

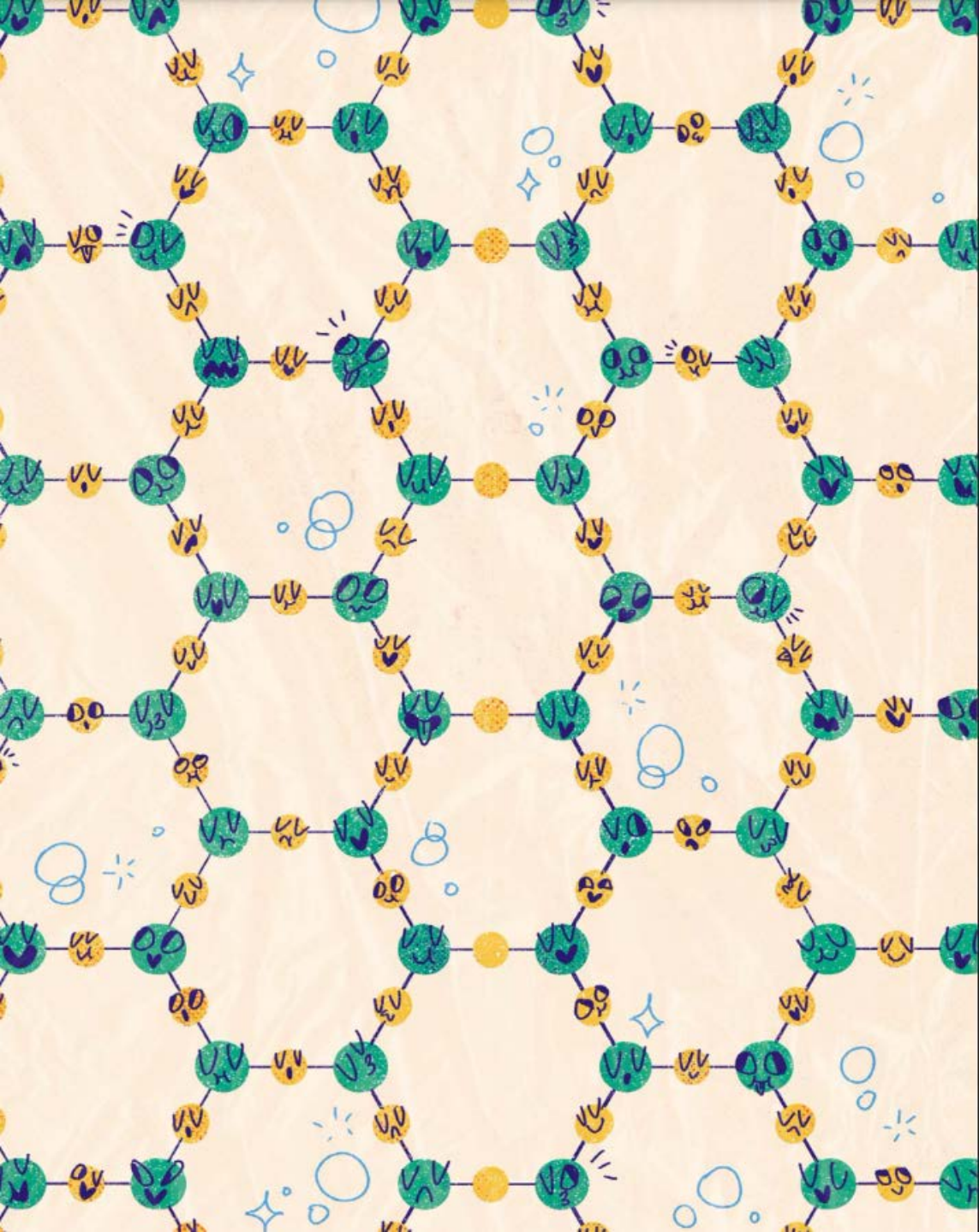
# АРТЁМ ОГАНОВ

КРИСТАЛЛОХИМИК И МАТЕРИАЛОВЕД,  
ПРОФЕССОР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# ХИМИЯ



БОЛЬШАЯ  
НАУКА ДЕТЯМ







# ХИМИЯ

## АРТЁМ ОГАНОВ

*Аванта*

29

**Cu**

медь

63.546

2

8

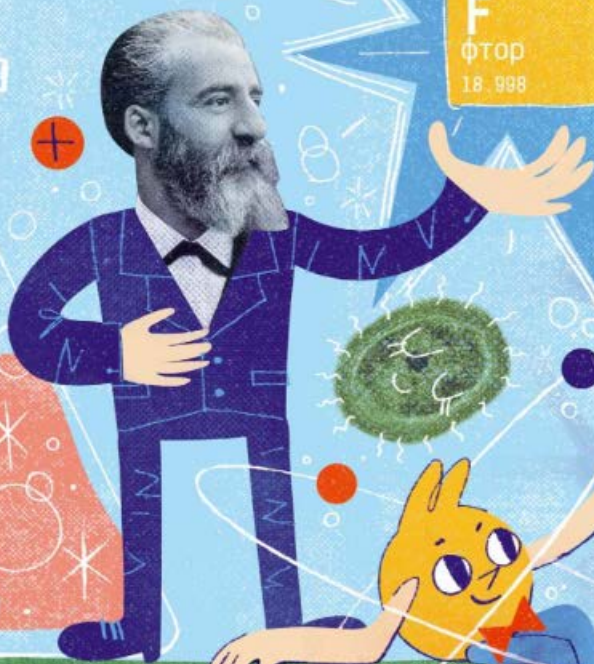
18

1




ФЛЮРИТ

100%







Все окружающие нас вещества состоят из **атомов**, атомы могут объединяться в **молекулы**. Молекулы могут быть маленькие, могут быть очень большие.

Атомы могут объединяться в **кристаллы**, число атомов в которых настолько огромно, что его даже бессмысленно считать. Когда учёные моделируют кристаллы, они предполагают их вообще бесконечными. Поведение атомов, молекул, кристаллов, химические реакции с их участием, изменение структуры и состава изучает наука **химия**. О некоторых аспектах химии мы и поговорим.



# ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

РАЗДЕЛ 1

Атомы бывают разного типа, на сегодняшний день известно **118 типов атомов**, которые называются **ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**. С древности человек знал несколько элементов, в особенности тех, которые **встречаются в природе в самородном виде**. Такие как медь, золото, серебро, железо, платина, углерод, сера и ряд других. Со временем учёные научились *выделять элементы из их соединений\** — так были открыты олово, ртуть, цинк, мышьяк, сурьма, фосфор. По мере становления химической науки людям стали известны и другие элементы, например, азот, кислород, водород, хлор, кобальт, никель и другие.



В начале XIX века **великий английский учёный ГЭМФРИ ДЭВИ** открыл несколько новых элементов, разлагая соединения при помощи электрического тока, со временем были разработаны и другие методы.

*\* Дело в том, что не все элементы встречаются в самородном виде, по большей части мы имеем дело именно с их соединениями.*





Элементы открывают и сегодня, но не в природе; учёные создают новые элементы слиянием ядер в ускорителях частиц. Именно так были созданы **самые тяжёлые элементы**, известные на сегодняшний день.

## ФАБРИКА СВЕРХТЯЖЁЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЦ-280

- 1 — ПЯТЬ КАНАЛОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА
- 2 — СИСТЕМА АКСИАЛЬНОЙ ИНЪЕКЦИИ
- 3 — ВЧ РЕЗОНАТОР
- 4 — ОСНОВНОЙ МАГНИТ ЦИКЛОТРОНА



НА СЕГОДНЯШНИЙ  
ДЕНЬ ИЗВЕСТНО

# 118

ХИМИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ

Надо сказать, что история создания новых химических элементов не закончена, а продолжается. Учёные считают, что рано или поздно периодическая таблица дойдёт до своего предела. Дело в том, что **очень тяжёлые атомные ядра** оказываются нестабильными и живут совсем короткое время. Считается, что для очень тяжёлых атомов нестабильность будет настолько высока, что их не удастся получить даже на короткое время.



Где находится предел таблицы Менделеева, точно никто не знает. Вероятно, в районе 150-го элемента.

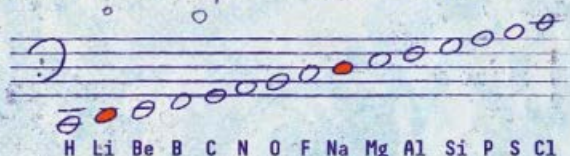
В середине XIX века было известно 63 элемента, в это время было предпринято несколько попыток систематизировать свойства этих элементов.

Например, **английский химик ДЖОН НЬЮЛЕНДС** заметил, что если **расположить атомы в порядке увеличения их атомного веса**, то появляются группы из семи элементов, а каждый восьмой элемент повторяет свойства элемента на 8 клеточек раньше. Он назвал это **ЗАКОНОМ ОКТАВ** и предположил, что существуют некие законы, общие для химии и для музыки. Впрочем, закономерность была не строгой, в ней существовали достаточно сильные нарушения.

# 150 ЭЛЕМЕНТ



## ЗАКОН ОКТАВ НЬЮЛЕНДСА



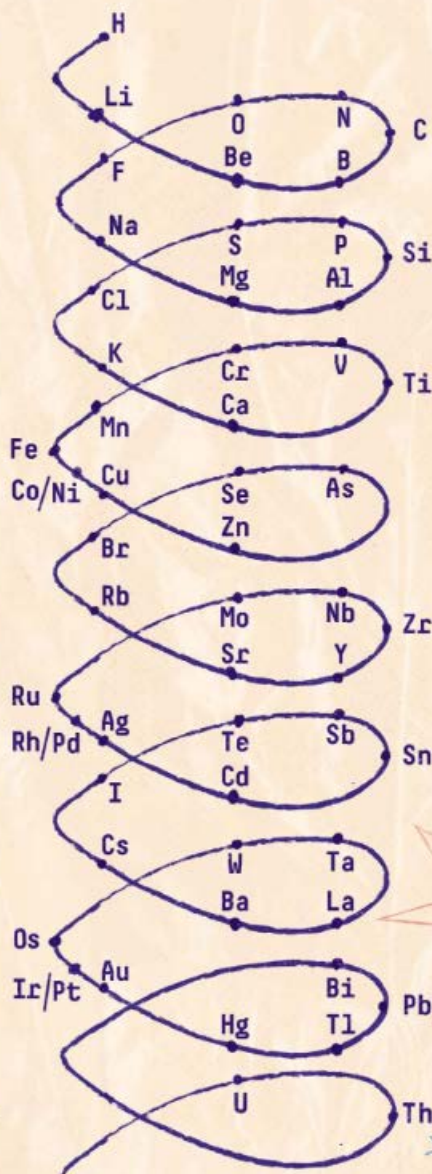
1	H	8	F	15	Cl	22	Co	29	Br	36	Pd	43	I	50	Pt
2	Li	9	Na	16	K	23	Ni	30	Rb	37	Ag	44	Cs	51	Tl
3	Be	10	Mg	17	Ca	24	Cu	31	Sr	38	Cd	45	Ba	52	Pb
4	B	11	Al	18	Cr	25	Zn	32	Ce	39	U	46	Ta	53	Th
5	C	12	Si	19	Ti	26	Y	33	La	40	Sn	47	W	54	Hg
6	N	13	P	20	Mn	27	In	34	Zn	41	Sb	48	Nb	55	Bi
7	O	14	S	21	Fe	28	As	35	Pi	42	Te	49	Au	56	Os
							Se		Rh						
							Ru								
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я							



# «ЗЕМНОЙ ВИНТ» ШАНКУРТУА

НИКТО ТОЧНО НЕ ЗНАЕТ, ГДЕ НАХОДИТСЯ ПРЕДЕЛ ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА!

атомные массы



Французский геолог **АЛЕКСАНДР ШАНКУРТУА** расположил элементы в порядке увеличения атомного веса по спирали.

Эта спираль тоже имела периодичность: элементы, расположенные один над другим, оказывались похожими — но опять же не всегда. Свою спираль он назвал теллурическим винтом. Достаточно странное название, да? Ещё его можно перевести как «земная спираль».

В общем, ни попытка систематизации Ньюлендса, ни «винт» Шанкуртуа не прижились.





Был **немецкий химик ЛОТАР МАЙЕР**, который показал, что **атомные объёмы** меняются **периодически с атомным весом**, именно он долгое время считался главным конкурентом **ДМИТРИЯ ИВАНОВИЧА МЕНДЕЛЕЕВА** в борьбе за звание первооткрывателя периодического закона.

Надо сказать, что работы Майера и Менделеева были сделаны практически одновременно, но именно Менделеев считал периодичность не прихотью природы, а **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ЗАКОНОМ**. Он использовал его для предсказания новых химических элементов.

Дело в том, что в той периодической зависимости, которую Менделеев изобразил в виде таблицы, были выпадающие ячейки: в каждой ячейке должен был быть элемент, но были ячейки, в которых не оказывалось элементов с подходящей атомной массой и подходящими свойствами. Менделеев предположил, что там должны находиться ещё не открытые элементы. Он заявил, что они непременно будут открыты, и предсказал их свойства.

1 H Водород																
3 Li Литий	4 Be Бериллий															
11 Na Натрий	12 Mg Магний															
19 K Калий	20 Ca Кальций	21 Sc Скандий	22 Ti Титан	23 V Ванадий	24 Cr Хром											
37 Rb Рубидий	38 Sr Стронций	39 Y Иттрий	40 Zr Цирконий	41 Nb Ниобий	42 Mo Молибден	43 Tc Технеций										
55 Cs Цезий	56 Ba Барий	57-71 La-Lu Лантаноиды	72 Hf Гафний	73 Ta Тантал	74 W Вольфрам	75 Re Рений										
87 Fr Франций	88 Ra Радий	89-103 Ac-Lr Актиниоиды	104 Rf Резерфордий	105 Db Дубний	106 Sg Сивергий	107 Bh Борий										

- Металлы
- Неметаллы
- Металлоиды
- Газы

57 La Лантан	58 Ce Церий	59 Pr Прометий	60 Nd Неодим
89 Ac Актиний	90 Th Торий	91 Pa Протактиний	92 U Уран

**ЛОТАР МАЙЕР**



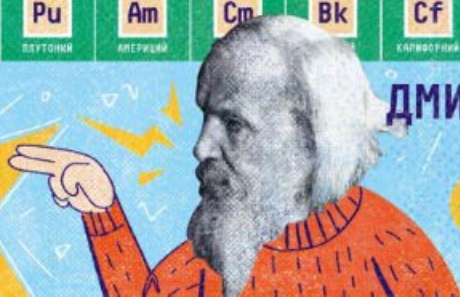


Предсказания Менделеева в скором времени полностью оправдались. Первым был открыт **ГАЛЛИЙ**. Экспериментаторам даже пришлось повторить свои измерения: сомнения возникли из-за того, что первоначальные показатели не вполне соответствовали предсказанным. Более точные эксперименты подтвердили выводы Менделеева. А затем были открыты и другие предсказанные им элементы — германий и скандий.



