

ЭНЦИКЛОПЕДИИ
ASTAR Wonder
С ДОПОЛНЕННОЙ
РЕАЛЬНОСТЬЮ

СПЕКТОР АННА АРТУРОВНА

МИКРОМИР

Аванта

УДК 5(03)
ББК 20я2
С71

Серия «Энциклопедии ASTAR Wonder с дополненной реальностью» основана в 2024 году

Спектор, Анна Артуровна.

С71 Микромир / А. А. Спектор. — Москва : Издательство АСТ, 2025. — 159, [1] с. : ил. — (Энциклопедии ASTAR Wonder с дополненной реальностью).
ISBN 978-5-17-168165-4.

Мир, если его рассматривать под микроскопом, выглядит совершенно не так, как мы себе его представляем. При увеличении в сотни или даже тысячи раз волос превращается в ствол дерева с толстой корой, песчинки — в россыпь причудливых кристаллов, а миллиметровая мошка — в грозное существо с огромными глазами-фасетками, зубастой челюстью, длинным хоботом-пилой и большими мохнатыми лапами. Листая страницы этого уникального издания с дополненной реальностью, вы погрузитесь в микромир — невероятную скрытую «вселенную», состоящую из молекул, атомов, нейтронов и других мельчайших частиц. Взгляните на свою ладонь: сквозь нее прямо в этот миг пролетает триллион нейтрино, испущенных Солнцем. Правда, вы этого не замечали? Да, микромир не виден невооруженным глазом, но готов раскрыть свои секреты юным любителям науки.

Приготовьтесь удивляться красоте и многообразию представленных в этой книге микроскопических «кирпичиков», которые составляют всё живое и неживое. В таинственном микромире ежесекундно что-нибудь происходит: растут и делятся клетки, антитела сражаются с вирусами, бактерии неумоимо перерабатывают белки, жиры и даже углекислый газ или железо, в капле воды барахтаются инфузории, микроскопические водоросли сбиваются в шары или объединяются в длинные ленты. Многочисленные наглядные схемы и рисунки, большое количество зрелищных фотографий, полученных благодаря световой и электронной микроскопии, а также лучшие образцы макросъемки помогут вам разглядеть настоящее волшебство, скрытое в самых разных объектах и явлениях микромира — от полярного сияния до цветения воды, от неспешного передвижения микроскопического «медведя» под названием тихоходка до порхания резво машущих крылышками миниатюрных колибри. А благодаря 4D-визуализации вы сможете побывать внутри молекул, клеток и органов, рассмотреть мельчайшие организмы во всех подробностях, объеме и движении и, кроме того, прослушать аудиозаписи с интересными фактами, которые глубже погружают в тайны невидимой «вселенной».

Для среднего и старшего школьного возраста.

**УДК 5(03)
ББК 20я2**

ISBN 978-5-17-168165-4

© Оформление, иллюстрации. ООО «Интеджер», 2025

© ООО «Издательство АСТ», 2025

В оформлении использованы материалы, предоставленные
Фотобанком Shutterstock, Inc., Shutterstock.com

В оформлении использованы материалы, предоставленные
Фотобанком Dreamstime, Inc., Dreamstime.com

Содержание

ОСНОВЫ МИКРОМИРА

4D Невидимый мир.....	4
4D Как увидеть невидимое?.....	6
Электронные микроскопы.....	8
Необъятная Вселенная из мельчайших частиц.....	10
4D Неделимое делимое.....	12
4D Микромир, видимый невооруженным глазом.....	14
Молекула — шаг от микромира к макромиру.....	16

МИКРОМИР КРИСТАЛЛОВ

Кристаллы: строгий порядок частиц.....	18
4D Замок из песка — хрупкий микромир.....	20
4D Секреты поваренной соли.....	22
4D Снежинка и витамин С — что общего?.....	24
Микромир металлов.....	26

БИОМОЛЕКУЛЫ И ИХ «ОБЪЕДИНЕНИЯ»

Жизнь под микроскопом.....	28
Белки — строители и защитники нашего тела.....	30
Липиды — польза и вред.....	32
Углеводы — источник энергии.....	34
4D Какая молекула самая большая?.....	36

