

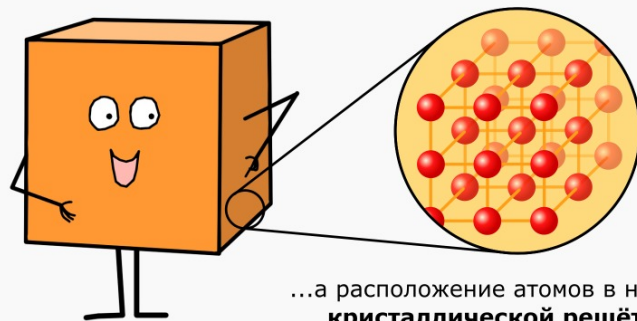


# Кристаллофотоника

Привет, друзья!  
Мы — ученые из Лаборатории кристаллофотоники!



Если в твердом теле атомы стоят в повторяющемся порядке, то такое твердое тело называют **кристаллом**...

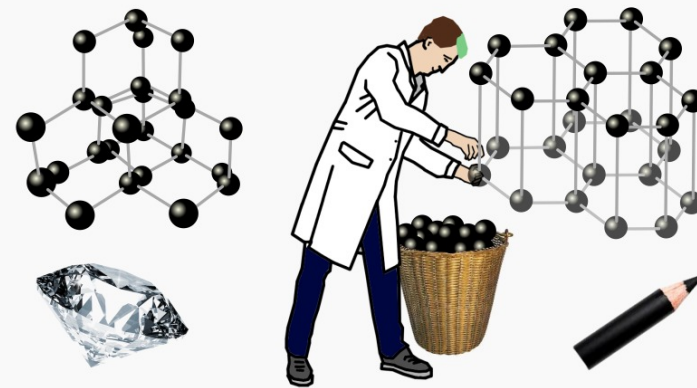


...а расположение атомов в нём — **кристаллической решёткой**.

Атомы в кристалле удерживают вместе очень прочные **химические связи**.



Из одних и тех же атомов можно собрать кристаллы с разными решётками, и это будут разные материалы!



Например, крепчайший **алмаз** и **графит** из стержня карандаша состоят из одинаковых атомов **углерода**.

В своей лаборатории мы изучаем, как свет взаимодействует с кристаллами.



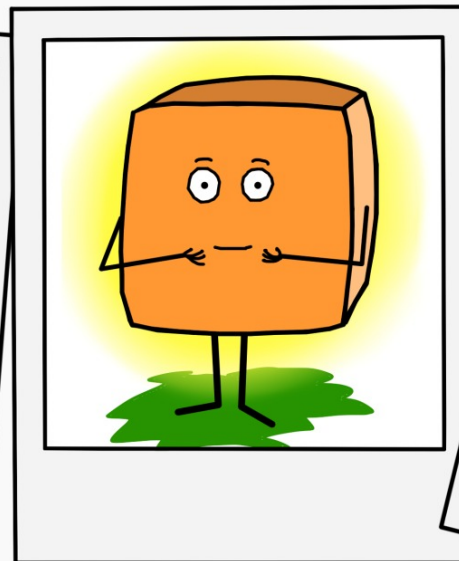
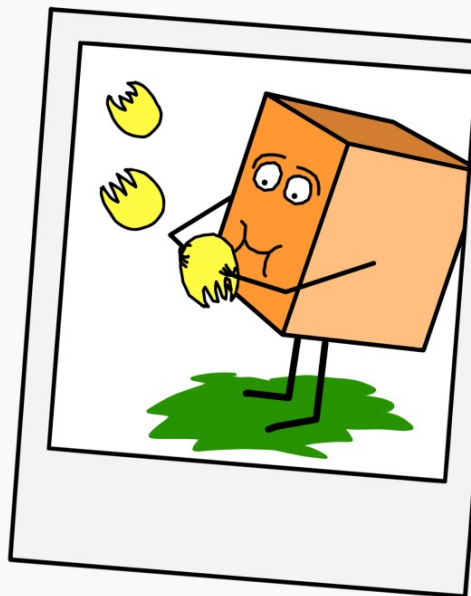
А что же такое кристаллы?

