда кристалл. Потом жидкость опять остыла, и я снова повторила все вышеописанные действия. На кристалл начали налипать новые частицы, те ребра которые я мерила ранее, покрылись этими частицами и их стало не видно. Измерять их стало не возможно.

ЧТО НАМ ПОНАДОБИЛОСЬ: пищевая поваренная соль (500 грамм), 3 банки (500 мл), бусинка, х/б нить, карандаш, кастрюля.

ХОД РАБОТЫ: Мы взяли 3 банки по 500 мл и налили туда 250 мл горячей, кипяченой воды. После этого мы поставили банки в кастрюлю с горячей водой, чтобы температура воды медленнее падала. Добавили в каждую банку столовую ложку соли и перемешивали все до тех пор, пока соль не растворилась. Далее мы повторяли все действия до тех пор, пока соль не

перестала растворяться. У нас получился насыщенный раствор соли. В одну из банок мы опустили карандаш и поставили банку на стол, где нет никаких электрических приборов, в другую мы опустили просто нитку с завязанным узелком на конце и поставили банку на подоконник, а в последнюю мы опустили бусинку привязанную на нитке и поставили эту банку под батарею. Таким образом у нас получились разные условия для выращивания кристаллов.

Кристал, который растёт на палочке и в то же время стоит на столе при комнатной температуре образовывался не в самом насыщенном растворе соли, а над ним.

Кол-во раз добавления ещё соли, разы	Толщина стенок кристалл, см
Первый	2
Второй	4
Третий	5
Четвёртый	7
Пятый	7,5
Шестой	8



Второй соляной кристалл стоял на подоконнике, где температура на несколько градусов ниже чем в комнате. Он рос на нитке.

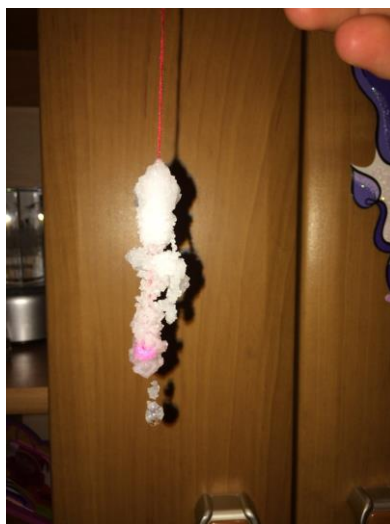
Кол-во раз добавления ещё соли, разы	Толщина стенок кристалл, см
Первый	2

Второй	2
Третий	3
Четвёртый	5
Пятый	5,5
Шестой	6



Третий кристалл, на бусинке, привязанной на нитке, под батареей.

Кол-во раз добавления ещё соли, разы	Толщина стенок кристалл, см
Первый	2,3
Второй	2,7
Третий	3
Четвертый	3,5
Пятый	4,2
Шестой	5



ВЫВОД: кристаллы из медного купороса лучше растут вторым способом. Эти кристаллы можно вырастить любому, кто захочет сделать, например, красивей свой дом. Или кристаллы могут выступать в качестве подарка кому-нибудь. Плюсы в том, что это достаточно не трудно сотворить, и особо не затратно. Кристаллы из хлорида натрия растут лучше в теплых условиях(в данном случае, под батареей) и на бусинке. На палочку частицы сами по себе плохо прилипают, хотя и в обычных условиях. А на нить плохо, так как кристалл рос на холоде и испаряемость была хуже.