ВИРУСЫ И БАКТЕРИИ

4D Крошечные источники глобальных эпидемий.....	38
Бактерии — карлики и гиганты.....	40
Невидимые враги.....	42
Микробиом — сообщество мельчайших частиц.....	44
4D Микроскопические создатели сыра и йогурта.....	46
Почему вода приобретает красный цвет?.....	48
4D Маленькие создатели огромного мира.....	50

ЭУКАРИОТЫ: ВЕРШИНА ЭВОЛЮЦИИ

4D Что общего у инфузории и человека?.....	52
4D Органеллы — крошечные «органы» клеток.....	54
4D Пластиды: источники ярких красок.....	56
Хромосомы — большое в малом.....	58

ПРОСТЕЙШИЕ

Амебы — маленькие виртуозы метаморфоз.....	60
Эвглены — растение и животное в одной клетке.....	62
Инфузории — непростые простейшие.....	64
Микроскопические раковины — фораминиферы.....	66
4D Радиолярии: феномены микромира.....	68
Динофлагелляты: мастера «спецэффектов».....	70

ГРИБЫ — ОСОБОЕ ЦАРСТВО

4D Растение или животное?.....	72
Симбиоз грибов и растений.....	74
4D Откуда берется плесень?.....	76
Пенициллин: спасший миллионы жизней.....	78
Дрожжи — «хлебные грибки».....	80
4D Лишайники — союз гриба и водоросли.....	82

ВОДОРΟΣЛИ

4D Диатомеи: живая геометрия.....	84
Главные водоросли планктона.....	86
Хлорелла — «зеленое золото» планеты.....	88
Десмидиевые водоросли: образец симметрии.....	90
Вольвокс — находка для ученых.....	92
Спирогира — вред или польза?.....	94

ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ

Мхи — природные компасы.....	96
Есть ли цветок у папоротника?.....	98
4D Хвощи — куда спрятались листья?.....	100
Хвойные: тайны под микроскопом.....	102
Падают ли с елки старые иголки?.....	104
4D Цветковые растения: элита флоры.....	106
4D Цветок — от микромира к макромиру.....	108
4D Почему опадают листья?.....	112
Плоды: целый мир в завязи цветка.....	114

ЖИВОТНЫЕ

Губки — живые фильтры.....	116
Подводное царство коралловых полипов.....	118
4D Стрекающие — полип или медуза?.....	120
Звезды бывают не только на небе.....	122
Моллюски: мягкотелье уникамы.....	124
Микроскопический медведь.....	126
Коловратка — водяное «колесо».....	128
4D Дафнии — прыгучие малыши.....	130
Микрорачки с веслами.....	132
4D Насекомые: самые многочисленные.....	134
Пауки — вовсе не насекомые.....	136
Тайный микромир рыб.....	138
4D Земноводные — на суше и в воде.....	140
Пресмыкающиеся: потомки динозавров.....	142
Пернатые покорители неба.....	144
4D Млекопитающие: совершенство и разнообразие.....	146

МИКРОМИР ЧЕЛОВЕКА

4D Кости и мышцы — каркас тела.....	148
Кожа и волосы — красота и защита.....	150
Из чего состоит кровь?.....	152
Мозг и нейроны — дирижеры организма.....	154
4D «Окно» в мир.....	156
Обоняние и вкус — стражи и сенсоры.....	158