Что бывает, когда свет встречается с кристаллом

Кристалл **поглощает** фотоны, когда луч света падает на него.

Кристалл, поглотивший фотоны, становится **возбужденным**. Он запас фотоны внутри себя, и не против их отдать!

Через некоторое время кристалл отдает запасённые фотоны. Мы называем это **излучением**.

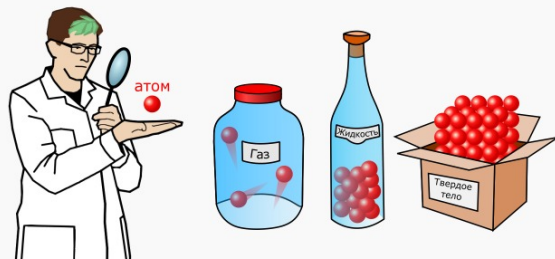


Поглощение кристаллом света и его излучение после называется **фотолюминесценцией**.

Всё, что может произойти, когда свет и кристалл встречаются, мы называем **оптическими явлениями**.

Мы хотим изучать эти явления!  
Но сначала нам нужно где-то достать кристаллы...

Все вещи в мире сделаны из маленьких частичек — **атомов**.



В **газе** атомы летают далеко друг от друга. В **жидкости** атомы слиплись, но еще могут перемещаться. Когда все атомы заняли свои места — получается **твердое тело**.

# Химическая лаборатория

В природе существует множество кристаллов...

... но ученые научились создавать новые с помощью химии.

Проводя химические реакции, ученые получают новые вещества.

Рецепт:  
 $MABr_2 + PbBr_2 \rightarrow MAPbBr_3$   
 Кристалл!

Это называется **химический синтез**.

Для защиты от опасных реактивов химики используют халат, перчатки и очки.

Рецепт готов, халат надет, можно отправляться в химическую лабораторию!

Все химические элементы собраны в **периодическую таблицу Менделеева**.

Исходные вещества для синтеза называются **реактивами**.

1. Взвешиваем реактивы на весах.
2. Растворяем реактивы в растворителе.
3. Смешиваем растворы. Начинается реакция!
4. На дне сосуда растёт кристалл.
5. Кристалл готов!

**Весы** позволяют точно отмерить количество реактивов, чтобы соблюсти рецепт.

**Вытяжной шкаф** откачивает вредные пары растворителей.

На **плитке** можно нагреть растворы. Так реакции идут быстрее.

Некоторым реакциям нужна высокая температура. Для этого пригодится **печь**.

# Кристаллография

Недостаточно синтезировать кристалл...



Я принес тебе новый кристалл.

Это точно трибромоплюмбат метиламмония, я уверен!

Я бы ему не доверяла.

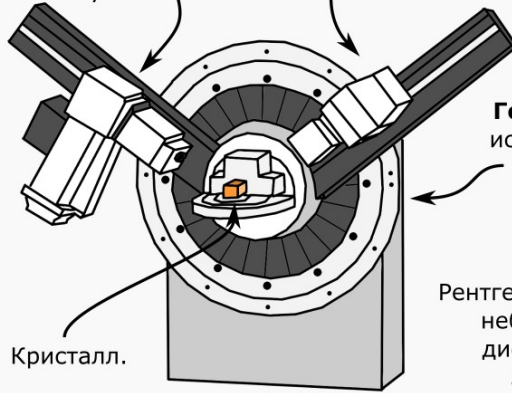
Нужно выяснить, в правильном ли порядке в кристалле стоят атомы.



Прибор для исследования рентгеновской дифракции называется **рентгеновский дифрактометр**.