																2 He гелий 4.003
																10 Ne неон 20.179
																18 Ar аргон 39.948
5 B бор 10.811	6 C углерод 12.011	7 N азот 14.007	8 O кислород 15.999	9 F фтор 18.998												
13 Al алюминий 26.981	14 Si кремний 28.086	15 P фосфор 30.974	16 S сера 32.06	17 Cl хлор 35.453												
26 Fe железо 55.847	27 Co кобальт 58.933	28 Ni никель 58.71	29 Cu медь 63.546	30 Zn цинк 65.38	31 Ga галлий 69.723	32 Ge германий 72.64	33 As мышьяк 74.922	34 Se селен 78.96	35 Br бром 79.904	36 Kr кrypton 83.8						
44 Ru рутений 101.07	45 Rh родий 102.905	46 Pd палладий 106.42	47 Ag серебро 107.868	48 Cd кадмий 112.411	49 In индий 114.818	50 Sn олово 118.710	51 Sb сурьма 121.757	52 Te теллур 127.6	53 I йод 126.905	54 Xe ксенон 131.29						
76 Os осмий 190.23	77 Ir иридий 192.222	78 Pt платина 195.084	79 Au золото 196.967	80 Hg ртуть 200.59	81 Tl таллий 204.38	82 Pb свинец 207.2	83 Bi висмут 208.98	84 Po полоний 209	85 At астат 210	86 Rn радон 222						
108 Hs хассий 277	109 Mt мейтний 268	110 Ds дarmstadtium 281	111 Rg рентгений 272	112 Cn копериций 285	113 Nh нихоний 284	114 Fl флеровий 289	115 Mc московский 288	116 Lv ляверморий 293	117 Ts теннессин 294	118 Og оганесон 294						
61 Pm прометий 144.912	62 Sm самарий 150.36	63 Eu европий 151.964	64 Gd гадолиний 157.25	65 Tb тербий 158.925	66 Dy диспрозий 162.5	67 Ho holmий 164.930	68 Er эрбий 167.259	69 Tm тулий 168.934	70 Yb ytterбий 173.054	71 Lu лютеций 174.967						
93 Np нептуний 237.048	94 Pu плутоний 244.064	95 Am амерций 243.061	96 Cm кальций 247.07	97 Bk берклий 247.07	98 Cf калifornий 251.08	99 Es эйнштейний 252.083	100 Fm фермий 257.10	101 Md менделеев 258.10	102 No нобелий 259.10	103 Lr лоуренсий 262.10						

ДМИТРИЙ МЕНДЕЛЕЕВ





Сам Менделеев, как часто бывает в науке, не понимал природы периодического закона, ему казалось, что именно атомная масса играет здесь главную роль. Сейчас же мы знаем, что дело вовсе не в атомной массе и гравитационных взаимодействиях, а **в числе электронов**. Электроны в атомах образуют оболочки, и заполнение этих электронных оболочек и диктует стабильность или нестабильность той или иной конфигурации, похожесть и непохожесть разных конфигураций, способность или неспособность атома вступать в те или иные химические реакции.

## СТРОЕНИЕ АТОМА

**НЕЙТРОН** — тяжёлая элементарная частица, не имеющая электрического заряда.

**ПРОТОН** — тяжёлая положительно заряженная частица.

**ЭЛЕКТРОН** — это лёгкая отрицательно заряженная частица





## БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ

Например, все атомы, у которых **оболочки заполнены**, обладают очень низкой химической активностью. Это **БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ**, они **не вступают практически ни в какие химические реакции**.



Моя прелесть!

He

Ne

ЧИСЛО АТОМОВ,  
КОТОРОЕ ПОМЕСТИТСЯ В ЧАЙНОЙ  
ЛОЖКЕ, ГОРАЗДО БОЛЬШЕ,  
ЧЕМ ЧИСЛО ЛЮДЕЙ НА ЗЕМЛЕ

Отонжем  
электроны!

Br

## ГАЛОГЕНЫ

Элементы, которым **не хватает одного электрона до заполнения электронной оболочки**, напротив, — **очень химически активны** и стараются этот электрон **забрать у других атомов**. Это **ГАЛОГЕНЫ**, 17-я группа таблицы Менделеева, самый активный из которых — **ФТОР**.

У каждого элемента свой характер, своя судьба, свои интересные истории открытия. Мне бы хотелось немного поговорить о разных аспектах, связанных с различными элементами.



# ВОДОРОД (H)

Больше всего во Вселенной именно этого элемента. В таблице Менделеева он идёт **под номером один**. Это означает, что у него в ядре всего один протон и один электрон, вращающийся вокруг протона.

Водорода по массе более 70% в нашем Солнце и во Вселенной, вторым идёт **ГЕЛИЙ** — его более 20%, а все остальные элементы, вместе взятые, дают порядка 2% по массе в атомном веществе Вселенной, на Солнце и на таких планетах-гигантах, как Юпитер и Сатурн.



На Земле водорода не так уж много, будучи лёгким, он «убежал» с нашей планеты в космос. Только такие большие планеты, как Юпитер и Сатурн, в состоянии удерживать в больших количествах этот лёгкий элемент.

**ЮПИТЕР И САТУРН**



Водород в нормальных условиях — это газ, состоящий из двухатомных молекул  $H_2$ , очень лёгкий.

Из водорода можно было бы делать воздушные шары, они бы очень легко взлетали. Водородом наполняли первые дирижабли, но потом перестали, потому что водород горючий, а в смеси с кислородом взрывается.



ПЛОТНОСТЬ ВОДОРОДНОГО ГАЗА  
В **16** РАЗ МЕНЬШЕ,  
ЧЕМ ПЛОТНОСТЬ КИСЛОРОДА!



Дело в том, что водород и кислород реагируют с образованием воды, молекула  $H_2O$  содержит два атома водорода и атом кислорода. Образование этой молекулы настолько выгодно, что выделяется огромное количество энергии в виде взрыва.

Смесь водорода с кислородом называют **ГРЕМУЧИМ ГАЗОМ**. После взрыва дирижабля «Гинденбург» дирижабли стали наполнять гелием. Гелий тяжелее водорода (но всё ещё гораздо легче воздуха), и на Земле его совсем мало, поэтому он дорогой.

ГРЕМУЧИЙ ГАЗ





**Водород при высоких давлениях и температурах, которые присущи недрам Юпитера и Сатурна, переходит в металлическое состояние, именно с этим, как считают учёные, связано магнитное поле этих планет.**

Вообще, магнитное поле всех планет связано с конвекцией электропроводящих веществ. Внутри Земли — это **железо\***. В жидком ядре Земли происходит **конвекция, то есть восхождение вверх горячих потоков и опускание холодных потоков жидкого металлического железа**. Это процесс и ответственен за появление магнитного поля.

Точно такой же процесс происходит внутри Юпитера и Сатурна, только вместо железа в нём участвует **МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ВОДОРОД**.



\* При огромных давлениях и температурах земного ядра железо уже не является магнитным, но по-прежнему прекрасно проводит электричество.

## КОНВЕКЦИЯ



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЮПИТЕРА

В **10** РАЗ  
СИЛЬНЕЕ ЗЕМНОГО!



Учёные долгое время пытались синтезировать металлический твёрдый водород — на Юпитере и Сатурне он жидкий. Жидкий металлический водород удалось получить американским и российским учёным в середине 1990-х годов, — а вот **твёрдый водород**, оказывается, получить намного сложнее, это требует куда больших давлений.



## ЮПИТЕР ВНУТРИ

- ГАЗООБРАЗНЫЙ ВОДОРОД — 1000 КМ
- ЖИДКИЙ ВОДОРОД — 60000 КМ
- (ИЗ НИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ВОДОРОД — 50000 КМ)
- ЯДРО — 10000 КМ

Считается, что твёрдый металлический водород может быть комнатным сверхпроводником, но экспериментального доказательства этому до сих пор ещё не получено:

О комнатной сверхпроводимости мы поговорим чуть позже, когда будем говорить о кристаллах.



# ГЕЛИЙ (He)

Гелий — это второй по распространённости во Вселенной элемент, **его более 20 весовых процентов** и на Солнце, и на Юпитере, и на Сатурне. Он считается **самым инертным элементом** таблицы Менделеева, у него практически невозможно оторвать электрон — ни один элемент не в состоянии это сделать.

Требуемая для этого энергия — так называемый **ПОТЕНЦИАЛ ИОНИЗАЦИИ**, — у гелия огромен, но и чужих гелий не хочет притягивать, вследствие этого элемент оказывается химически **малоактивен**, поэтому на Земле его ещё меньше, чем водорода.

Водород может образовывать химические связи и в этой форме оставаться на Земле, например, в составе воды или различных водных минералов, а гелий не может даже этого.

ГЕЛИЙ СОСТАВЛЯЕТ  
БОЛЕЕ

**20%**

ВЕСОВЫХ ПРОЦЕНТОВ  
АТОМАРНОГО  
ВЕЩЕСТВА ВСЕЛЕННОЙ!



Остановите  
Землю,  
я взлечу!

Гелий выделяется из твёрдых оболочек в атмосферу, но в атмосфере не может задержаться и в связи со своей лёгкостью уходит в космос.



Именно с этим связано то, что открыли гелий не на Земле, а удивительным образом на Солнце. В XIX веке, когда были изобретены **спектроскопические методы химического анализа**, присутствие различных химических элементов определялось **по их спектрам**.



25% ГЕЛИЙ

73% ВОДОРОД

2% ОСТАЛЬНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ



Изучая **СПЕКТР СОЛНЦА**, учёные увидели в этом спектре дополнительные **линии, которые не удавалось отнести ни к одному из известных элементов**.

Так был впервые обнаружен **ГЕЛИЙ**. Этот удивительный элемент, который назвали в честь древнегреческого бога Солнца — Гелиоса.





Надо сказать, что **гелий играет очень важную роль во Вселенной.** Это не только второй по распространённости элемент на Солнце, Юпитере и Сатурне — с ним связаны процессы производства тепла в планетах-гигантах.

**Юпитер и Сатурн по большей части состоят из водорода и гелия,** и когда при высоких давлениях жидкий водород становится металлическим, а гелий нет, эта жидкость начинает разделяться на части: металлическую, богатую водородом, и неметаллическую, богатую гелием. Гелий значительно тяжелее водорода, и капельки гелиевой жидкости начинают падать в поле тяжести планеты-гиганта.

Это падение приводит к выделению огромной энергии, что и видят астрономы, измеряя светимость планет. Юпитер и в особенности Сатурн выделяют значительно больше тепла, чем получают от Солнца. Сегодня учёные считают, что это связано с так называемым **ГЕЛИЕВЫМ ДОЖДЁМ.**





Если мы возьмём гелий и охладим, то, в отличие от всех остальных известных человечеству веществ, он не закристаллизуется. Даже превратить газообразный гелий в жидкость не так просто — для этого его надо охладить до  $-268,9^{\circ}\text{C}$ , что близко к абсолютному нулю температур ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ).



Все вещества, о которых мы знаем, при низких температурах становятся твёрдыми, **но не гелий**. Гелий продолжает пребывать в жидком состоянии, причём жидкость эта обладает свойством **сверхтекучести** — у неё нулевая вязкость, связанная с квантовыми эффектами.



Не танцую



ГЕЛИЙ МОЖНО НАЗВАТЬ  
САМЫМ ИНЕРТНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ  
ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА





Жидкий гелий при сверхнизких температурах и атмосферном давлении называется **КВАНТОВОЙ ЖИДКОСТЬЮ**. Это состояние квантовой жидкости связано с любопытным квантово-механическим принципом неопределённости.

Дело в том, что даже при абсолютном нуле **частицы** не находятся в покое, они продолжают двигаться. Это движение особенно интенсивно для лёгких частиц, таких как электроны или атомы водорода и гелия.

Если **химические связи слабые**, то квантовое движение в состоянии расплавить кристалл — это мы и видим в случае гелия. Даже при сколь угодно близких к нулю Кельвина температурах не удаётся собрать атомы гелия в кристалл, возникает только жидкий гелий.

## КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ,

или принцип неопределённости Гейзенберга, — фундаментальное утверждение о том, что невозможно одновременно с абсолютной точностью определить координаты и скорость квантовой частицы.

Следствием этого принципа является невозможность построения траектории движения квантовой частицы, а также то, что даже при абсолютном нуле температур квантовые частицы не будут находиться в покое. Эти эффекты особенно важны для частиц с малой массой.

Принцип неопределённости, открытый **ВЕРНЕРОМ ГЕЙЗЕНБЕРГОМ** в 1927 году, является одной из основ квантовой механики.

Где же она?





от 1 млн

Инертность гелия недавно была преодолена, но опять же при высоких давлениях. Под давлением примерно в миллион атмосфер нами было предсказано новое соединение гелия —  $\text{Na}_2\text{He}$ . У этого соединения оказалась гигантская область устойчивости: от 1 миллиона до по меньшей мере 10 миллионов атмосфер.



После нашего предсказания это соединение было экспериментально получено, а вслед за этим были предсказаны и другие соединения гелия: оказалось, что при повышенных давлениях (начиная со 140 тысяч атмосфер) гелий охотно вступает в реакции с такими веществами, как лёд,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ . Возникают соединения  $\text{Na}_2\text{OHe}$ ,  $\text{H}_2\text{OHe}$ ,  $\text{SiO}_2\text{He}$ ,  $\text{CaF}_2\text{He}$ ,  $\text{MgF}_2\text{He}$ .

Вполне возможно, что в глубинных оболочках Земли гелий может удерживаться в форме такого рода соединений или в виде примесей в других веществах. Но в поверхностных слоях Земли такие соединения станут неустойчивыми, и гелий, конечно же, выделится в атмосферу.



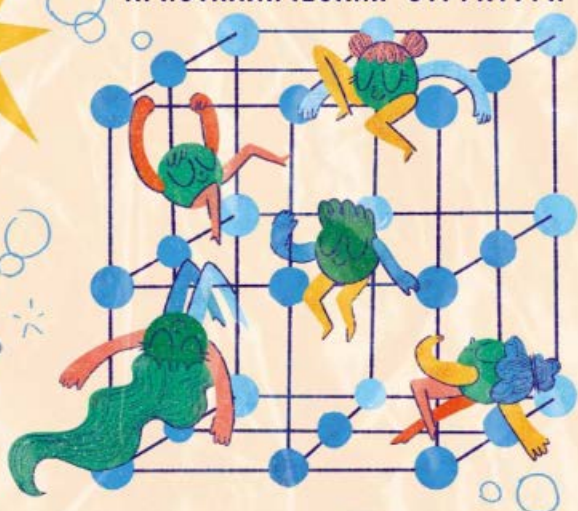


# ЛИТИЙ (Li)

Про этот элемент говорить можно долго, расскажу только несколько вещей. Литий — самый лёгкий металл, он вдвое легче воды! Его плотность примерно как у дерева. **Ион  $\text{Li}^+$  — маленький**, это позволяет ему легко двигаться в пустотах кристаллических структур — **диффундировать**. С его свойствами, зарядом и способностью легко двигаться в кристаллических структурах связано применение этого элемента в **литий-ионных аккумуляторах**.



## КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА



Сейчас люди рассматривают и другие, более распространённые элементы, такие как натрий, калий и магний, в качестве элементов, на основе которых можно создать новые типы аккумуляторов. Но для этого приходится искать особенные кристаллические структуры, в которых эти более крупные ионы могли бы легко двигаться.

**ЛИТИЙ ОКАЗЫВАЕТ ДЕЙСТВИЕ НА НЕРВНУЮ СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА, ПОЭТОМУ НА ЕГО ОСНОВЕ ДЕЛАЮТ ЛЕКАРСТВА ДЛЯ ЛЮДЕЙ, СТРАДАЮЩИХ МАНИАКАЛЬНО-ДЕПРЕССИВНЫМ РАССТРОЙСТВОМ.**





# БЕРИЛЛИЙ (Be)

Бериллий является одним из **главных элементов** в таком минерале, как **берилл**, ярко-зелёная разновидность которого — **изумруд**, один из самых известных драгоценных камней.



Металлический бериллий обладает удивительными свойствами: он очень лёгкий и в то же время очень прочный. Добавление всего пары процентов бериллия в бронзу сильно **увеличивает её прочность**, и возникает так называемая **бериллиевая бронза**.



С этим элементом связана одна неприятность — у человека, вдохнувшего пыль или пары соединений бериллия, развивается тяжелейшая болезнь, которая так и называется — бериллиоз. Поэтому люди в последнее время стараются всячески ограничить применение этого замечательного элемента.



# БОР (В)

Это элемент с удивительной историей. В первые полтора века его изучения каждый учёный, занимавшийся этим элементом, допускал серьёзные ошибки, началось это с самого его открытия. Бор был открыт в 1808 году великими учёными: в Англии — **ГЭМФРИ ДЭВИ**, а во Франции **ЖОЗЕФом ЛУИ ГЕЙ-ЛЮССАКОМ** и **ЛУИ ЖАКОМ ТЕНАРОМ**.



Гей-Люссак и Тенар, с одной стороны, и Дэви — с другой, достаточно жёстко конкурировали в открытии новых химических элементов. То, что эти учёные представили как новый элемент, в дальнейшем оказалось **химическим соединением**, содержащим не более 50—60% бора.

**РАЗНИЦА МЕЖДУ ДАТАМИ  
ПОЛУЧЕНИЯ БОРА ФРАНЦУЗАМИ  
И АНГЛИЧАНИНОМ СОСТАВЛЯЛА  
ВСЕГО 9 ДНЕЙ!**





Это было показано **великим французским химиком АНРИ МУАССАНОМ**, который утверждал, что чистый бор удалось получить ему. Тем не менее позже выяснилось, что и **Муассан выделил** не чистый бор, а его соединение, содержащее **не более 90% этого элемента**.