Невидимый мир

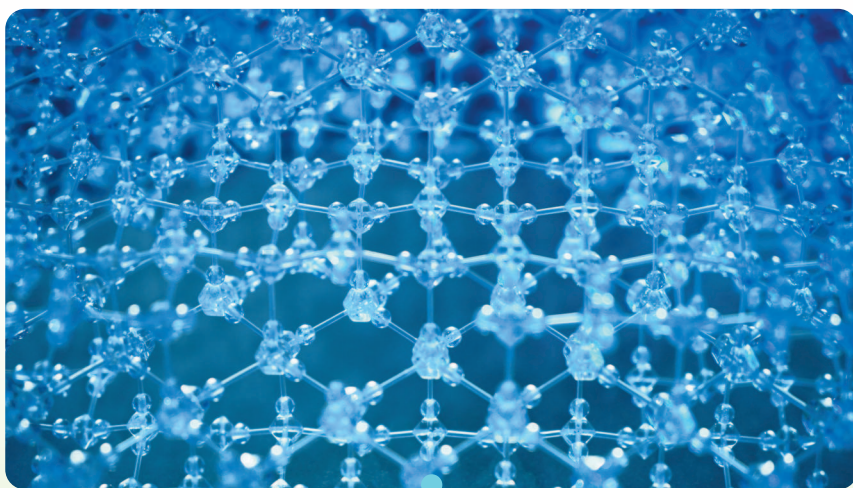
Наш мир бесконечно разнообразен и сложен. Гораздо более разнообразен, чем мы можем различить невооруженным глазом. Любуясь морской гладью и стремительными реками, мы не способны разглядеть всех мельчайших существ, которые обитают в их водах. Рассматривая себя в зеркале, мы не видим клеток, из которых состоит наш организм. Разглядывая поверхность металла или драгоценного камня, не различаем ее тонкой структуры. А еще мы не видим тех элементарных частиц и атомов, из которых состоит вся Вселенная — от живых существ до звезд. Однако еще философы античной Эллады догадались, что мир состоит из мельчайших частиц.

СТУПЕНИ МИКРОМИРА

Микромир окружает нас повсюду. В его основе лежат элементарные частицы и атомы, из которых состоят как неживые объекты, так и живые организмы. Поэтому важно сначала познакомиться именно с ними. Элементарные частицы входят в состав атомов, из которых, в свою очередь, состоят молекулы и кристаллы. Впрочем, последние могут строиться также и из молекул — вот какие они разнообразные! Кристаллы — это и хрупкие снежинки, и твердый алмаз, и золото, и соль у нас на кухне.

Живая материя устроена намного сложнее, чем неживая. Микромир живой природы включает

особые биологические молекулы, вирусы, которые находятся на границе между живым и неживым, одноклеточные бактерии и простейшие, а также клетки и ткани многоклеточных организмов — растений, грибов, животных и человека. Микромир — это и лист под микроскопом, и крохотные насекомые, и наша кровь, и волосы. И все это бесконечное разнообразие открывается нам благодаря приборам, которые изобрели люди, стремящиеся проникнуть в тайны живой и неживой материи. Знакомство с их изобретениями необходимо для того, чтобы лучше узнать и понять тончайшее строение всего, что нас окружает.



Так выглядит под микроскопом снежинка, состоящая из атомов и молекул.



Все объекты микромира очень малы, поэтому

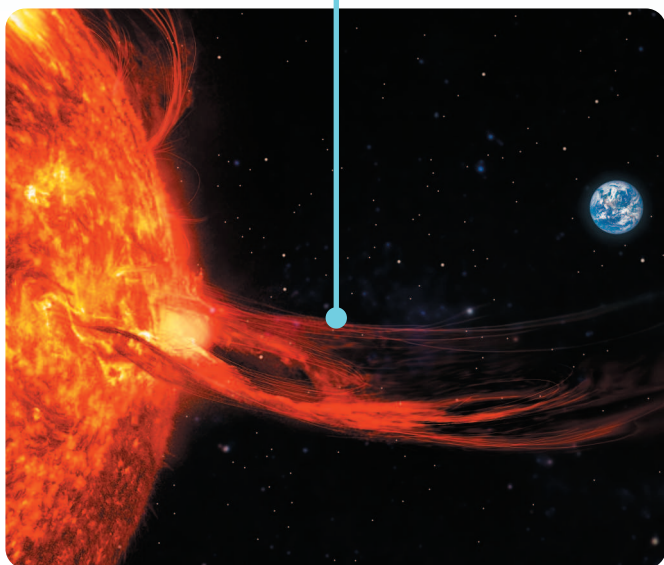
для них используют меры длины, которые намного меньше метра, сантиметра и даже миллиметра.

Это микрометр (мкм) — одна миллионная метра, или 10^{-6} , и нанометр (нм) — одна миллиардная метра, или 10^{-9} .