**Источник** рентгеновских лучей.

**Детектор** записывает, сколько и в какую сторону отразилось рентгеновского излучения.

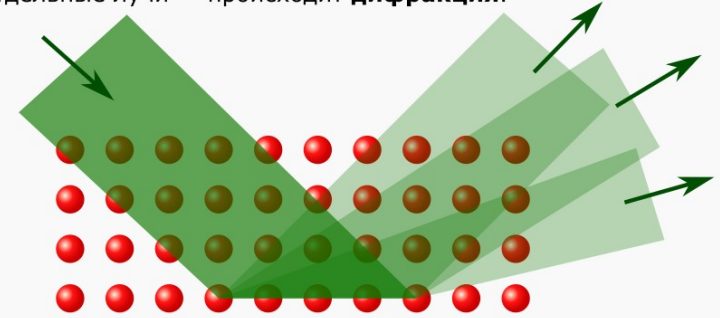


**Гониометр** вращает источник и детектор, чтобы рассмотреть кристалл с разных сторон.

Рентгеновское излучение небезопасно, поэтому дифрактометр закрыт защитным стеклом.

Кристалл.

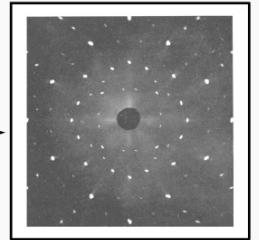
Рентгеновское излучение рассеивается атомами кристалла. Рассеяние от каждого слоя складывается, и получаются отдельные лучи — происходит **дифракция**.



**Дифрактограмма** каждого вещества уникальна. Расшифровав её, ученые могут нарисовать кристаллическую решетку кристалла.

Каждый дифрагировавший луч оставляет пятно на детекторе.

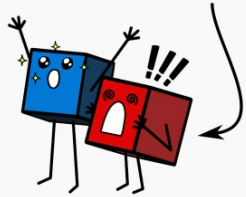
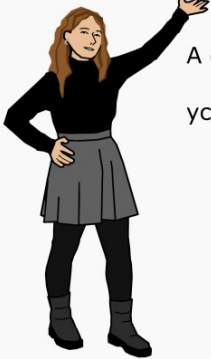
Так выглядят снимки рентгеновской дифракции на экране детектора.



## Рентгеновская дифракция

помогает проверить, получился ли химический синтез вещества.

А еще с помощью рентгеновской дифракции можно узнать, как устроены новые, никому раньше не встречавшиеся кристаллы.



Записанные дифрактограммы нужно расшифровать.



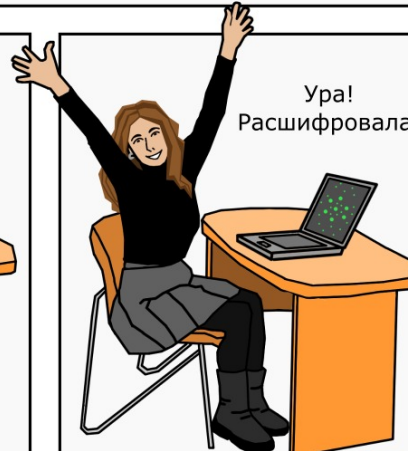
Я домой. До завтра!



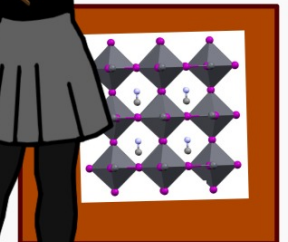
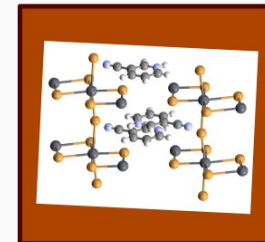
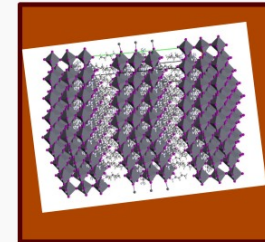
Ты кто?



Ура! Расшифровала!



## Доска почёта «Наши кристаллы»

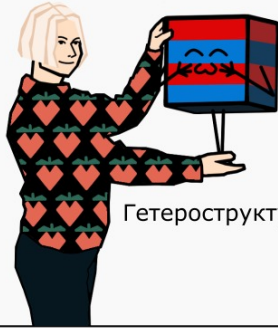
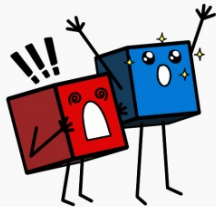


Теперь мы точно знаем, какой это кристалл!