ОДИН  
В ОДИН!

Даже небольшое содержание примесей способно полностью изменить свойства бора и его кристаллическую структуру.

Я смог!  
Ну, почти...



90%  
БОРА

**Великий немецкий химик ФРИДРИХ ВЁЛЕР** утверждал, что бор похож на углерод тем, что обладает двумя модификациями: **алмазоподобной** и **графитоподобной**. Но вскоре было доказано, что эти модификации не являются бором, а также **представляют собой его соединения**. А сколько модификаций бора на самом деле, и сейчас неизвестно.

Дело в том, что **бор**, в отличие от всех остальных элементов, **способен образовывать соединения с крайне необычными химическими составами**, например,  $\text{YB}_{66}$ ,  $\text{PuB}_{100}$  и так далее. Многие из описанных на сегодняшний день, по меньшей мере 16 модификаций бора, скорее всего, представляют собой не чистый бор, а его соединения с другими элементами.



**Бор** — любопытный элемент, в таблице Менделеева он **находится ровно на границе между металлами и неметаллами**. Благодаря этой двойственности он демонстрирует очень сложное химическое поведение и сложные кристаллические структуры. Удивительно, но **самая стабильная структура бора** при нормальных условиях, так называемый  **$\beta$ -бор**, содержит **106 атомов в элементарной ячейке\*** и обладает **разупорядоченной структурой\***.



Американские исследователи в начале XXI века установили, что правильнее рассматривать более крупную элементарную ячейку, содержащую **960 атомов**. Это удивительный уровень сложности для такого лёгкого и, как казалось, простого элемента.

\* Элементарная ячейка кристалла — это тот минимальный воображаемый объём кристалла, параллельные переносы (трансляции) которого в трёх измерениях позволяют, как из кирпичиков, построить трёхмерную кристаллическую структуру в целом.





Любопытно, но бор, известный человечеству уже более двух веков, до сих пор таит в себе немало загадок. Лишь в последние годы исследователям удалось понять **фазовую диаграмму бора**, то есть определить **области температур и давлений**, в которой та или иная кристаллическая структура стабильна.

В любом элементе должна быть загадка



Мне и моим коллегам в 2000-е годы удалось открыть новую кристаллическую структуру бора, которую я назвал  $\gamma$ -бор. Оказалось, что у  $\gamma$ -бора очень широкая область стабильности.



АЛМАЗ(С)

БОРАЗОН (ВN)



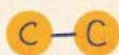
Бор является элементом, на основе которого можно создать сверхтвёрдые материалы. **Очень высокой твёрдостью обладает не только сам бор, но и его соединение с азотом BN — боразон, который используется как заменитель алмаза.**



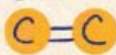
# УГЛЕРОД (C)

Следующий элемент — углерод. **Углерод — это основа жизни.** В каждом живом организме очень много атомов углерода, и они играют первую скрипку. Связано это с тем, что **атомы углерода способны образовывать друг с дружкой химические связи очень разных типов:** одинарные, двойные, тройные и промежуточные между ними.

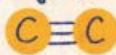
ОДИНАРНЫЕ



ДВОЙНЫЕ



ТРОЙНЫЕ



**Углеродный скелет молекул**, которые получают химики-органики, а также молекул, которые содержатся в живых организмах, может быть очень и очень разнообразным.

## ВИДЫ УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПЕЙ

ПРЯМЫЕ    РАЗВЕТВЛЁННЫЕ    ЦИКЛИЧЕСКИЕ



Ничоси  
как мы умеем?!



Именно существование разнообразных химических соединений на основе углерода, обладающих удивительными структурами и составом, и является главной причиной, по которой жизнь выбрала своей основой углеродную, органическую химию.





Для существования жизни нужно, чтобы **огромное множество молекул** можно было бы **собрать из небольшого числа элементов**. Это нужно для того, чтобы в организме каждого из нас **пересобирать вещества**: мы едим одни вещества, но организм из них собирает совершенно другие молекулы, которые нужны ему для функционирования. Эти молекулы обязательно должны **быть устойчивы в течение большого промежутка времени**.

Все эти условия выполняются для соединений углерода. По-видимому, углерод всё-таки является **единственным элементом**, на основе которого можно создать живые формы материи.



МЫ С ТОБОЙ СОСТОИМ  
ИЗ УГЛЕРОДА!





Из различных модификаций чистого углерода стабильным при нормальных условиях является **графит**. При **высоких давлениях** — **алмаз**. Поскольку графит стабилен, он встречается в больших количествах в природе, его легко сделать, он дешёв, а алмаз — дорогой, и для его создания требуются сложные установки, создающие высокие давления.

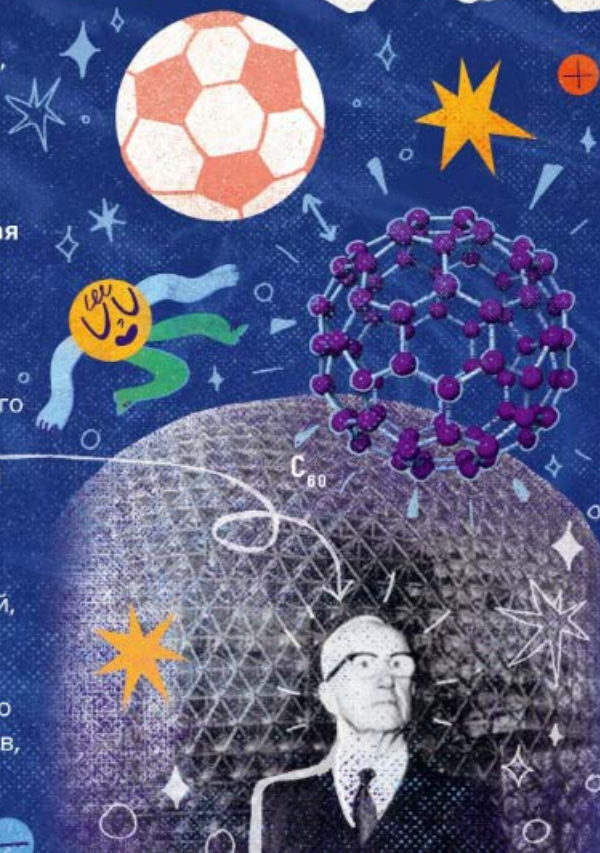


Кстати, в российской компании «New diamond technology» специалисты научились выращивать алмазы уникального размера — до 200 карат, это является мировым рекордом. Китайские компании в огромных масштабах синтезируют алмазный порошок различных типов для изготовления режущих, шлифовальных инструментов. Объём синтеза технического алмаза поражает воображение — более миллиарда карат в год.



Углерод способен образовывать и другие конструкции, в частности, молекулы в форме футбольного мяча. Если посчитать, сколько «вершинок» у футбольного мяча, окажется, что их 60. **Молекула из 60 атомов углерода, имеющая форму футбольного мяча, была обнаружена в саже, а также в межзвёздном пространстве, и известна как бакминстер-фуллерен** — в честь американского архитектора **БАКМИНСТЕРА ФУЛЛЕРА**, который разрабатывал геодезические купола похожей формы.

**Молекула  $C_{60}$**  — самый известный, но далеко не единственный представитель нового класса молекул — **фуллеренов**. Известно множество различных фуллеренов, таких как  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{100}$  и так далее.





ГРАФИТ И АЛМАЗ ИМЕЮТ ПРЯМО ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ СВОЙСТВА:

## АЛМАЗ

НЕ ПРОВОДИТ ТОК  
СВЕРХТВЁРДЫЙ  
ПРОЗРАЧНЫЙ

Это связано с различием кристаллических структур. Вообще, структура диктует свойства вещества. Алмаз твёрдый, потому что очень прочные связи С—С образуют трёхмерную сетку, и у алмаза просто нет никакого слабого направления, по которому его можно было бы легко разрушить.



ЯВЛЯЕТСЯ САМЫМ  
ТВЁРДЫМ ИЗ ВСЕХ  
ВОЗМОЖНЫХ ВЕЩЕСТВ!



VS

## ГРАФИТ

ПРОВОДИТ ТОК  
СВЕРХМЯГКИЙ  
НЕПРОЗРАЧНЫЙ

В графите связи С—С даже сильнее, чем в алмазе, но они образуют слои, а между слоями связи очень-очень слабые, поэтому **графит легко разрушается**, отшелушиваясь мелкими чешуйками. Когда ты пишешь **графитовым грифелем** своего карандаша по бумаге, происходит именно это. На бумаге остаётся след, образуемый мелкими чешуйками графита.





В 2004 году российским учёным (тогда проживавшим в Британии) **АНДРЕЮ ГЕЙМУ И КОНСТАНТИНУ НОВОСЁЛОВУ** удалось выделить одноатомный слой структуры графита — **графен**, обладающий очень интересными свойствами. В частности, **у электронов проводимости в графене — рекордная подвижность**, правда самих электронов проводимости там очень мало. Электроны проводимости ведут себя так, как будто у них **нулевая масса**, а скорости составляют примерно **1,5% от скорости света\***. При таких скоростях уже ощущаются эффекты, связанные с **теорией относительности**.

За выделение и изучение графена Гейм и Новосёлов получили в 2010 году **Нобелевскую премию по физике**. И сейчас изучение двумерных материалов является одной из самых горячих тем в химии, физике и материаловедении.

\* Скорость света в вакууме — предельная скорость движения частиц и распространения взаимодействий.



## НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Нобелевская премия [швед. Nobelpriset, англ. Nobel Prize] — самая престижная международная премия, ежегодно присуждаемая за выдающиеся научные исследования, революционные изобретения, большой вклад в развитие культуры и общества.





## ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В 1905 году Альберт Эйнштейн опубликовал работу, в которой показал, что классическая ньютоновская механика несовместима с уравнениями электродинамики Максвелла. Взяв за основу уравнения Максвелла, он показал, что при очень высоких скоростях (а самая высокая возможная скорость — это скорость света в вакууме, 299,8 тысячи километров в секунду) появляются совершенно новые эффекты. Например, в быстро движущемся объекте замедляется время, а масса этого объекта увеличивается.

Так что, если два космонавта, вы и, допустим, Герман, летите на двух космических кораблях и хотите сравнить ваши наблюдения, единственное, что вам нужно знать, — это вашу скорость относительно друг друга.



Если взять графеновый лист и свернуть его в трубочку, то мы получим так называемую **углеродную нанотрубку**. Углеродная нанотрубка с концов закрывается фрагментами фуллерена. Можно создать множество различных углеродных нанотрубок: **в зависимости от того, как мы свернём лист графена**, нанотрубка может получиться полупроводящей или металлической, хорошо проводящий ток.

Углеродные нанотрубки обладают **колоссальной прочностью**. Недавно выяснилось, что именно они придают **дамасской стали\*** её знаменитую прочность. В принципе, высокая концентрация углерода в железе должна была бы сделать его очень хрупким, однако в дамасской стали углерод концентрируется в виде нанотрубок, что, напротив, делает такую сталь очень прочной.



\* Дамасская сталь (или просто дамаськ) — вид стали с видимыми неоднородностями на стальной поверхности, чаще всего в виде узоров.



# АЗОТ (N)

Азот присутствует в атмосфере Земли в виде молекул  $N_2$ . Эта молекула отличается **исключительной стабильностью**, из-за которой она не вступает практически ни в какие химические реакции и является **весьма инертной**.

**Азотная атмосфера** — это особенность нашей планеты. Ни на одной планете вы не увидите такую высокую концентрацию азота в атмосфере, этому есть объяснение. Дело в том, что **ранняя атмосфера Земли** была намного более плотной чем сейчас, и состояла из таких газов, как углекислый газ ( $CO_2$ ), метан ( $CH_4$ ) и лишь первые проценты азота ( $N_2$ ).

АЗОТ

ВЕСЬМА

ИНЕРТЕН

~~НИТРОГЕН~~

АЗОТ СОСТАВЛЯЕТ

78%

АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ,  
ЕГО НАМНОГО БОЛЬШЕ,  
ЧЕМ КИСЛОРОДА.

Почини?

КАК  
ВЫ  
ИЗВЕРЖАЕТЕСЬ?

УУ

 $CO_2$  $CH_4$  $CH_4$  $CO_2$ 

БЫЛО



Однако со временем  **$\text{CH}_4$  окислился до  $\text{CO}_2$** , который при посредничестве воды прореагировал с горными породами на поверхности Земли, образуя твёрдые карбонаты. В результате этого процесса **плотность атмосферы уменьшилась примерно в 60 раз**, и львиная доля атмосферного вещества оказалась захоронена в твёрдых оболочках Земли. Остался инертный азот, к которому постепенно добавился произведённый микроорганизмами, а потом и растениями, кислород. Из этих двух газов и состоит по большей части современная атмосфера Земли.







Слово «азот» в переводе с греческого означает «безжизненный». Почему же он получил такое имя?

Потому что из воздуха мы потребляем только кислород, растения — углекислый газ. И только **некоторые микроорганизмы** в состоянии **использовать атмосферный азот** и с его помощью создавать белки и другие азотсодержащие соединения.

Другой способ, с помощью которого из инертных молекул  $N_2$  можно получить соединения, удобные для усвоения живыми организмами, — это **синтез оксидов азота** в атмосфере во время ударов молний.



## АЗОТ В БОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВАХ СОДЕРЖАТ БЕЛКИ — ОСНОВА ЖИЗНИ

Вся известная жизнь основана на белках, а также на ДНК или РНК — все эти молекулы **содержат атомы азота**, поэтому название «безжизненный» этому элементу на самом деле совершенно не подходит.



Хы-хы, я тут есть!



## АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Азот является одним из элементов, **важнейших для роста растений**. Надеюсь, ты помнишь, что **люди используют несколько типов удобрений**, которые дают растениям то, что обычно является для них дефицитом, — это **азот, калий и фосфор**.

Создание технологий производства **азотных удобрений** стало поистине революцией в жизни человечества. Это было сделано немецкими учёными **КАРЛОМ БОШЕМ** и **ФРИЦЕМ ГАБЕРОМ**, которые нашли **способ промышленного синтеза аммиака из атмосферного азота**. Непростая технология требовала высоких давлений и использования катализатора, но результат привёл практически к **решению проблемы голода**.



Использование азотных удобрений дало возможность значительно повысить урожайность и позволило человечеству не зависеть от таких факторов, как засуха. За эту работу Габер и Бош получили **Нобелевские премии** по химии.



С исключительной устойчивостью молекулы  $N_2$  связана обратная сторона химии азота. Азот является основой для большинства взрывчатых веществ: энергия, которая выделяется при образовании молекулы  $N_2$  настолько велика, что для ряда веществ разложение с образованием молекулы  $N_2$  сопровождается взрывом.



# КИСЛОРОД (O)

Следующий элемент — **кислород**, элемент, без которого мы не можем представить себе свою жизнь. Один из самых распространённых элементов во Вселенной и **самый распространённый элемент на Земле**.

## ВО ВСЕЛЕННОЙ

АТОМАРНАЯ ДОЛЯ



— 92%

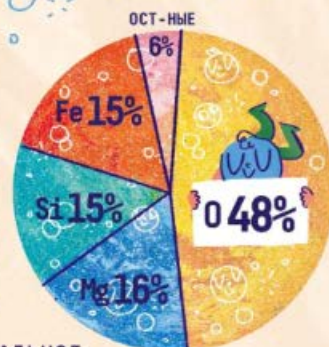
— 7%

— 0,1%

0,9% — ВСЕ ОСТАЛЬНОЕ

## НА ЗЕМЛЕ

АТОМАРНАЯ ДОЛЯ



## В ТЕЛЕ

АТОМАРНАЯ ДОЛЯ



**Человек не может жить без кислорода.** Мы поглощаем кислород, который в нашем организме используется для окисления органических молекул, таких, как глюкоза. В этом процессе выделяется большое количество энергии, за счёт которой мы и живём. Но по этой же самой причине — способности **окислять органические молекулы** — кислород является очень опасным для живых клеток. Поэтому для многих первых форм жизни он являлся страшнейшим ядом.