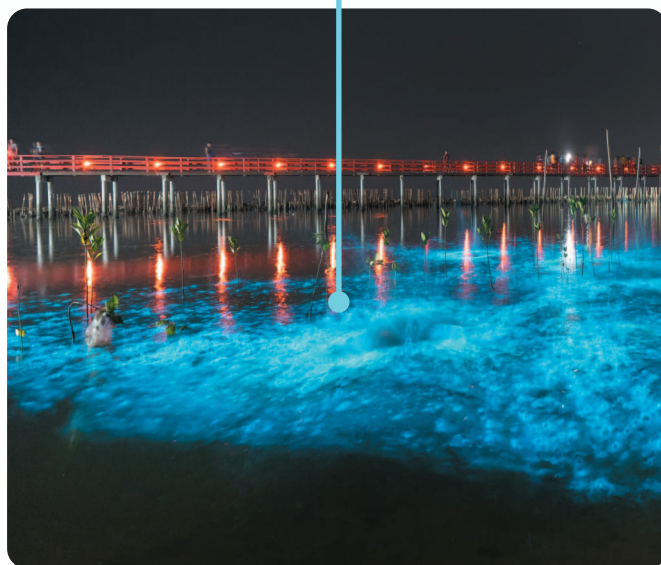
ПРОНИЦАТЕЛЬНОСТЬ РАЗУМА

Мы, люди, очень любопытны и еще с детства привыкли задаваться вопросами, из чего всё сделано, как это устроено. Желание ответить на вопросы об устройстве мира заставляет работать воображение и часто находить правильные, пусть и неожиданные ответы. Человеческий разум настолько проницателен, что иногда позволяет догадаться о существовании невидимых глазу вещей — так называемого микромира. Его примером являются стертые с годами ступени лестницы, свечение воды, населенной микроорганизмами, и даже протуберанцы, отрывающиеся от Солнца.

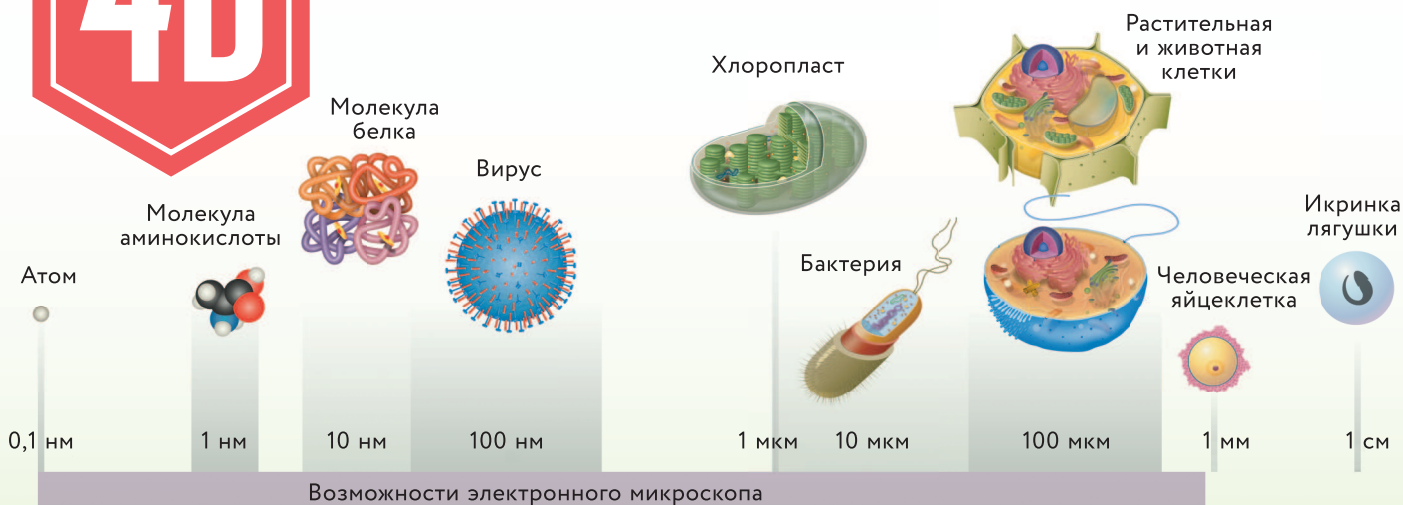
Протуберанцы — светящиеся образования из плазмы, которые Солнце выбрасывает из себя, — являются ярким доказательством того, что и наше огромное светило состоит из мельчайших частиц.