# Эпитаксия

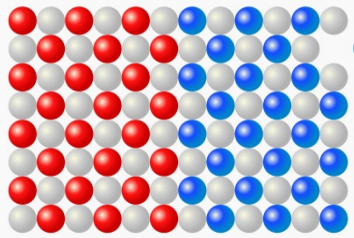
Кристаллы, состоящие из одного вещества, называются **монокристаллами**. Иногда может потребоваться соединить несколько веществ вместе — тогда получается **гетероструктура**.

Монокристаллы.

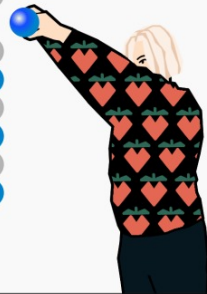


Гетероструктура.

В гетероструктуре разные атомы занимают места по порядку в одной кристаллической решетке.

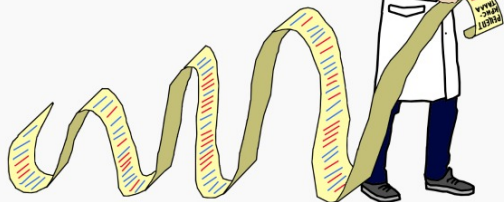


Вещество 1    Вещество 2



Для создания таких слоистых кристаллов используют молекулярно-пучковую эпитаксию.

В рецептах гетероструктур могут быть сотни слоёв.

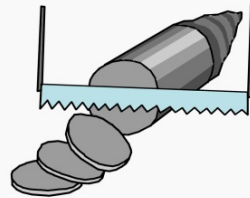


Для роста гетероструктур нужна основа — **подложка**.

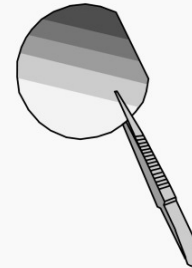
Из расплавленного вещества вытягивают длинный кристалл — **булю**.



Булю нарезают на отдельные подложки.



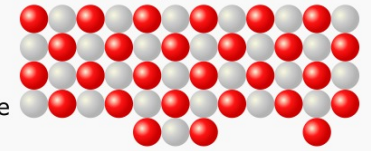
Подложки полируют.



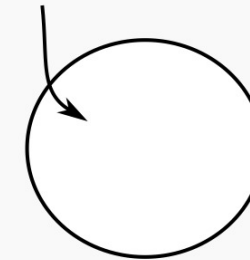
Теперь подложка готова для роста!

С помощью эпитаксии кристалл собирается атом за атомом на подложке.

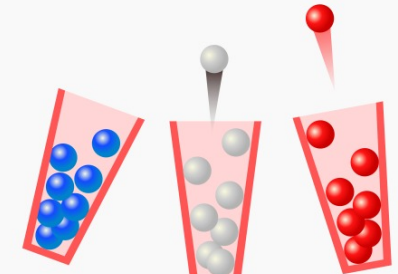
Подложка.



Чтобы кристалл вышел чистым, в ростовой камере поддерживают пустоту — **вакуум**.



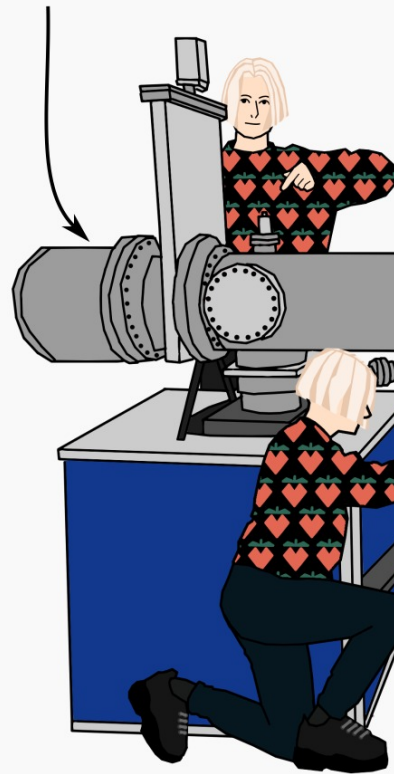
(тут ничего нет)



Источники атомов.