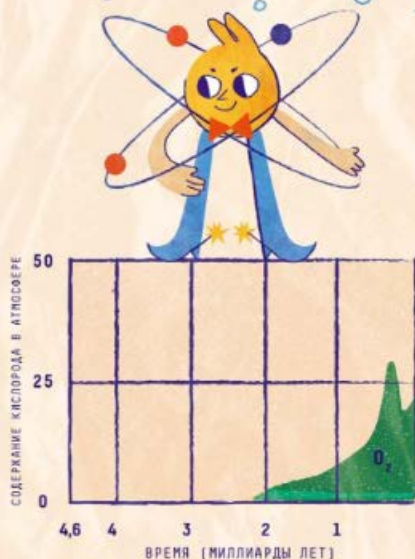
**ЗНАЕШЬ ЛИ ТЫ,  
ЧТО АТОМОВ КИСЛОРОДА  
НА ЗЕМЛЕ БОЛЬШЕ,  
ЧЕМ АТОМОВ ЛЮБОГО  
ДРУГОГО ЭЛЕМЕНТА?**





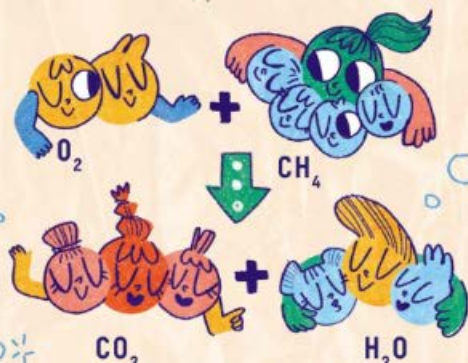
# ВЕЛИКАЯ КИСЛОРОДНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

В первоначальной атмосфере Земли не было свободного кислорода, зато были такие молекулы, как метан и угарный газ ( $\text{CO}$ ), создававшие **восстановительную среду**. Кислород в свободном состоянии появился в атмосфере Земли примерно 2—2,5 миллиарда лет назад, и это событие кардинально изменило историю жизни на Земле и даже геологическую историю нашей планеты. Это событие называется **ВЕЛИКОЙ КИСЛОРОДНОЙ РЕВОЛЮЦИЕЙ**. Детали того, что произошло, до сих пор активно уточняются учёными.



Нет практически никаких сомнений, что кислород появился в атмосфере благодаря особым организмам — **цианобактериям**, которые были первыми фотосинтезирующими организмами на Земле.

Из углекислого газа, воды и солнечного света эти организмы синтезировали органические молекулы, а побочным продуктом являлся кислород. Этот кислород выделялся в атмосферу, где вступал в реакцию с молекулами-восстановителями — метаном и угарным газом, окисляя их и превращая в углекислый газ и воду. Пока в атмосфере были восстановительные условия, весь выделяющийся кислород уходил на окисление такого рода молекул.





И не только в атмосфере, но и в гидросфере Земли, где присутствовало растворимое двухвалентное железо  $\text{Fe}^{2+}$ , которое тоже является восстановителем. Кислород окислял его до трёхвалентного нерастворимого состояния  $\text{Fe}^{3+}$ . С этим периодом, предшествующим Великой кислородной революции, связаны огромные отложения ценных **железных руд** — **железистых кварцитов**, также называемых **ДЖЕСПИЛИТАМИ**, в которых присутствует железо одновременно в двух- ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и трёхвалентной ( $\text{Fe}^{3+}$ ) формах.

Когда атмосферные  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}$  были полностью окислены, а двухвалентное железо в поверхностных слоях оказалось окисленным до трёхвалентного — только тогда в атмосфере начал накапливаться **свободный кислород**. Этот свободный кислород, должно быть, уничтожил большую часть тогдашних форм жизни.



Я свободен!



А я иду  
искать!

Кстати, такие формы, которые не нуждаются в кислороде и, наоборот, воспринимают его как яд, существуют и сейчас — **анаэробные формы жизни**. Они прячутся далеко от тех мест, где могут быть окислены, уничтожены кислородом.





Живым организмам для того, чтобы контактировать с кислородом, потребовались существенные изменения. У всех тех форм жизни, которые либо питаются кислородом, либо выделяют кислород, либо каким-то образом контактируют с ним, есть **антиоксидантная система защиты**. Она предотвращает вред, который кислород и его различные активные формы могут нанести им. По сути, использование кислорода живыми организмами, такими как мы с вами, можно описать как **контролируемую реакцию горения**.



И горение, и окисление питательных веществ в нашем организме — это реакция окисления, продуктами которой являются вода  $H_2O$  и углекислый газ  $CO_2$ .

Это реакция, **обратная реакции фотосинтеза**: при фотосинтезе органические вещества создаются за счёт поглощения солнечной энергии, а при окислении эта энергия высвобождается.



Если бы окисление, например, глюкозы проходило в организме до конца, его продуктами оказывались бы безобидные молекулы воды и углекислого газа. Но иногда этот процесс идёт со сбоями, и возникают промежуточные продукты **неполного окисления**, которые называются **активными формами кислорода**. Ну, например, пероксид-ион  $O_2^{-2}$ , супероксид-ион  $O_2^{-}$  и ряд других. Эти молекулы являются **токсичными**, они повреждают наши клетки.



Такое повреждение может затронуть даже **молекулу ДНК**, хорошо запрятанную в клеточном ядре. Этот окислительный стресс является одним из главных, а может быть, и **главным механизмом старения** живых организмов. Поэтому многие медики советуют принимать **антиоксиданты\***.



\* Антиоксиданты — это молекулы-восстановители, которые нейтрализуют эффект активных форм кислорода. Много антиоксидантов содержится в зелёном чае, ягодах, фруктах, растительных маслах.



Огромное количество энергии, которая выделяется при окислении, связано с тем, что кислород обладает очень высокой **электроотрицательностью**. Электроотрицательность — это свойство атомов перетягивать электроны на себя.



Самыми электроотрицательными элементами являются кислород и фтор. Образование их соединений (оксидов и фторидов) сопровождается выделением **особо большого количества теплоты**. Причём фтор ещё более электроотрицателен, чем кислород.

**КИСЛОРОД И ФТОР —  
РЕКОРДСМЕНЫ  
ПО ЭЛЕКТРО-  
ОТРИЦАТЕЛЬНОСТИ.**



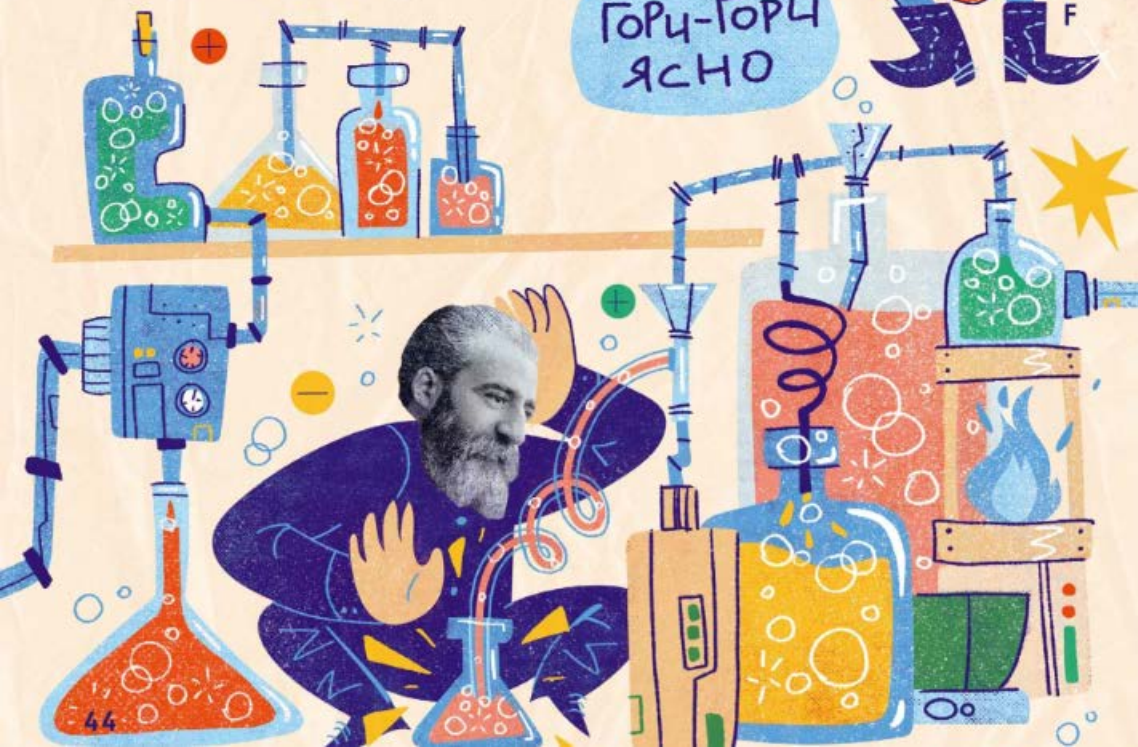
# ФТОР (F)

Фтор — **самый активный из неметаллических элементов**, рекордсмен по электроотрицательности, **способный сильнее, чем любой другой элемент, отнимать электроны у других атомов**. Фтор легко вступает в реакцию практически с любым элементом таблицы Менделеева (кроме **благородных газов**, да и то нам известны **фториды ксенона** — тяжёлого благородного газа).

**Органические вещества горят во фторе, причём гораздо интенсивнее, чем в кислороде!** Так, при горении природного газа  $\text{CH}_4$  во фторе выделяется в 2,4 раза больше тепла, чем при горении того же количества метана в кислороде. Во фторе горит даже вода!



Горч-Горч  
ясно





В ПРИРОДЕ ГЛАВНЫМ  
СОЕДИНЕНИЕМ ФТОРА  
ЯВЛЯЕТСЯ ОЧЕНЬ КРАСИВЫЙ  
МИНЕРАЛ ФЛЮОРИТ  $\text{CaF}_2$ .  
А ЕЩЁ ФТОР СОДЕРЖИТСЯ  
В ЗУБНОЙ ЭМАЛИ И КОСТЯХ  
ЧЕЛОВЕКА!

Из-за своей крайней реакционной способности **фтор** исключительно **токсичен**: первые химики, которые пытались его получить, умерли от отравления, включая **АНРИ МУАССАНА**, который за получение чистого фтора получил Нобелевскую премию.



Анри Муассану удалось сделать такую химическую посуду, которая не разъедалась фтором и не допускала его утечки в воздух. Учёного посетила оригинальная мысль — делать эту посуду из **фторидов**, соединений, уже образованных фтором и неспособных дальше реагировать с ним. Тем не менее даже Муассан пострадал от фтора, он сильно заболел и в результате умер, незадолго до смерти ему присудили Нобелевскую премию.



Из-за крупного открытия Муассана, стоившего ему жизни, Нобелевский комитет решил вручить премию именно ему, а не Менделееву, посчитав, что русский учёный ещё поживёт и успеет получить награду, а у Муассана уже такой возможности не будет. К сожалению, годом позже умер и Менделеев, так и не получив Нобелевскую премию.



# НЕОН (Ne)

Следом за фтором в таблице Менделеева расположен неон. Многие думают, что самый инертный элемент — это гелий. Однако, судя по всему, **неон ещё более инертен**. У него настолько **стабильная электронная оболочка**, что он не только **не хочет вступать ни в какие химические реакции**, но и с огромным трудом переходит в металлическое состояние.



ФИЗИКИ ХОРОШО ЗНАЮТ,  
ЧТО ПРИ ДОСТАТОЧНО  
СИЛЬНОМ СЖАТИИ ЛЮБОЕ  
ВЕЩЕСТВО СТАНОВИТСЯ  
МЕТАЛЛОМ.





15 МЛРД. АТМ

Пощадыным,  
я не гаааа...

Ne



Многие элементы являются металлами при нормальных условиях, как, например, уже встречавшиеся нам литий, бериллий и многие другие. Другие элементы становятся металлами под давлением. Например, кислород — при 1 млн атмосфер. Для неона предсказанное теоретиками давление металлизации — **1,5 миллиарда атмосфер** — настолько велико, что его не скоро удастся достичь экспериментально.

Наверняка ты слышал про исключительно долговечные неоновые лампы, свечение которых связано с электронными переходами в соударяющихся атомах неона. Чистый неон даёт красно-оранжевое свечение, но добавление других инертных газов позволяет получать свечение любого цвета. Почему используются именно инертные газы? Потому что они ни с чем не реагируют, что и обеспечивает долговечность таких ламп.



Итак, дорогой друг, мы рассмотрели первые два периода таблицы Менделеева. Я бы мог долго рассказывать про каждый из дальнейших элементов, но моя цель состоит не в этом. Поэтому я выберу некоторые, самые интересные из более тяжёлых элементов, чтобы познакомить тебя с ними.



# ЖЕЛЕЗО (Fe)

Железа во Вселенной очень много, необычно много для такого довольно тяжёлого элемента. Связано это с тем, что ядро *изотопа*\* железа  $^{56}\text{Fe}$  (в нём содержится 26 протонов и 30 нейтронов) является самым стабильным из всех атомных ядер. В элементах до железа энергия сцепления протонов и нейтронов в ядре растёт с увеличением числа нейтронов и протонов, а после железа — уже падает. У очень тяжёлых элементов ядра настолько неустойчивы, что им приходится спонтанно распадаться, выделяя большое количество энергии. Но поговорим сейчас о железе.

\* Что такое изотоп, смотри на с. 92



ЗЕМНАЯ КОРА

8-40 км  
( $\text{O}_2$ , Si, Al, Fe)

МАНТИЯ

2870 км  
( $\text{O}_2$ , Si, Mg, Fe, Ca, Al)

ЖЕЛЕЗА ВО ВСЕЛЕННОЙ  
ОЧЕНЬ-ОЧЕНЬ МНОГО



Железо в силу устойчивости своего ядра оказывается очень распространённым элементом. **Земное ядро состоит из железа** с несколькими процентами никеля и примерно 15—20 атомными процентами других элементов и **составляет почти 1/6 от общего объёма нашей планеты**. Его также довольно много в мантии Земли и в земной коре.

Земное ядро состоит из двух оболочек: внутреннее ядро — кристаллическое, и по мере охлаждения планеты оно растёт и выкристаллизовывается из жидкого внешнего ядра. Конвективное движение вещества во внешнем жидком ядре Земли, как ты уже знаешь, **создаёт магнитное поле нашей планеты**.

Кстати, среди метеоритов, которые падают на нашу планету, есть в том числе состоящие из железоникелевого сплава, подобного тому, из которого состоит ядро Земли.

Fe и Ni



**ВНЕШНЕЕ ЯДРО**

2260 км

(железо-никелевый расплав)



**ВНУТРЕННЕЕ ЯДРО**

1220 км

(твёрдый железо-никелевый сплав)



Железо очень важно для жизни. Молекулы **гемоглобина** содержат **двухвалентное\* железо**, которое **помогает им ловить кислород** и **транспортировать** его в наши клетки.

Биохимически активным является именно двухвалентное железо. Если окисленная трёхвалентная форма железа присутствует в гемоглобине, такая молекула не сможет играть роль переносчика кислорода. Вообще **свойства двухвалентного и трёхвалентного железа очень сильно различаются**.

Как мы уже говорили, в ходе Великой кислородной революции, произошедшей 2—2,5 миллиарда лет назад, большое количество железа было окислено кислородом из  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ . Соединения трёхвалентного железа хуже растворимы, поэтому концентрация железа в океанах резко уменьшилась, и возникли отложения железных руд.

\* *Валентность* — способность атомов химических элементов образовывать химические связи и измеряется числом электронов, которые атом даёт или берёт при создании связей.



В нашем организме железосодержащая молекула гемоглобина выполняет функцию переноса кислорода. Но не во всех организмах эта функция доверена железу. Например, у пауков и некоторых других животных кровь не красного цвета, а синего из-за того, что там роль переносчика кислорода выполняет медь (и молекула-переносчик кислорода у этих организмов называется гемоцианином). Железу присущ **зелёный цвет**, если это **двухвалентное железо**, и **красно-бурый цвет**, если это **трёхвалентное железо**. А медь отличается синим или зелёным цветом.