Биолюминесценция — это одно из наглядных, видимых невооруженным глазом свидетельств существования в воде планктона — мелких живых организмов, детальное строение которых можно различить только под микроскопом.



Изучение строения живой материи — от атомов до молекул и клеток — стало возможным благодаря специальным устройствам. Теперь мы знаем, как выглядят атомы, вирусы, бактерии и др.



Как увидеть невидимое?

Долгие века и даже тысячелетия микромир оставался невидимым для людей. При этом, что удивительно, о существовании атомов ученые знали, а вот о мельчайших живых организмах, которые в миллионы раз больше атома, даже не подозревали. Путь в микромир начался в XVII в., когда появились первые оптические световые микроскопы – приборы, позволяющие увеличивать изображения. Уже в 1664 г. знаменитый ученый Роберт Гук впервые разглядел отдельные клетки в образце пробкового дуба, а в 1673 г. нидерландский натуралист Антони ван Левенгук увидел в капельке воды целый мир одноклеточных организмов – бактерий и простейших.



Современный исследователь может увидеть под микроскопом и клетки, и тонкое строение металлов и минералов, а также получить не только плоские, но и объемные изображения.

УВЕЛИЧЕНИЕ В 2000 РАЗ

Световые (оптические) микроскопы используют световые лучи и линзы, чтобы увеличить изображение. При этом линз может быть несколько. Сегодня эти приборы позволяют получить четкое изображение объекта, увеличив его от 10 до 2000 раз. Можно, конечно, попробовать увеличение и большее, но увы, изображение в таком случае получается размытым и мелкие детали уже отдельно не увидишь. Почему же это так?

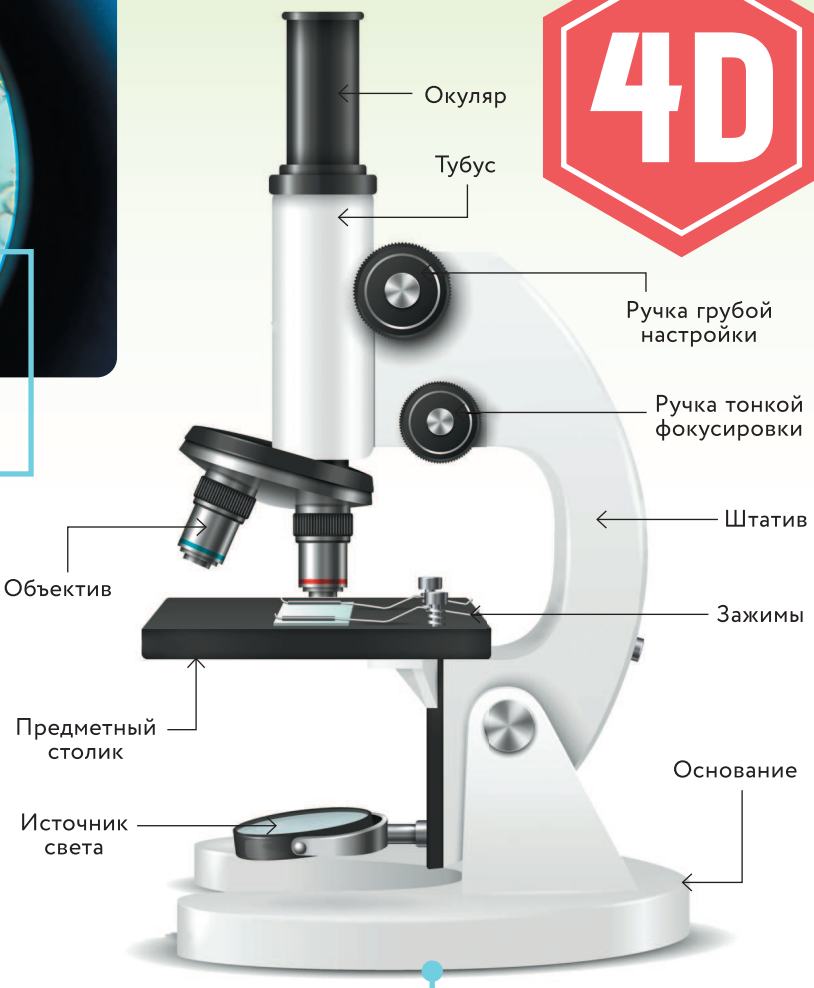
Дело в том, что у микроскопа есть одна важная характеристика – разрешающая способность. Это наименьшее расстояние, на котором две близко расположенные точки можно рассмотреть по отдельности. Для оптического микро-