## Установка молекулярно-пучковой эпитаксии

Корпус установки сделан из стали, чтобы удерживать внутри вакуум.



**Ростовая камера** — в ней происходит рост кристаллов.

**Шлюз** нужен для загрузки подложек.



Рост окончен! Слоистый кристалл готов!



Вещества для роста подаются из **источников**.

**Насосы** помогают поддерживать вакуум внутри.

# Оптика и фотоника



Все выращенные нами кристаллы мы изучаем в оптической лаборатории.

Там мы проверяем, как кристаллы ведут себя под действием света, и для чего они могут быть полезны

Кристаллы светятся гораздо лучше, если их охладить. Для этого мы используем **жидкий азот** ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), а иногда даже **жидкий гелий** ( $-269^{\circ}\text{C}$ ).



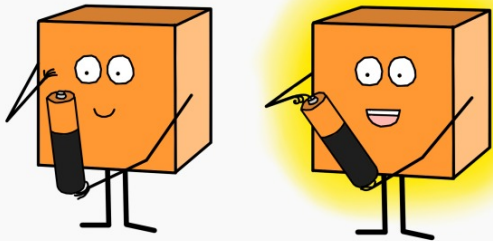
Многие вещи моментально превращаются в ледышку, если погрузить их в жидкий азот. Например, **огурец**.

Чтобы разобраться, как светится кристалл, мы раскладываем его свечение в **спектр** — набор цветов.



Потом мы записываем эти спектры. У разных кристаллов они могут очень сильно отличаться!

Например, может быть кристалл светится, если через него пропустить электричество?



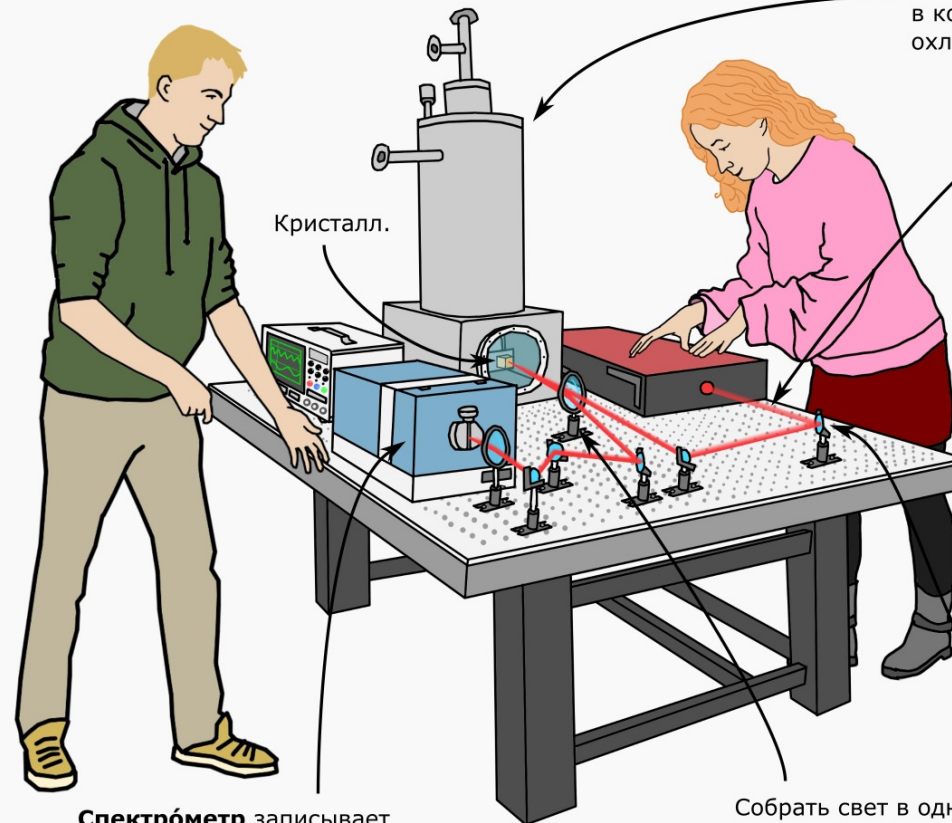
Из таких кристаллов получаются яркие **светодиоды** для фонариков и лампочек.