Вообще, для жизни необходим целый ряд дополнительных элементов помимо традиционных для органики углерода, водорода, кислорода и азота. Организму необходимы сера, фосфор и целый ряд других:



## МАГНИЙ (Mg)

Он участвует во множестве различных важнейших биохимических реакций. Каждый человек должен потреблять примерно полграмма магния в день.



## КОБАЛЬТ (Co)

Является неотъемлемым компонентом витамина B<sub>12</sub>, который очень важен для нашего здоровья.



## СЕЛЕН (Se)

Выполняет антиоксидантную функцию — защиту от свободных кислородных радикалов.



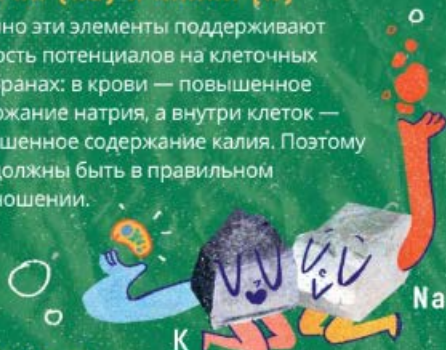
## ИОД (I)

Входит в состав гормонов щитовидной железы.



## НАТРИЙ (Na) И КАЛИЙ (K)

Именно эти элементы поддерживают разность потенциалов на клеточных мембранах: в крови — повышенное содержание натрия, а внутри клеток — повышенное содержание калия. Поэтому они должны быть в правильном соотношении.



## МЕДЬ (Cu)

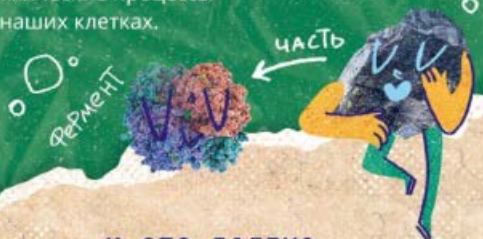
Участвует в синтезе белков.

Хы-хы,  
синтезирую...



## ЦИНК (Zn)

Входит в состав некоторых ферментов, то есть молекул-катализаторов, ускоряющих химические процессы в наших клетках.



И ЭТО ДАЛЕКО  
НЕ ВСЕ ЭЛЕМЕНТЫ!  
МЫ — ЭТО СПЛОШНЫЕ  
ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.



# ГАЛЛИЙ (Ga)

Следующий элемент, про который я хотел бы рассказать — это галлий, необычный **металл, который плавится при температуре 30 °C**.

Если подержать кусочек галлия на ладонке, он расплавится. Это **третий по легкоплавкости металл** после ртути и цезия (их температуры плавления –39 °C и 28 °C), но в отличие от них он не опасен. Очень красивые кристаллы галлия легко вырастить в домашних условиях. Для этого надо расплавить в чашечке немного галлия и медленно охладить его. Из охлаждённого расплава можно вынуть пинцетом кристаллы удивительной красоты.



В природе галлий довольно редок, он маскируется (как говорят учёные — рассеян) **в соединениях алюминия и цинка**. Кстати, галлий образует с алюминием интересные интерметаллические соединения — **амальгамы**.



Можно провести опыт: смазать тоненьким слоем жидкого галлия алюминиевую кастрюлю. Образуется хрупкое соединение, и алюминиевую кастрюлю сможет разорвать на куски даже маленький ребёнок. Кстати, алюминий-галлиевая амальгама реагирует с водой, выделяя водород.

Я силач!





# МЫШЬЯК (As)

Мышьяк — это знаменитый яд, **его соединения очень токсичны**. Предполагали, что мышьяком англичане травили **Наполеона**, когда он жил на острове Святой Елены. Впрочем, официальной причиной смерти Наполеона является рак желудка. Но фактом также остаётся то, что в его волосах была обнаружена высокая концентрация мышьяка. Однако это могло быть и не результатом сознательного отравления со стороны англичан, а следствием того, что использовавшаяся в те времена **зелёная краска делалась из соединений мышьяка**. Как ты, наверное, догадываешься, именно в зелёный цвет была покрашена комната, в которой жил Наполеон на острове Святой Елены.



Мышьяком был отравлен **император Клавдий**, женатый на **Агриппине, матери Нерона**. Она хотела, чтобы императором стал её сын, и отравила мужа белыми грибами, подмешав в блюдо соединения мышьяка. Нерон действительно стал императором, и вскоре его жертвой стала... его собственная мать. Поистине — что посеешь, то и пожнёшь.



На основе мышьяка делают интересные полупроводниковые материалы, такие как **арсенид галлия** и ряд других.



## БРОМ (Br)

Следующий элемент — бром — **единственный неметалл, являющийся жидкостью при нормальных условиях**. Открыл бром **французский ученый БАЛАР**, который считался не очень хорошим химиком. Учёные того времени даже шутили, что это не Балар открыл бром, а бром открыл Балара.

это я тебя  
открыл!



НА ОСНОВЕ БРОМА ДЕЛАЮТСЯ  
УСПОКАИВАЮЩИЕ ЛЕКАРСТВА



## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Редкоземельные элементы — это такие элементы, как **скандий** (номер 21), **иттрий** (номер 39) и **лантаноиды**: элементы от **лантана** (номер 57) до **лютеция** (номер 71).

Многие из этих элементов были открыты в местечке Иттербю неподалёку от Стокгольма, столицы Швеции. Название «редкие земли», закрепившееся за ними, является **историческим артефактом**.

Например, оксиды элементов 2-й группы таблицы Менделеева называются «щелочные земли», а оксиды скандия, иттрия и лантаноидов — «редкие земли». Многие из этих элементов названы в честь скандинавских топонимов и особенно в честь маленького посёлка Иттербю. В честь Иттербю названо аж четыре элемента: **иттрий, иттербий, тербий, эрбий**. Вспомним также про скандий (в честь Скандинавии) и гольмий (в честь Стокгольма).



Редкоземельные металлы используются в самых разных областях технологий, например, самые лучшие **постоянные магниты** сделаны с применением таких элементов, как **неодим, самарий и диспрозий**. Скандий необходим в самолётостроении. В **лазерных кристаллах** часто есть редкоземельные ионы. Они также присутствуют в ряде высокотемпературных **сверхпроводников**, самым знаменитым из которых является так называемая фаза 1-2-3 —  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ .

За открытие **высокотемпературной сверхпроводимости** в такого рода соединениях **БЕДНОРЦУ** и **МЮЛЛЕРУ** была присуждена **Нобелевская премия по физике**. После этого началась очень жёсткая гонка за всё более и более высокотемпературными сверхпроводниками на основе сложных оксидов меди.



Cu



O



Y



Ba



МЮЛЛЕР

БЕДНОРЦ



Когда американский ученый китайского происхождения Пол Чу открыл рекордно высокотемпературную сверхпроводимость в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , он очень боялся, что рецензенты его статьи присвоят себе это открытие. Поэтому в изначальной версии статьи, которую он отправил в журнал, вместо иттрия (значок Y) фигурировал другой элемент из этой же группы, иттербий — значок Yb. А уже прямо перед публикацией статьи он исправил химическую формулу, это вызвало конфликт между ним и рецензентами статьи после её опубликования.



# ТЕХНЕЦИЙ (Te)

Следующий элемент, которого мы коснёмся, это технеций, элемент номер 43. Это **самый лёгкий элемент таблицы Менделеева**, все изотопы которого являются **нестабильными и радиоактивными**. По этой самой причине технеций не был найден в природе, он стал **первым элементом, синтезированным человеком в реакторе** в 1937 году. Отсюда и его название технеций, что значит «искусственный». Надо сказать, что об открытии этого элемента ещё в 1925 году объявили супруги Ида и Вальтер Ноддак. В то время их открытие сочли ошибочным, но сейчас многие думают, что они могли быть правы.



## РУТЕНИЙ, МОСКОВИЙ И ДРУГИЕ «РУССКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ»

Следующий элемент 44 — рутений. Это первый элемент **группы платиноидов**. Назван он в честь России, «Рутения» — это средневековое латинское название России. В честь России, различных российских городов и великих россиян назван ряд других элементов. Например, **самарий** получил такое имя благодаря горному инженеру Самарскому, предоставившему учёным образцы минерала самарскита, из которого позже и был получен этот элемент.

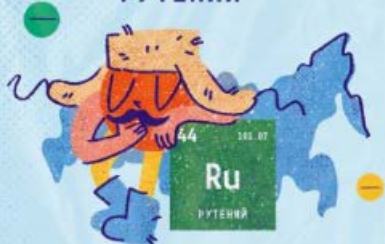
**Менделевий** — в честь Дмитрия Менделеева, **дубний** — в честь города Дубна, где находится Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), являющейся мировым лидером по синтезу новых химических элементов. **Флёровий** назван в честь академика Георгия Флёрова, который инициировал в Советском Союзе, а потом продолжал в России работы по синтезу новых элементов. **Московий** — в честь Москвы и **оганесон** — в честь академика Юрия Оганесяна.





# «РУССКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ»

РУТЕНИЙ



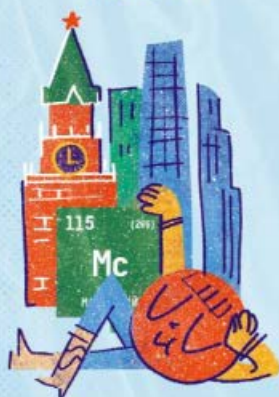
ФЛЁРОВИЙ



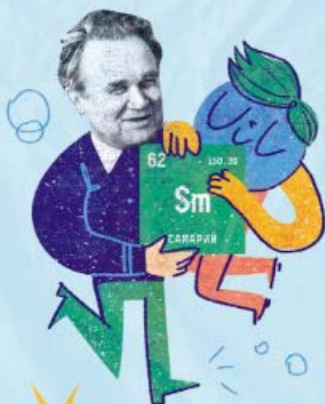
ДУБНИЙ



МОСКОВИЙ



САМАРИЙ



ОГАНЕСОН



МЕНДЕЛЕВИЙ



Кстати, всего лишь два элемента за всю историю были названы в честь людей при их жизни: сиборгий — в честь американца Гленна Сиборга, и оганесон.



# ОЛОВО (Sn)

Следующий элемент, о котором я хотел бы поговорить — это олово. Олово сыграло колоссальную роль в истории человечества, ведь это **один из двух основных компонентов бронзы**.

На смену каменному веку пришёл бронзовый век. Бронза — это материал, который гораздо более долговечен, чем камень. Менее твёрдый, но зато ковкий, более удобный в обработке и служащий куда дольше. Лично для меня является загадкой, как люди научились выплавлять бронзу. Дело в том, что **бронза — это сплав меди и олова**, значит, для его изготовления людям нужно было научиться выплавлять каждый из его компонентов.

**Медь** встречается в **самородном виде** на поверхности Земли, в отличие от олова, которое содержится в минерале **касситерите  $\text{SnO}_2$** .



В ранней истории человечества главным материалом, из которого делались орудия производства, был камень. Мы так и называем этот век — каменным. Хотя, конечно, люди использовали и дерево, и глину. Выплавка металлов привела к огромному рывку в развитии человечества.





Выплавить олово из касситерита — задача не из простых, да и его месторождения достаточно сложно найти. Для средиземноморской цивилизации главным источником олова был Корнуолл, Англия — на тот момент буквально край света.

Кому пришла в голову идея выплавлять олово, кто решил искать месторождения олова там, где, казалось бы, и цивилизации почти не было, как догадались сплавлять олово именно с медью — всё это пока загадки истории. Возможно, какую-то роль здесь сыграло то, что у олова и меди есть совместные минералы, например **станнин**  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ .





РАССЫПАЮСЬ!!!



Олово — необычный металл, для него известно две модификации при атмосферном давлении: **белое олово** — металлическое, но при охлаждении из него образуется **серое олово** — неметаллическое, это полупроводник. У серого олова кристаллическая структура типа алмаза. Когда при охлаждении происходит переход из белого олова в серое, очень **сильно меняется плотность**, объём растёт, и в результате кусок металлического белого олова рассыпается.

Это превращение называется **оловянной чумой**. Считается, что оловянная чума погубила **экспедицию капитана Скотта к Южному полюсу**. Вдоль пути к полюсу он оставлял запасы еды и керосина в баках с оловянными припоями. На обратном пути с Южного полюса Скотт и его команда обнаружили, что весь керосин из их запасов исчез, что обрекло команду на верную смерть. Оловянные припои топливных баков... рассыпались.

Можно встретить утверждение о том, что поход Наполеона против России оказался неудачным из-за оловянной чумы, поскольку пуговицы на мундирах наполеоновских солдат были сделаны из олова. Однако олово, из которого были сделаны пуговицы наполеоновских солдат, содержало примеси. Подобный оловянный сплав не претерпевает такого превращения, как оловянная чума.



Не Боюсь  
я оловянной  
чумы!



# ГАФНИЙ (Hf)

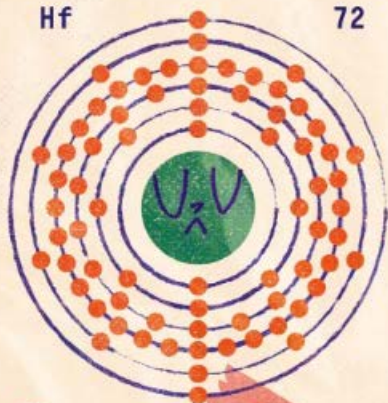
Отмечу ещё несколько любопытных элементов. Например **гафний**, названный в честь города Копенгаген. Hafnia — латинское название Копенгагена. Элемент по своим химическим свойствам удивительно похож на его более лёгкий и более распространённый аналог — **цирконий**.

Свойства этих атомов почти неотличимы. Но циркония гораздо больше и в земной коре, и во Вселенной, поэтому, как правило, гафний маскируется (или, как говорят, рассеян) в виде примесей в минералах циркония.

Известен только один очень редкий минерал гафния — **гафнон  $\text{HfSiO}_4$** .

Hf

72



ГАФНИЙ



ЦИРКОНИЙ

Zr

40

НАС  
МНОГО



# РТУТЬ (Hg)

Ртуть — другой примечательный элемент, **единственный жидкий металл при нормальных условиях**. Очень **токсичный**, поражающий прежде всего нервную систему.

Предполагается, что жертвами ртутного отравления были **первый император Китая ЦИНЬ ШИХУАНДИ** и **русский царь ИВАН ГРОЗНЫЙ**. Цинь Шихуанди окружил себя целым штатом придворных **алхимиков**, которые разрабатывали для него лекарство от старения и смерти. По воззрениям алхимиков того времени, бессмертие могла обеспечить именно ртуть, как **единственный элемент, способный растворять «непобедимое» золото**. Известно, что китайский император принимал **препараты из ртути** по наущению своих алхимиков.



Неудивительно, что умер он совсем не старым, в возрасте 49 лет. Возможно, именно с повреждениями нервной системы ртутью связана его неконтролируемая жестокость, которая погубила многие из его достижений.



ОХОХОЮШКИ,  
МОИ СУСТАВЫ

Про **ИВАНА ГРОЗНОГО** также известно, что его организм был отравлен ртутью. Это было обнаружено, когда его останки эксгумировали и в костях нашли огромную концентрацию этого элемента. Считается, что царь страдал от артрита, и лекари прописывали ему мази, содержащие соединения ртути, для снятия артритных болей.



## БЕЗУМНЫЕ ШЛЯПНИКИ

Возможно, ты помнишь, что у Льюиса Кэрролла был такой персонаж — Безумный Шляпник. Ты удивишься, но безумный шляпник — это не фантазия Кэрролла, а тип людей, который он наблюдал едва ли не каждый день.

В Англии XVIII–XIX веков мастера-шляпники, которые делали цилиндры, по-английски называемые *"top hat"*, использовали для их изготовления раствор, содержащий соли ртути. Организм шляпников постоянно находился в контакте с соединениями ртути, и примерно к тридцати годам эти ремесленники становились инвалидами: конечности неконтролируемо дёргались, а речь была бессвязной. В медицине эта болезнь сегодня называется синдромом безумного шляпника.





# ВИСМУТ (Bi)

Последним стабильным элементом таблицы Менделеева является **свинец**. Все элементы после свинца — радиоактивные во всех своих изотопных формах. Но первый из этих радиоактивных элементов — **висмут** — на самом деле можно считать стабильным.