скопа это расстояние равно 0,25 микрометра (микрон, мк). Данный показатель зависит от длины световой волны и самого прибора. И если разрешающую способность еще можно увеличить, то длина световой волны устанавливает предел возможностям оптического микроскопа. Если объект меньше нее, то отличить его от соседних просто невозможно.

Световые микроскопы играют огромную роль в биологии, медицине, технике. С их помощью можно разглядеть не только отдельные клетки, но и крупные их составляющие (органеллы), в том числе посчитать число хромосом и оценить их форму и размеры.

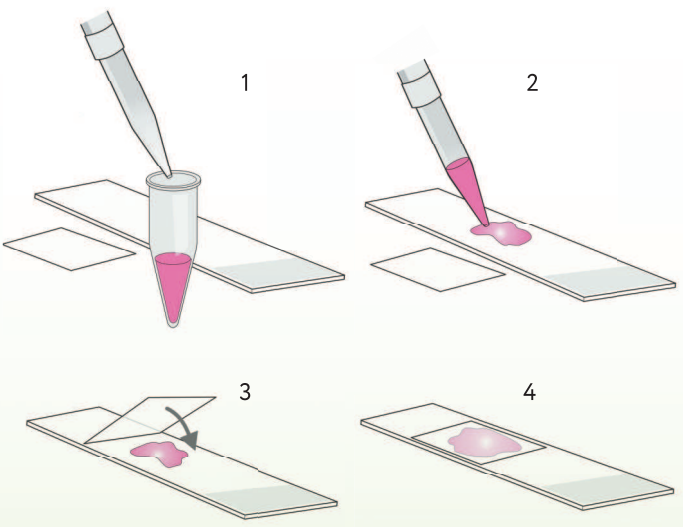


Мир одноклеточных организмов открылся человеку благодаря световому микроскопу.



Устройство светового микроскопа.

 **Антони ван Левенгук сам изготавливал микроскопы, вручную делая линзы высочайшего качества, его приборы позволяли достигать 500-кратного увеличения! Сегодня для этого используются сложнейшие технологии.**



Процесс подготовки препарата для изучения под световым микроскопом.

ТОНКОСТИ МИКРОСКОПИИ

Чтобы увидеть под микроскопом клетки или целые мельчайшие организмы, применяют множество хитростей. Но главное — для этого используют большое толстое предметное стекло и маленькое тонкое покровное. Например, делают тонкий срез листа или животной ткани, помещают на предметное стекло и закрывают покровным. Чтобы увидеть живые одноклеточные организмы, требуется капля воды. Часто препарат предварительно подкрашивают. Так, например, поступают с кровью, взятой из пальца или вены. Ее обрабатывают разными реагентами и только потом помещают каплю на предметное стекло. В целом, как видите, микроскопия требует серьезной, тщательной подготовки.

Электронные микроскопы

С помощью электронного микроскопа можно увидеть мельчайшие органеллы клетки, детальное строение поверхности металлов, а также молекулы и даже атомы. Дело в том, что в таких микроскопах вместо светового луча используется пучок электронов. Длина волны электрона короче длины волны видимого света, поэтому разрешающая способность электронного микроскопа намного выше светового, и он позволяет увеличивать изображение более чем в миллион раз!



КАК РАБОТАЕТ ПРОСВЕЧИВАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП?

Просвечивающие электронные микроскопы позволяют выявить самые тонкие детали внутренней структуры объекта. Когда пучок электронов из такого микроскопа попадает на приготовленный для исследования образец, одна часть электронов проходит насквозь, а другая отталкивается на небольшой угол. Эти электроны попадают на особые магнитные линзы, и в результате на дисплее формируется изображение объекта в мельчайших деталях.