Или наоборот, кристалл вырабатывает электричество, поглощая свет?



Такие кристаллы можно использовать для создания **солнечных батарей**.

## Оптическая лаборатория



**Криостат** — это термос, в котором жидкий азот охлаждает кристалл.

**Лазер** светит очень ярким лучом света. Берегите глаза!

**Оптический стол** — надежное и очень тяжелое основание для наших экспериментов!

В оптическом столе много отверстий, к которым мы прикручиваем зеркала и линзы.

На столе мы закрепляем **приборы** и **оптические элементы**.

**Зеркалами** мы можем провести луч света от лазера до кристалла.

**Спектрóметр** записывает спектры свечения кристаллов.

Собрать свет в одну точку можно с помощью **линзы**.

# Ученые и статьи

Все вместе мы — **ученые**.  
Наша цель — разобраться, как устроена природа.



Чтобы рассказать о наших открытиях,  
мы пишем **статьи**.



**Теоретики** помогают найти правильные  
формулы для описания эксперимента.

Готовые статьи мы отправляем в **научные журналы**.




Мы всегда волнуемся, потому  
что наш труд будут проверять  
другие ученые — **рецензенты**.

После проверки рецензентами статью публикуют в журнале.  
Для нас это всегда праздник! Вот так обычно выглядит статья:

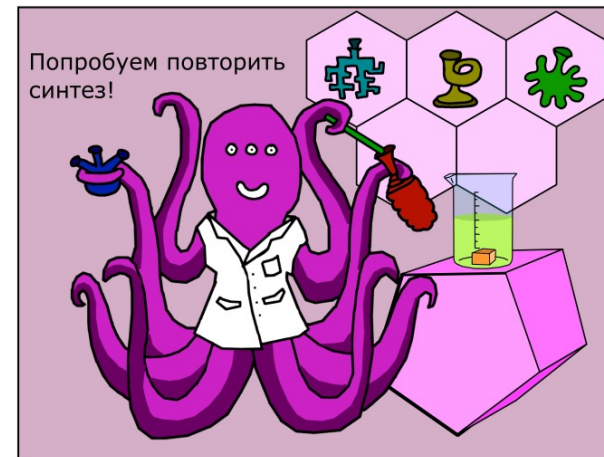
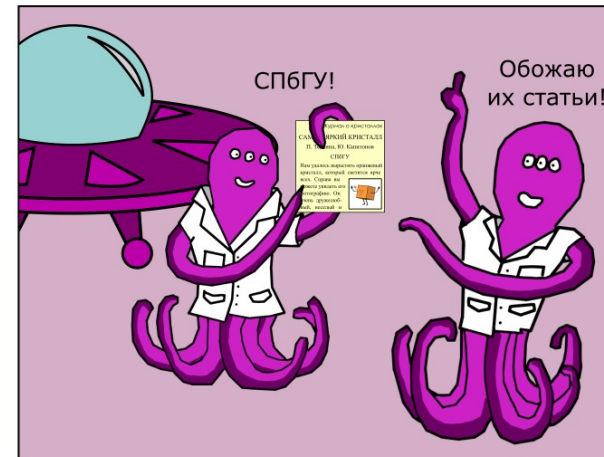
Журнал о кристаллах  
**САМЫЙ ЯРКИЙ КРИСТАЛЛ**  
П. Теслина, Ю. Капитонов  
СПбГУ