Дело в том, что **его период полураспада крайне велик, он составляет  $2 \times 10^{19}$  лет**, то есть более чем в миллиард раз превышает возраст Вселенной. Поэтому с практической точки зрения висмут можно считать совершенно нерадиоактивным и стабильным элементом. Эта сверхслабая радиоактивность была открыта лишь в 2003 году.



## РАДИОАКТИВНЫЕ И СВЕРХТЯЖЁЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Следующий после висмута элемент — **полоний (№ 84)** уже **очень радиоактивен** и имеет небольшой период полураспада, всего 140 дней.

ВСЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОСЛЕ  
ПЛУТОНИЯ (№ 94)  
НЕ ВСТРЕЧАЮТСЯ В ПРИРОДЕ  
И МОГУТ БЫТЬ ПОЛУЧЕНЫ  
ТОЛЬКО ИСКУССТВЕННЫМ  
ПУТЁМ И В ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКИХ  
КОЛИЧЕСТВАХ.





Вообще, чем тяжелее элемент, чем больше его порядковый номер в таблице Менделеева, тем он менее стабилен. Это можно рассматривать только как общую тенденцию, которая не является монотонной.

При определённых числах нейтронов и протонов возникают **особо стабильные ядра** (их ещё называют «магическими»). Особо стабильным ядром является ядро железа  $^{56}\text{Fe}$ , именно поэтому его так много в Земле. Острова стабильности могут быть и среди радиоактивных элементов.



Уже с середины XX века предсказывалось, что **114-й элемент** и окружающие его элементы должны принадлежать к «**острову стабильности**», то есть время их жизни будет значительно дольше, чем у их соседей по таблице Менделеева. Ожидается, что один из изотопов 114-го элемента ( $^{298}\text{Fl}$ ) будет иметь период полураспада в миллионы лет, в то время как окружающие его элементы живут порядка секунды. Российским учёным удалось достичь «острова стабильности» и увидеть **резкое увеличение периода полураспада**.



Идут поиски более тяжёлых элементов, недавно был открыт 118-й, уже известный тебе оганесон ( $^{294}\text{Og}$ ). Предпринимаются попытки создания ещё более тяжёлых элементов: 119, 120, 121-го.



# ЭФФЕКТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Для тяжёлых элементов, условно начиная с лантаноидов, очень важными являются **эффекты, связанные с теорией относительности**. Традиционно химические свойства элементов, химические связи, да и сам **периодический закон** объяснялись **квантовой теорией**: электронными орбиталями, электронными оболочками и их заполнением, спариванием электронов во время образования химической связи. Долгое время никому даже не приходило в голову, что теория относительности тоже может иметь отношение к химии, но тем не менее это так.

Дело в том, что **внутренние электроны атомов движутся с огромной скоростью, сопоставимой со скоростью света**. Чем тяжелее атом, тем ближе к скорости света скорость движения внутренних электронов.

Например, **для атома водорода средняя скорость движения электрона составляет 1/137 от скорости света**. Для более тяжёлого атома гафния средняя скорость движения внутреннего электрона **будет равна примерно половине скорости света**. Поэтому поправки, связанные с теорией относительности, уже становятся важными. В ещё более тяжёлых элементах внутренние электроны показывают скорости, вплотную подходящие к скорости света.

## ВОДОРОД 1

$1/137$  ОТ СК. СВЕТА



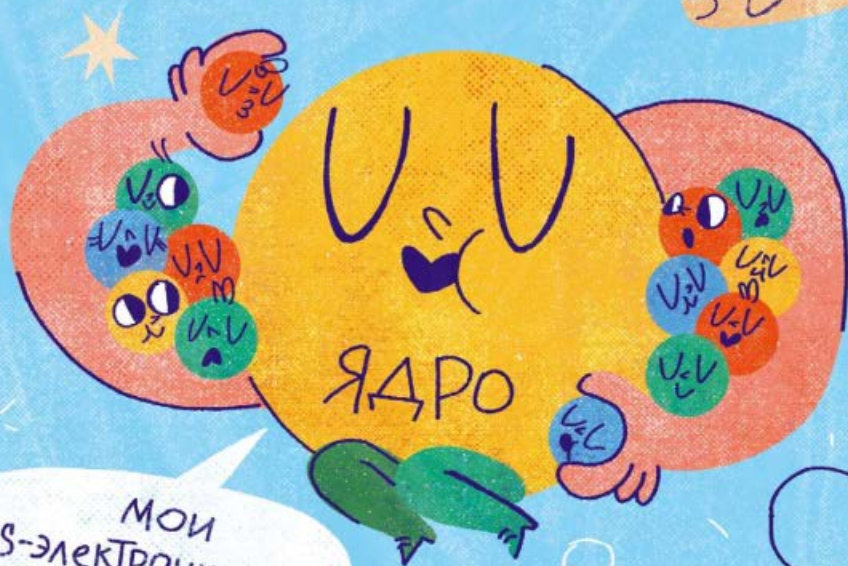
## ГАФНИЙ 72

$72/137 \approx 1/2$  ОТ СК. СВЕТА





«Что же происходит?» — спросишь ты. Теория относительности утверждает, что масса объекта увеличивается по мере того, как его скорость приближается к скорости света.



МОИ  
s-электрончики

s-ОРБИТАЛЬ

Это значит, что внутренние электроны наших элементов, движущиеся с такой большой скоростью, становятся более тяжёлыми. Более тяжёлый электрон оказывается ближе к атомному ядру, это относится не только к самым внутренним,  $1s$ -электронам, но и ко всем остальным  $s$ -электронам, тем самым  $s$ -электронам, которые имеют сферическое распределение вокруг ядра атома.

Поэтому **все тяжёлые  $s$ -элементы оказываются сжатыми**, их внешние валентные электроны сильнее притягиваются к ядру, из-за этого они **становятся химически менее активны**. Именно с этим связано то, что **золото гораздо более химически инертно, чем серебро** — его внешние  $s$ -электроны труднее оторвать.





Желтый цвет золота тоже связан с эффектами теории относительности. Пониженная химическая активность и жидкое состояние ртути — тоже. Эти эффекты приводят и к тому, что самый тяжелый из известных на сегодняшний день элементов — оганесон, который в таблице Менделеева относится к группе благородных газов, — на самом деле не является химически инертным, а химически довольно активен. А вот коперниций (Сп, 112-й элемент), располагающийся в таблице Менделеева под ртутью, как раз является химически инертным. Так что благодаря эффектам, связанным с теорией относительности, мы имеем дело с нарушениями периодического закона. Нарушения периодического закона, правда несколько другие, возникают и при высоких давлениях.



ДАВЛЕНИЕ  
ВЫКА

МНОГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
СТАНОВЯТСЯ БОЛЕЕ  
ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ  
ПОД ДАВЛЕНИЕМ!



**При высоких давлениях** элементы начинают вести себя совсем не так, как при нормальных условиях. Так, при давлении около двух миллионов атмосфер **натрий перестаёт быть металлом.**





Мы привыкли называть первую группу таблицы Менделеева щелочными металлами, но сильно сжатый натрий уже не является никаким металлом, он становится прозрачным. Это было предсказано мной и моими сотрудниками в 2009 году и подтверждено экспериментально.

Под давлением гораздо **более химически активными становятся благородные газы**. Ксенон охотно образует уже не только фториды, но и оксиды, и многие другие соединения. Более реакционноспособными становятся **золото** и в особенности **серебро и медь**.

Поведение химических элементов при высоких давлениях очень важно изучать, потому что именно при таких условиях находится львиная доля вещества Земли и других планет. Оказывается, что при этих условиях элементы ведут себя не так, как мы привыкли, но об этом в другой раз.

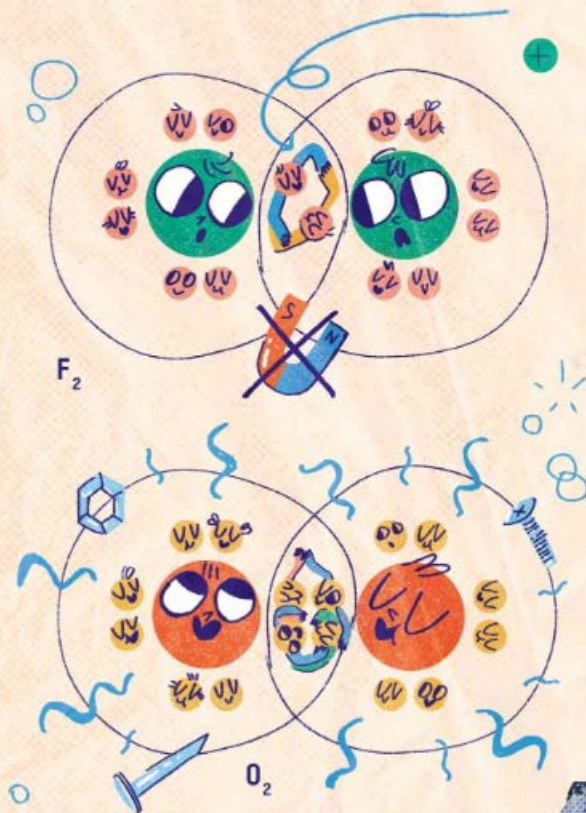


Знаешь ли ты, что **атомы большинства элементов — магнитные?**

У молекул такое свойство наблюдается редко, у кристаллов — ещё реже. Дело в том, что при образовании химических связей **неспаренные электроны атомов**, а именно они являются носителями магнитных свойств, **спариваются — и магнетизм пропадает.**

Посмотри на молекулу азота  $N_2$ : атом азота магнитен, а молекула нет. У атома фтора есть неспаренные электроны, но при образовании молекулы  $F_2$  электроны спариваются, и магнитные свойства пропадают. А вот молекула кислорода  $O_2$  является исключением, она всё равно остаётся магнитной.

Интересным образом укладываются молекулы  $O_2$  в кристаллическом кислороде, который образуется при низких температурах. **Магнитные моменты** разных молекул оказываются направлены в противоположные стороны. Такие вещества называют **антиферромагнетиками**. Но под давлением магнитный момент молекулы кислорода и всей кристаллической структуры кислорода пропадает.



**ОБЩЕЕ СВОЙСТВО МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ИХ МАГНЕТИЗМ ПРИ ДОСТАТОЧНО СИЛЬНОМ СЖАТИИ ИСЧЕЗАЕТ.**



Вообще, это общее свойство магнитных материалов: их магнетизм при достаточно сильном сжатии исчезает. Именно **это происходит с железом в ядре Земли**, я надеюсь, ты помнишь, что **там оно** совершенно **немагнитно**.

Когда мы **добавляем к одному атому другой, может возникнуть химическая связь**. Молекула в какой-то момент может прекратить свой рост, например, молекула  $N_2$  всегда остаётся такой — ей попросту не требуется третий атом. Так же как молекула  $N_2$ , она стабильна в двухатомном виде.



Углерод

А у нас не лишний!



Можно сделать более крупные молекулы, например, органические молекулы, но **после того, как насыщенная молекула создана, дополнительные атомы к ней присоединить уже не получится**.

В некоторых случаях можно наблюдать постоянное присоединение новых атомов: если ты возьмёшь молекулу  $C_2$ , добавишь к ней третий атом углерода — она охотно его присоединит. Эта молекула будет присоединять к себе и четвёртый, и пятый атом, и так до бесконечности, пока у тебя не вырастет кристалл графита или **алмаза**. То же самое можно сказать и про атомы **металлов**, состоящие из них молекулы могут расти неограниченно, вплоть до бесконечного кристалла.



# ЭРВИН ШРЁДИНГЕР

**ЭРВИН ШРЁДИНГЕР** — великий австрийский физик, один из отцов квантовой механики, написал замечательную книжку «Что такое жизнь?». В середине XX века, когда ещё не была расшифрована структура молекулы ДНК и люди имели только очень туманное представление о том, как устроена жизнь на молекулярном уровне, Шрёдингер сформулировал некоторые общие принципы, по которым работает жизнь.

Он первым понял, что **любые формы жизни**, которые только можно себе представить, существуют на основе дискретных молекул, таких, как **органические молекулы**. Невозможно сделать жизнь на основе немолекулярных форм материи — таких, как, например, кристаллы металлов или соли.



**В живых клетках молекула является носителем информации.** Для возникновения жизни нужно, чтобы на основе небольшого числа элементов можно было бы собрать огромное разнообразие (химически и структурно) отличающихся молекул. Это нужно для того, чтобы живой организм мог пересобрать из одних веществ другие, нужные ему.



Например, ты ешь хлеб, а организм, расщепляя углеводы, входящие в состав хлеба, часть из них окисляет с выделением энергии, а часть откладывает в жировую ткань как запас энергии на будущее. Такого рода примеров можно приводить очень много, но вывод будет всегда один и тот же: организм пересобирает из тех веществ, которые мы употребляем в пищу, те молекулы, которые ему в данный момент нужны.



Человечество открыло великое множество различных молекул, некоторые из них оказываются особо устойчивыми, легче других синтезируются и чаще других встречаются в природе. Если ты посмотришь на молекулы, которые образует атом углерода, то увидишь, что **особо распространена молекула  $C_{60}$**  — мы её уже видели, это **бакминстерфуллерен**, который можно найти даже в обычной саже. Такие, особо устойчивые и особо распространённые молекулы называются **магическими**. Их устойчивость связана с заполненной оболочкой, либо атомной, либо электронной.



Мы уже сталкивались с тем, что заполненная электронная оболочка определяет особую стабильность некоторых атомов, то же самое можно сказать и про молекулу. Заполненная оболочка может быть не только электронной, но и атомной, например икосаэдрический кластер  $\text{Al}_{13}$ , где есть один атом алюминия в центре и двенадцать атомов вокруг него, образующих икосаэдр.



Как-то я читал научно-популярную лекцию «Магические наночастицы» в одной лектории в центре Москвы. В какой-то момент я заметил, что многие люди смотрят на меня как будто вопросительно: они ожидали услышать что-то про магию, а слышали про стабильность молекул и принципы, которые это определяют. Что поделать — таков научный термин.



Итак, некоторые молекулы отказываются расти при дальнейшем увеличении числа атомов, другие — могут расти до бесконечности при добавлении атомов и образовывать **немолекулярный кристалл** (графит, алмаз, кристаллы металлов). Но даже те молекулы, которые отказываются расти дальше, будут взаимодействовать друг с другом посредством слабых, так называемых **вандерваальсовых связей**.



При низких температурах они будут образовывать **молекулярные кристаллы**, строительной единицей которых является молекула. Внутри этих молекул короткие расстояния и прочные связи между атомами, а между молекулами расстояния очень большие, а взаимодействия слабые.

**МОЛЕКУЛЯРНЫМИ КРИСТАЛЛАМИ ЯВЛЯЮТСЯ КРИСТАЛЛЫ ВСЕХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, В ЧАСТНОСТИ ЛЕКАРСТВА (ТАКИЕ, КАК АСПИРИН, И МНОГИЕ ДРУГИЕ).**



# КРИСТАЛЛЫ

РАЗДЕЛ 3



**Кристаллическое состояние** — это самое стабильное состояние **твёрдого вещества**. Есть и другие типы твёрдых веществ, например **аморфные вещества**, но они являются **метастабильными** — энергетически менее выгодными. Такие вещества рано или поздно всё равно перейдут в стабильное состояние. **Стекло** — это **пример аморфного вещества**, в течение долгого времени оно существует, но потом постепенно кристаллизуется.

Кристаллическое состояние характеризуется **периодической структурой**. В этой структуре можно выделить параллелепипед, который, если его параллельными переносами размножить во всех трёх направлениях, даст **бесконечную структуру идеального кристалла**. Да-да, идеальный кристалл — это бесконечный кристалл, а поверхность кристалла считается **дефектом**.

## АМОРФНЫЕ В-ВА

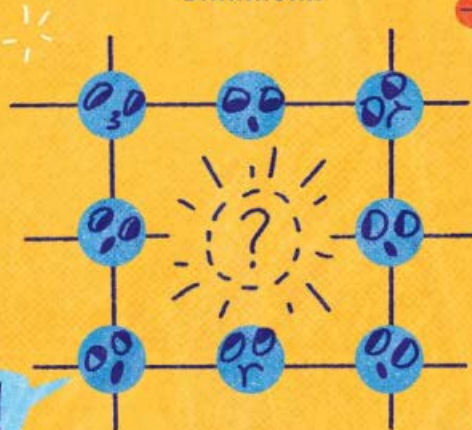


## КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ В-ВА



Бывают и другие дефекты: какие-то атомы могут отсутствовать — мы это называем **вакансией**, какие-то атомы могут быть посажены в пространство между атомами, мы называем их **междоузлиями**, а бывают и другие дефекты — например, **дислокации**, где половинки кристалла оказываются смещены друг относительно друга особым образом, и так далее.

## ВАКАНСИЯ



исчез!



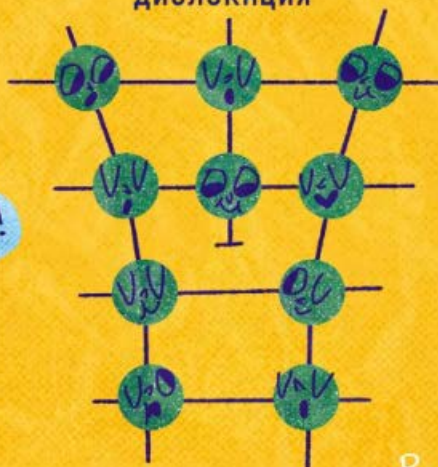
Растущий кристалл выталкивает примеси, он старается быть химически чистым. Для сравнения давай посмотрим на другие состояния вещества: **газы** идеально смешиваются друг с другом, взаимодействия между молекулами газа очень слабые, и одни молекулы газа не препятствуют другим входить в состав газа. **В жидкостях** обычно тоже очень широкие пределы смешимости, часто можно полностью смешать в любой пропорции разные жидкости, хотя бывают и несовместимые жидкости, например масло и вода, или другие многочисленные примеры.



МЕЖДОУЗЛИЯ



ДИСЛОКАЦИЯ





А вот в **кристаллах** вариативность химического состава гораздо более ограниченная. Некоторые кристаллы практически не принимают никаких примесей, например, в **алмаз** можно ввести только очень малое количество примесей, то же самое можно сказать про **кремнезём**  $\text{SiO}_2$ . Примеси, как правило, концентрируются в растворах или расплавах, из которых растёт кристалл, а сам кристалл старается быть химически более чистым.



На этом основан **метод очистки веществ**, известный как **зонная плавка**. Именно так впервые получили сверхчистый кремний: кристаллизуя кремний из расплава, получали более чистый кремний в кристаллической фазе, а примеси концентрировались в расплаве. Повторяя эту процедуру несколько раз, можно добиться очень высокой степени очистки кремния.

Этот метод можно использовать **для очистки или опреснения воды**: если кристаллизовать воду, получатся кристаллы льда, а соль и другие примеси будут концентрироваться в жидкой фазе.

**ПРЕДСТАВЬ, В КРИСТАЛЛЕ,  
КОТОРЫЙ МЫ ДЕРЖИМ В РУКАХ,  
ПОРЯДКА  $10^{23}$  АТОМОВ!**





Вообще, как растёт кристалл, во многом загадка. Только представь, в кристалле, который мы держим в руках, порядка  $10^{23}$  атомов. Каким образом такое колоссальное число атомов может почти без ошибок укладываться — загадка! Загадка, связанная с известным парадоксом для белков, парадоксом Левинталя.

## ПАРАДОКС ЛЕВИНТАЛЯ

У белка гибкая структура: есть основная цепь, к которой примыкают боковые, и звенья этого белкового полимера соединены гибким образом. Это означает, что возможностей разного типа сворачивания белковой молекулы в трёхмерную структуру астрономически много.

Парадокс Левинталя говорит нам о том, что **молекуле белка потребовалось бы астрономически долгое время, чтобы попробовать все варианты сворачивания и найти самый оптимальный.** Тем не менее молекула каким-то образом сама **находит нужную структуру за очень короткое время** — это и есть суть парадокса Левинталя.



К слову, до сих пор удовлетворительная теория роста кристаллов не создана, это во многом загадочный процесс. Кто знает, может быть, тебе удастся когда-нибудь объяснить его.

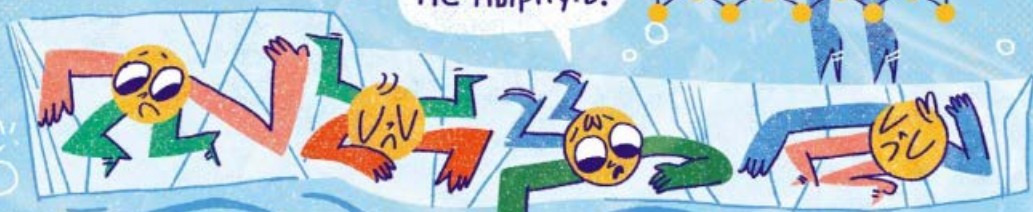
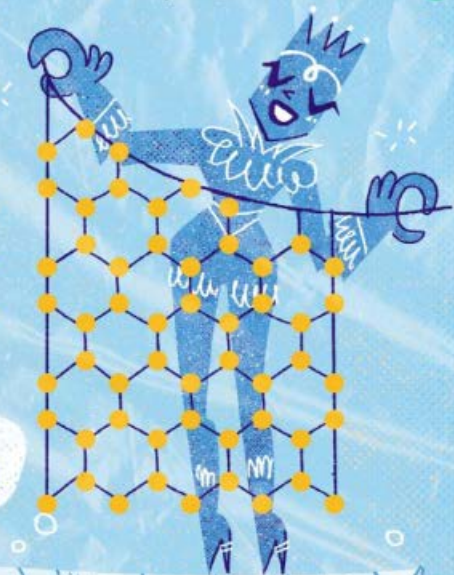




Давай посмотрим на лёд. **Лёд**, как ты знаешь, **легче воды**, при обледенении рек и озёр замерзает только верхняя часть. Под ней может сохраниться жидкая вода, в которой выживают различные формы жизни. Айсберги не тонут, а плавают на поверхности воды. Всё это связано с тем, что **лёд обладает ажурной структурой**, в которой присутствуют большие **шестиугольные**, или, как говорят учёные, **гексагональные каналы**.

Благодаря такой ажурной структуре лёд плавится под давлением. При плавлении пустые шестиугольные каналы структуры льда забиваются молекулами воды, кристаллическая структура нарушается, и плотность увеличивается. Обычно кристалл плотнее жидкости, но лёд и вода — **аномальные вещества**.

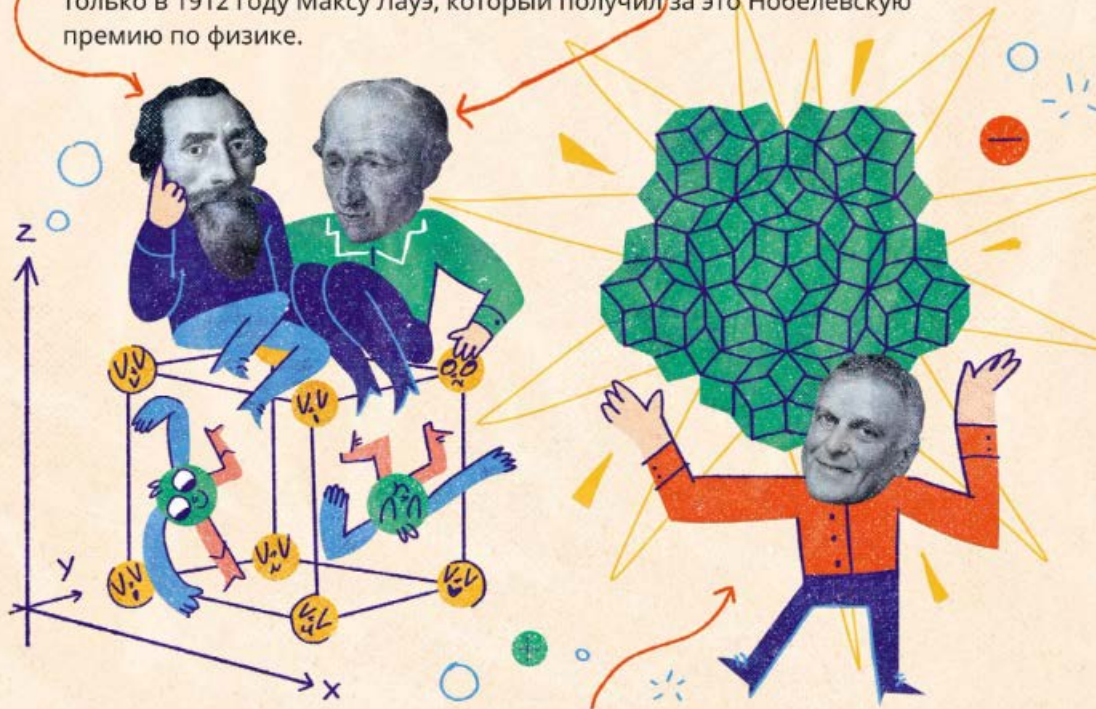
Эээх,  
не нырнуть!



Кстати, такой же структурой обладает лонсдейлит, или гексагональный алмаз, модификация углерода.



Вернёмся к тому, что структура кристалла — это периодический узор. Минимальный параллелепипед, который повторяется в пространстве в трёх направлениях, создавая полную кристаллическую структуру, называется элементарной ячейкой. В своё время о периодичности строения кристаллов догадывались великие астроном **ИОГАНН КЕПЛЕР** и кристаллограф **РЕНЕ ЖЮСТ ГАЮИ**. Но доказать это удалось только в 1912 году Макс Лауэ, который получил за это Нобелевскую премию по физике.



В 1982 году израильским учёным **ДАНОМ ШЕХТМАНОМ** было сделано удивительное открытие — **квазикристаллическое состояние вещества**. Он делал эксперименты по быстрому охлаждению алюминий-марганцевого сплава, рассчитывая получить **аморфный металлический сплав**. Но он получил нечто гораздо более интересное.

Надо сказать, что вещества с разной охотой или неохотой образуют аморфное состояние. Металлы менее всего склонны становиться аморфными, их атомы, как правило, очень легко перестраиваются и перемещаются, образуя стабильную кристаллическую структуру.



Для того, чтобы обмануть атомы и не дать им времени перестроиться с образованием упорядоченной периодической структуры, требуется **очень быстрое охлаждение**, порядка миллиона градусов в секунду. Но и в этом случае не каждый металл сумеет образовать аморфную структуру. Часто, чтобы усилить склонность к образованию аморфного состояния, **добавляются особые элементы**, такие как бор, кремний и марганец.

По этой самой причине Шехтман, пытаясь получить аморфный металлический сплав, добавлял к алюминию марганец. Результат его эксперимента по быстрому охлаждению этого сплава был поразительный. Он обнаружил вещество, обладающее **упорядоченной структурой, но лишенное периодичности**.

Упорядоченная структура, без всякого сомнения, подтверждалась тем, что полученное вещество показывало очень чёткую **дифракционную картину**, которую от неупорядоченного вещества получить бы не удалось. **Симметрия полученного вещества** и симметрия дифракционной картинки, которую он наблюдал, была удивительной. Она содержала **ось симметрии 10-го порядка**.

Дело в том, что трёхмерные периодические узоры могут иметь только определённые типы симметрии.

\* Что такое дифракция, смотри на с. 92.



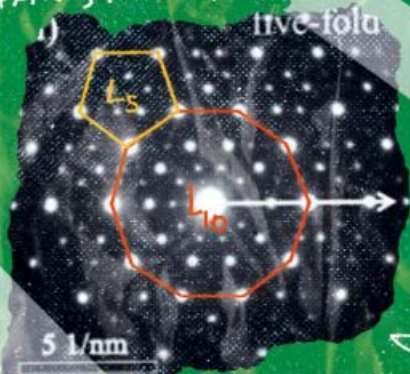


Если мы говорим о поворотных симметриях, то это могут быть оси симметрии 2-го порядка, 3, 4 и 6-го. Оси симметрии 5-го порядка, 7-го и более высоких в трёхмерных периодических структурах математически запрещены. Это было доказано ещё в XIX веке.

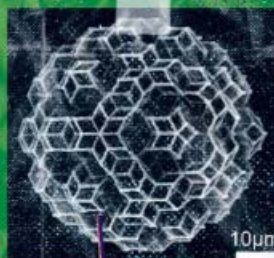
Поворотные оси симметрии



Дифракционная картина



КВАЗИКРИСТАЛЛ



Считалось, что единственной возможной упорядоченной структурой является периодическая кристаллическая структура. Однако Шехтман получил экспериментальные данные, указывающие на то, что его сплав  $\text{Al}_{86}\text{Mn}_{14}$ , обладая порядком, содержал симметрию, запрещённую для трёхмерных периодических кристаллов.



Таким образом, его упорядоченная структура не была периодической. Это новое состояние вещества было названо **квазикристаллическим**. За своё открытие Шехтман в 2010 году получил **Нобелевскую премию по химии**.



Оказывается, существует класс узоров, называемых **мозаиками Пенроуза**, которые обладают порядком, чёткой дифракционной картиной, но не являются периодическими и содержат запрещённые в периодических кристаллах оси симметрии. Именно на этом принципе построены структуры квазикристаллов.

К настоящему времени найдены уже сотни такого рода веществ, которые содержат оси симметрии 5, 8, 10, 12-го порядков.

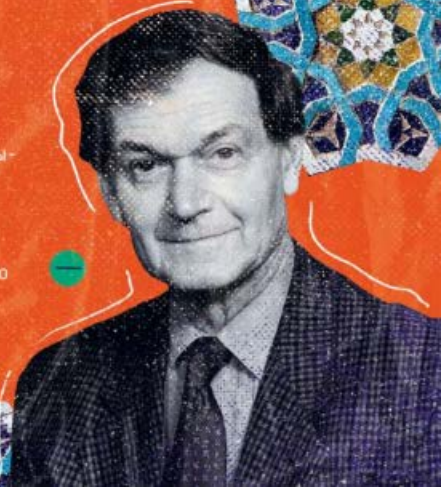
**Двумерные мозаики**, на которых основаны такого рода структуры, называются мозаиками Пенроуза. Существуют их **трёхмерные** аналоги, имеющие симметрию икосаэдра.



## РОДЖЕР ПЕНРОУЗ

Великий английский математик и физик, в 2020 году получивший Нобелевскую премию по физике за свою работу по изучению чёрных дыр. Но помимо этого он сделал много других удивительных вещей, в том числе обнаружил в 1974 году (за восемь лет до открытия квазикристаллов) эти удивительные узоры.

Сам Пенроуз, конечно, не знал, что первые подобные мозаики, самые ранние из которых датируются 1160 годом, впервые были созданы в Иране. Подобного рода мозаики появлялись и позже — в Испании во дворце мавританских правителей Альгамбра и в Узбекистане.





Все известные на сегодняшний день квазикристаллы — это соединения различных металлов друг с другом, как правило, имеющие сложный химический состав. Квазикристаллы были найдены и в природе; на сегодняшний день известно несколько природных квазикристаллических минералов.


Будучи металлическими соединениями, квазикристаллы проявляют нетипичные для металлов свойства: они достаточно твёрдые, но при этом хрупкие, плохо проводят ток и тепло.

КВАЗИКРИСТАЛЛЫ ПРОЯВЛЯЮТ  
НЕТИПИЧНЫЕ ДЛЯ МЕТАЛЛОВ  
СВОЙСТВА!



Этим свойствам пока что нашли не так много применений, но уже сейчас квазикристаллы применяются в качестве покрытий для антипригарных сковородок и для покрытия лезвий в некоторых электробритвах.





Вообще, львиная доля твёрдого вещества во Вселенной — это кристаллическое вещество. Значительная доля материалов, которые мы используем, — кристаллические вещества. Примерно 90% объёма вещества Земли составляет кристаллическое вещество, как и примерно 100% объёма Луны.

Как мы уже обсуждали, внутреннее ядро Земли — кристаллическое и состоит преимущественно из железа, а внешнее ядро Земли, также состоящее из железа, — жидкое. Внутреннее ядро Земли кристаллизуется из внешнего жидкого ядра в результате охлаждения планеты.

ВСЕГО НАМ ИЗВЕСТНО ОКОЛО  
**6000** МИНЕРАЛОВ,  
БОЛЬШИНСТВО ИЗ НИХ —  
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ

У внутреннего ядра Земли есть целый ряд удивительных свойств, благодаря которым в середине 1990-х годов была высказана гипотеза о том, что всё внутреннее ядро Земли является одним огромным монокристаллом, то есть единой кристаллической структурой. Но впоследствии выяснилось, что это не так, да и не могло это быть так.