Нам удалось вырастить оранжевый кристалл, который светится ярче всех. Справа вы можете увидеть его фотографию. Он очень дружелюбный, веселый и



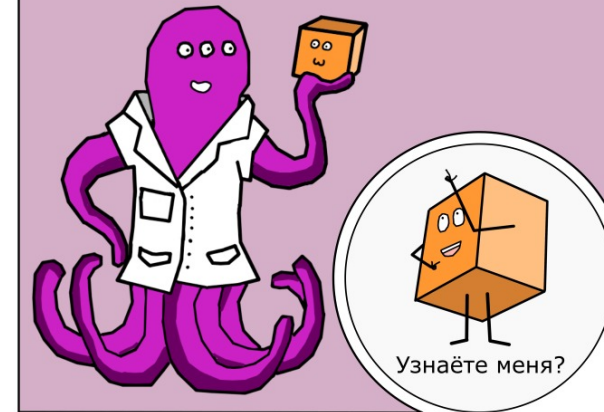
← Название журнала.  
← Название статьи.  
← Авторы.  
← Университет, где сделали работу.  
← Текст статьи и рисунки.

Теперь нашу статью прочитают  
ученые по всему миру!



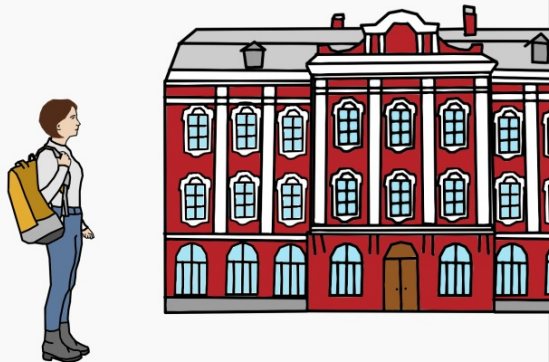
Прочитав статью, вы сможете повторить  
эксперимент даже на другой планете!

У меня получилось!

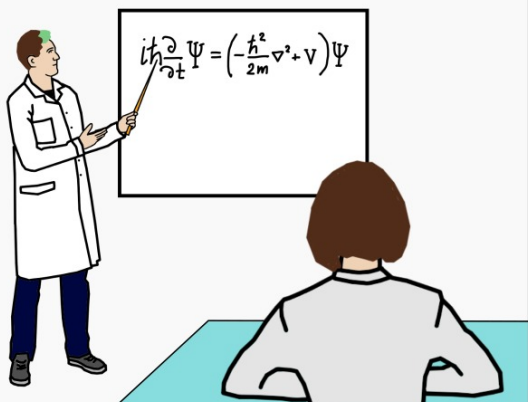


# Как стать учёным?

Чтобы стать учёным, после школы надо поступить в **университет**.



В университете студенты слушают **лекции**.



На других занятиях студенты делают **лабораторные работы**.



Лабораторные работы — это небольшие эксперименты, на которых студенты учатся, перед тем как начать настоящие исследования.

Несколько раз в год ученые и студенты собираются на **конференцию**.



Там они обмениваются научными новостями и рассказывают о своих исследованиях.

В конце обучения студенты выполняют небольшую научную работу, а потом защищают её перед коллегами-учеными.

После защиты студент получает **диплом**.



Кошка-ашнюшка — символ физического факультета СПбГУ.

Получив диплом, можно заниматься наукой!

## Санкт-Петербургский государственный университет



В городе Санкт-Петербурге расположен старейший и один из крупнейших в России университетов — **СПбГУ**.



Лаборатория **Кристаллофоники**, о которой мы рассказали вам в этой книжке, тоже находится в СПбГУ.

В СПбГУ есть 27 факультетов и институтов, в которых студентов учат разным наукам. Среди них физика, химия, математика и многие другие.