Наша планета сложена из минералов. Самым распространённым из них является **бриджманит**, силикат магния  $\text{MgSiO}_3$ , составляющий примерно **40% объёма всей Земли**, или **75% объёма нижней мантии** планеты. Нижняя мантия простирается с глубины 670 км практически до границы ядра Земли на глубине 2891 км.

В самых нижних слоях мантии, на границе с ядром, этот минерал претерпевает превращение в другой минерал — так называемый **пост-перовскит**, который был открыт в 2004 году. В этом открытии я принимал непосредственное участие.



Очень важно понимать, что минералы мантии Земли обладают низкой теплопроводностью. **Низкая теплопроводность** приводит к тому, что в нижних слоях мантии Земли миллиардами лет могут существовать **огромные контрасты температур**.

В частности, между холодными и горячими участками разность температур достигает 2 000 °C. Кроме того, очень велика разность температур между мантией и ядром, она достигает примерно 1 500 °C и, как мы видим, сохраняется в течение долгого времени.



До недавнего времени считалось, что кристаллические структуры можно определять только экспериментально, например, **с помощью методов рентгеновской дифракции**.

Эти методы были впервые разработаны **УИЛЬЯМОМ ГЕНРИ И УИЛЬЯМОМ ЛОРЕНСОМ БРЭГГАМИ** — отцом и сыном. Они опубликовали свои первые работы в 1913 году и получили **Нобелевскую премию по физике** в 1915-м. Уильям Лоренс Брэгг, которому на тот момент было 25 лет, до сих пор остаётся самым молодым лауреатом Нобелевской премии.



Первыми кристаллическими структурами, которые они расшифровали, были структуры поваренной соли, алмаза и цинковой обманки  $ZnS$ . Со временем люди научились расшифровывать и более сложные структуры. В частности, методами рентгеновской дифракции была расшифрована структура молекулы ДНК, а это, в свою очередь, позволило человечеству понять, как работает наследственность у живых существ.

Вообще, свойства вещества определяются его структурой: положением атомов, силой и топологией химических связей.





Раньше учёные думали, что теоретическое предсказание кристаллических структур принципиально невозможно. Стабильная **кристаллическая структура** — это такое расположение атомов, при котором достигается **наименьшая энергия**, но всех вариантов расположения атомов в пространстве настолько много, что даже времени жизни Солнца не хватит, чтобы перебрать их на самом быстром суперкомпьютере.



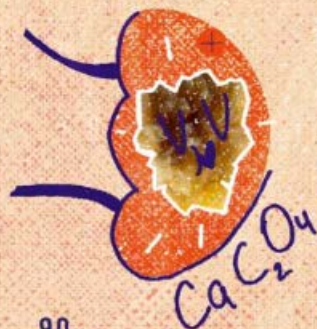
Тем не менее задача предсказания кристаллических структур была решена: **мы опубликовали метод, основанный на принципах эволюции**, в 2006 году. Он позволяет решить эту задачу за достаточно короткое время. Теперь учёные могут предсказывать новые кристаллические структуры и новые химические соединения до того, как их экспериментально получат. Это открывает возможности для дизайна новых материалов.

С помощью такого рода работ были предсказаны и затем подтверждены экспериментально **рекордные высокотемпературные сверхпроводники**, такие как  $\text{H}_3\text{S}$ ,  $\text{YH}_6$ ,  $\text{ThH}_{10}$ ,  $\text{LaH}_{10}$ . С открытием этих материалов человечество вплотную приблизилось к комнатной сверхпроводимости (впрочем, пока что лишь при давлениях свыше миллиона атмосфер).




Другими очень интересными областями дальнейших исследований являются **расшифровки структуры наноматериалов, поверхностей кристаллов, границ между кристаллическими зёрнами в материалах.**

Кристаллическое состояние — это не только основное состояние твёрдых веществ во Вселенной и огромное количество материалов, с которыми мы сталкиваемся каждый день, но и **кристаллические вещества, которые есть и в теле человека, например в костях и зубах.**



Камни в почках — это тоже кристаллическое вещество **оксалат кальция  $\text{CaC}_2\text{O}_4$** . Мучительная болезнь подагра вызвана ростом кристаллов **урата натрия** в суставах пальцев ног. Недавние исследования указывают на то, что и астма связана с возникновением **кристаллов белков** в лёгких человека. Возможно, многие из этих болезней люди научатся лечить благодаря знаниям, накопленным кристаллографами.

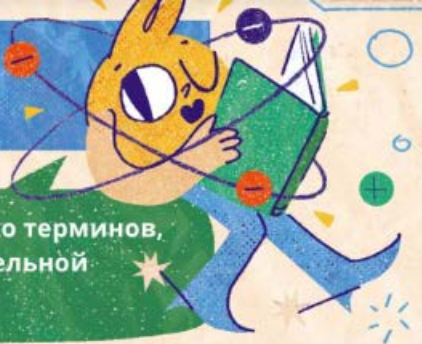




Дорогой друг, наш экскурс в строение вещества завершён. Мы начали с атомов и простых веществ, состоящих из одного типа атомов, потом немного поговорили о молекулах и кристаллах, обсудили квазикристаллы. Я надеюсь, что эта книга пробудила в тебе любопытство. Возможно, ты захочешь изучать удивительную науку химию и дальше.



# ПРИЛОЖЕНИЕ



В нашем рассказе мы допустили несколько терминов, которые, возможно, потребуют дополнительной расшифровки.

## ИЗОТОПЫ

Это разновидности элемента с разной атомной массой. Каждое атомное ядро состоит из определённого числа протонов и нейтронов. Число протонов определяет порядковый номер в таблице Менделеева и является фиксированным для данного элемента. Число нейтронов может быть разным и влияет только на атомную массу, химические свойства мало зависят от него. У большинства элементов есть несколько изотопов, стабильных и нестабильных. Все элементы после свинца характеризуются только нестабильными изотопами.



## ДИФРАКЦИЯ

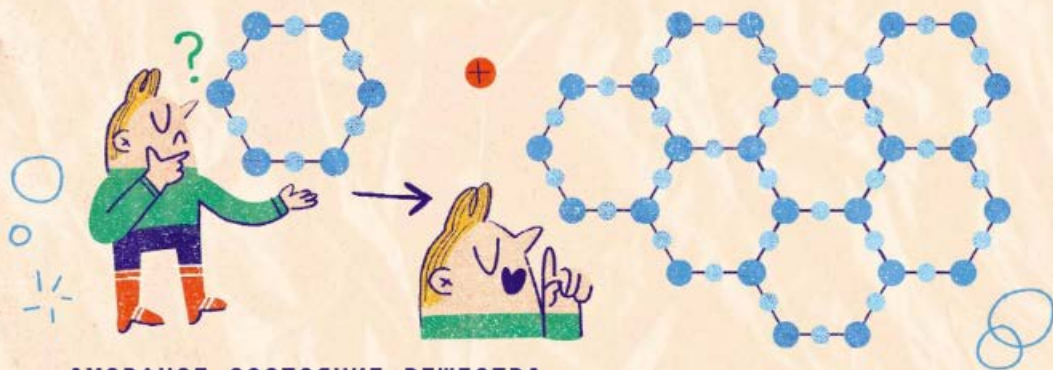
Явление огибания лучами объекта. Рентгеновские лучи имеют длину волны порядка одного ангстрема ( $10^{-10}$  метра). Такого же порядка расстояние между атомами в кристаллической структуре и периодичность кристаллических структур. Благодаря этому кристаллическая структура работает, как дифракционная решётка для рентгеновских лучей. Рентгеновские лучи не только проходят сквозь кристалл, но ещё и отражаются на строго определённые углы. Можно говорить об отражении лучей от плоскостей кристаллической структуры. Чёткая дифракционная картинка является несомненным признаком дальнего порядка.





## ДАЛЬНИЙ ПОРЯДОК

Характеризует возможность предсказать расположение атомов сколь угодно далеко по конечному фрагменту структуры. Например, если структура периодическая, можно взять минимальный периодически повторяющийся кусок этой структуры и замостить им всё пространство. В этом случае мы говорим, что структура имеет дальний порядок. До недавнего времени считалось, что периодичность — это единственный способ создать дальний порядок, но оказалось, что это не так: мозаики Пенроуза, не являясь периодическими, тоже обладают дальним порядком. Признаком дальнего порядка является чёткая дифракционная картинка.



## АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Характеризует твёрдые тела, не имеющие дальнего порядка. У всех жидкостей и твёрдых тел есть ближний порядок, который состоит в том, что каждый атом стремится окружить себя атомами на определённых расстояниях с определёнными углами между связями. Ближний порядок присутствует там, где важны взаимодействия между атомами. Дальний порядок в аморфных телах отсутствует, следствием этого является нечёткая, очень размытая дифракционная картинка, качественно отличающаяся от дифракции рентгеновский лучей в кристаллах и квазикристаллах. Хотя это и не доказано, у учёных не вызывает сомнения, что аморфное состояние вещества не является термодинамически стабильным, а является метастабильным. То есть при любых давлениях и температурах всегда можно расположить атомы в кристаллической структуре более выгодным путём, чем в аморфном состоянии.



## ПОРЯДОК ОСЕЙ СИММЕТРИИ

Симметрию можно определить как совпадение объекта с самим собой после проведения некой математической операции — такой, как отражение или поворот, и так далее. Если мы говорим о поворотной симметрии, то можно выделить разные оси симметрии. Если объект при повороте на полный круг ( $360^\circ$ ) совпадает с собой два раза, то мы говорим об оси симметрии 2-го порядка. Если три раза, то об оси симметрии 3-го порядка и так далее. Например, правильный равносторонний треугольник имеет ось симметрии 3-го порядка, ромб — ось симметрии 2-го порядка, квадрат — ось симметрии 4-го порядка, пятилучевая и шестилучевая звёзды — оси симметрии 5-го и 6-го порядка соответственно.

Ещё в XIX веке было доказано, что трёхмерные периодические объекты могут содержать оси симметрии 2, 3, 4 и 6-го порядков. А оси 5-го, 7-го и более высоких порядков несовместимы с трёхмерной периодичностью.



Ты хорошо знаешь, что объекты с осями симметрии 5-го порядка существуют. Например, цветки яблони, морские звёзды, пятиконечная звезда. Ты, возможно, удивишься, но такую ось симметрии имеют многие вирусы, но ни один из этих объектов не обладает периодической структурой. В периодических структурах подобные оси симметрии невозможны. В живой природе в то же время оси симметрии 5-го порядка очень популярны. Академик Николай Васильевич Белов предположил, что выбор такой формы живыми существами обеспечил им защиту от кристаллизации, став способом борьбы за существование. Также любопытным фактом является то, что в четырёхмерном пространстве и пространствах большей размерности ось симметрии 5-го порядка уже совместима с трансляционной периодичностью.



# СОДЕРЖАНИЕ

## Раздел 1. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ..... 4

Водород (H) .....	12
Гелий (He) .....	16
Литий (Li) .....	22
Бериллий (Be) .....	23
Бор (B) .....	24
Углерод (C) .....	28
Азот (N) .....	34
Кислород (O) .....	38
Фтор (F) .....	44
Неон (Ne) .....	46
Железо (Fe) .....	48
Галлий (Ga) .....	52
Мышьяк (As) .....	53

Бром (Br) .....	54
Редкоземельные элементы .....	54
Технеций (Tc) .....	56
Рутений, Московий и другие «РУССКИЕ» элементы .....	56
Олово (Sn) .....	58
Гафний (Hf) .....	61
Ртуть (Hg) .....	62
Висмут (Bi) .....	64
Радиоактивные и сверхтяжёлые элементы .....	64
Эффекты теории относительности .....	66

## Раздел 2. Молекулы ..... 70

## Раздел 3. Кристаллы ..... 76

## Приложение ..... 92



Серия «Большая наука детям»  
Научно-популярное издание  
училищно-букварный басис  
Для среднего и старшего школьного возраста

Артём Ромаевич Оганов

## ХИМИЯ

Художник Василиса Зинкова

Дизайн обложки и шрифтовая композиция В. Зинковой  
В оформлении обложки использованы иллюстрации В. Зинковой  
Заведующий редакцией П. Кострикин Ведиущий редактор Т. Даркач. Художественный редактор Е. Гордеева  
Корректор Р. Низяева. Компьютерная верстка В. Зинковой  
Редакция благодарит Е. Гордееву и Д. Калинин за помощь в подготовке издания

Общероссийский классификатор продукции ОК-034-2014 (КПЕС 2008):

58.11.1 — книги, брошюры печатные.

Книжная продукция — ТР ТС 007/2011. Произведено в Российской Федерации

Подписано в печать 05.07.2022 г. Дата изготовления: сентябрь 2022 г.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура FreeSet.

Усл. печ. л. 11,16. Тираж 3 000 экз. Заказ №

Адрес места осуществления деятельности по изготовлению продукции: Российская Федерация,  
123112, Москва, Пресненская наб., д. 6, стр. 2, Деловой комплекс «Империал», 14,15 этаж

Изготовитель: ООО «Издательство АСТ», 129085, Российская Федерация, г. Москва,

Звездный бульвар, дом 21, строение 1, комната 705, пом. 1, 7 этаж.

Наш электронный адрес: ask@ast.ru.

Home page: www.ast.ru

Мы в социальных сетях. Присоединяйтесь!

www.ast.ru/redactions/avanta

vk.com/ast.deti

l.me/ast.deti

ok.ru/ast.deti

zen.yandex.ru/astdeti

«АСТ» Бюро «АСТ»

129065, Москва, ул. Ждильская, д. 21/ул. 1-я Архипова, 705-бизнес, 1 этаж, Т-центр

Мailing: электронная почта: ask@ast.ru E-mail: ask@ast.ru

Интернет-магазин: www.book24.biz Интернет-магазин: www.book24.biz

Получатель в Республике Беларусь и Прибалтике по адресу: проспект

в Республике Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Казахстан и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Казахстан и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Беларусь и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Беларусь и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Беларусь и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Беларусь и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Клиент Республики Беларусь и Республики Беларусь — ООО «АСТ» Алматы, г. Алматы

Оганов, Артём Ромаевич.

ОЗ6 Химия / А. Оганов; худож. В. Зинкова — Москва: Издательство АСТ, 2022. —

94, [2] с.: ил. — (Большая наука детям).

ISBN 978-5-17-145181-3.

Книга известного учёного Артёма Оганова расскажет школьникам о химических элементах, атомах и молекулах, кристаллах, а яркие запоминающиеся иллюстрации художника Василисы Зинковой дополняют интересный рассказ, заставив подростков улыбнуться.

Для среднего и старшего школьного возраста.

УДК 087.5:54  
ББК 54я2



Моя прелесть!

118  
0g

Химия — удивительная наука, открывающая людям окружающий их мир. Наши глаза не видят атомов и молекул, но с помощью современных методов химии могут их изучать. Автор приглашает юного читателя отправиться в прекрасный мир знаний и познакомиться с химическими элементами и их соединениями, подружившись с атомами, молекулами и кристаллами. «Химия» — первая научно-популярная книга Артёма Оганова, написанная для школьников.



■ Артём Оганов — кристаллохимик, материаловед. Автор более 300 научных работ по теоретическому дизайну новых материалов, предсказанию кристаллических структур, изучению наночастиц, химии и минералогии высоких давлений. Доктор физико-математических наук. Профессор Сколтеха, заведующий кафедрой в НИТУ-МИСИС, заведующий Лабораторией кристаллохимии в Институте геохимии и аналитической химии РАН. Член Европейской Академии, почётный член Королевского химического общества, Американского физического общества, Минералогического общества Америки. Профессор Российской академии наук.

Присоединяйтесь к нам!

[www.ast.ru/redactions/avanta](http://www.ast.ru/redactions/avanta)  
[vk.com/ast.deti](https://vk.com/ast.deti)  
[t.me/astdeti](https://t.me/astdeti)  
[ok.ru/ast.deti](https://ok.ru/ast.deti)  
[zen.yandex.ru/astdeti](https://zen.yandex.ru/astdeti)

6+

Аванта

ISBN 978-5-17-145181-3



www.ast.ru