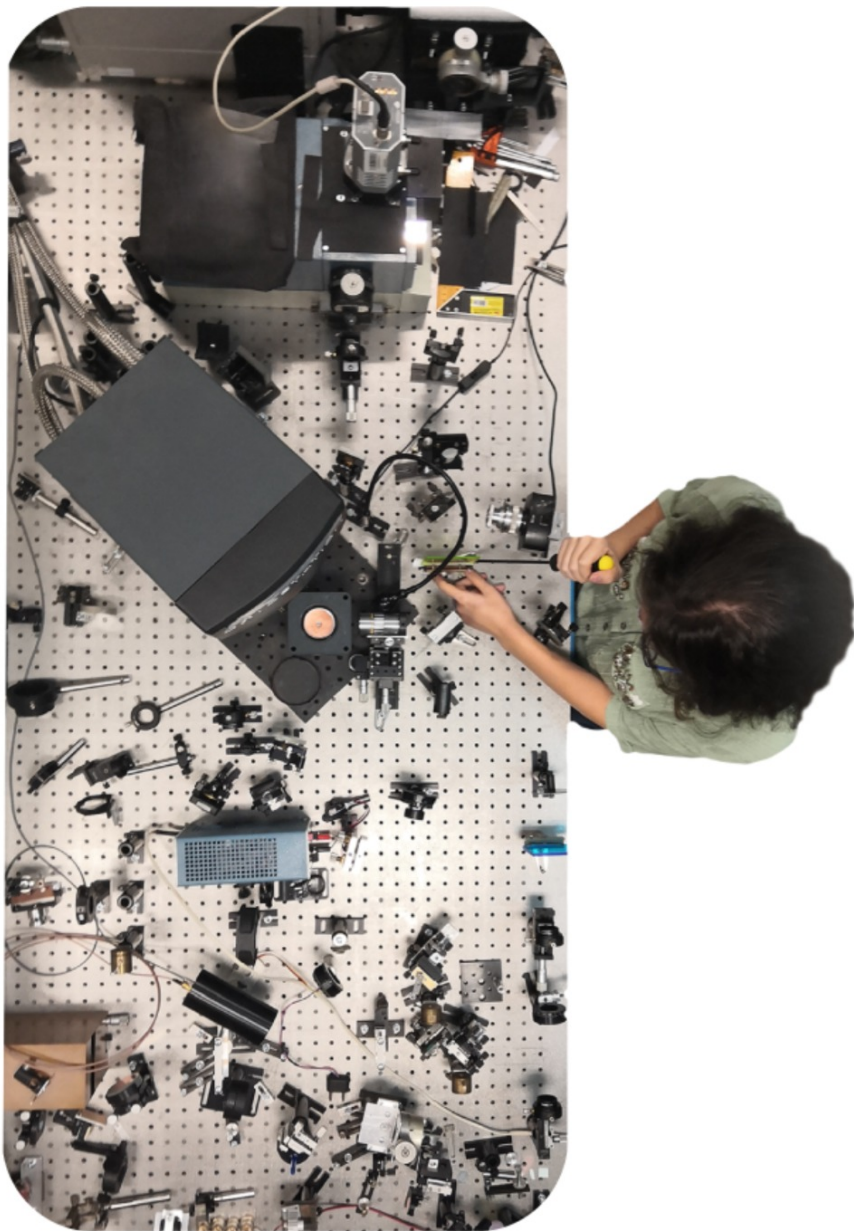
Поступайте к нам в университет, и приходите работать в нашу лабораторию!



До встречи!







## **Кристаллофотоника**

Научно-популярное издание  
Для широкого круга читателей  
6+

Книга подготовлена при поддержке Министерства  
науки и высшего образования Российской Федерации  
в рамках Мегагранта №075-15-2022-1112

Идея и текст *Юрий Капитонов*  
Иллюстрации *Юрий Капитонов, Полина Теслина*  
Модели *Юрий Капитонов, Полина Теслина,*  
*Анна Самсонова, Мария Мамаева*

Санкт-Петербургский государственный университет,  
Лаборатория кристаллофотоники ([crystal.spbu.ru](http://crystal.spbu.ru))  
Санкт-Петербург, 2022