Под электронным микроскопом различается тонкое строение клетки, недоступное световому микроскопу. Компьютер, подключенный к такому микроскопу, позволяет увеличивать изображение, изменять контрастность, рассматривать его с разных ракурсов и, конечно, сохранять в различных форматах.

Приготовление препарата для электронной микроскопии.

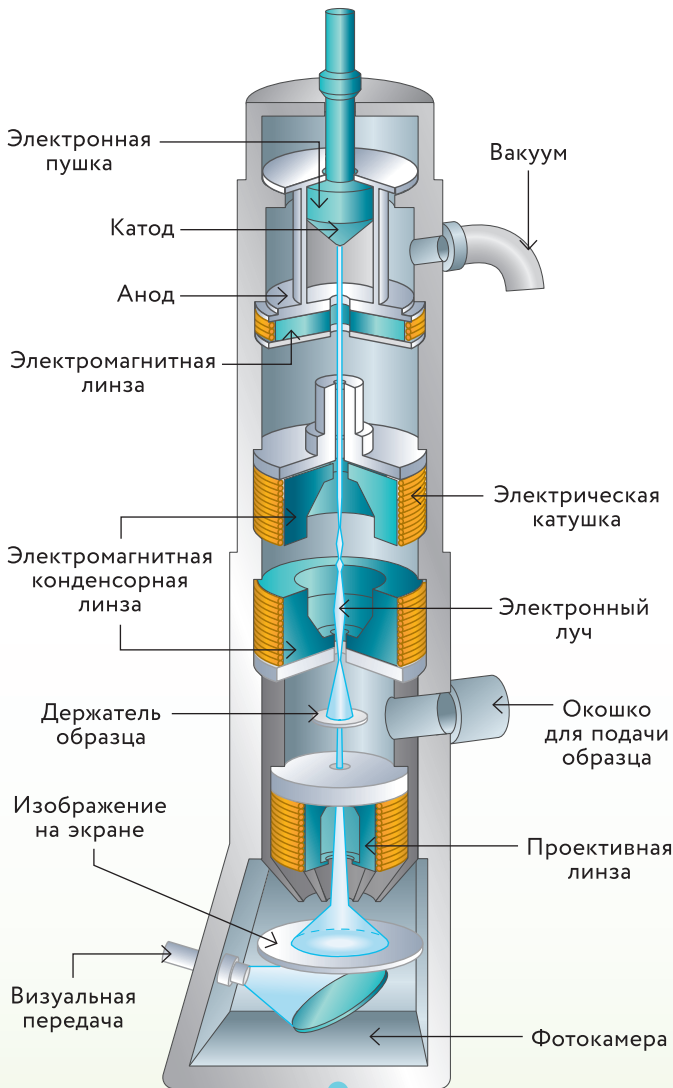


ПРЕПАРАТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

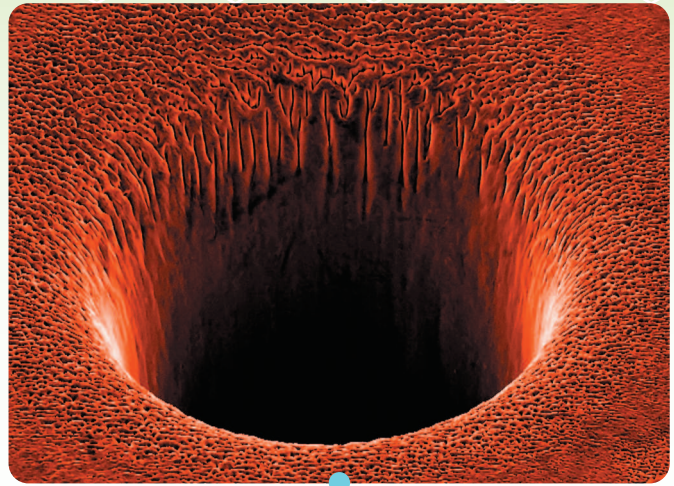
Чтобы приготовить подобный препарат, нужно обработать его в вакууме, затем в жидком азоте сделать очень тонкий срез — от 20 до 50 нм, что гораздо меньше, чем для световой микроскопии. И чем он тоньше, тем лучше получается изображение. Полученные образцы помещают на специальную пленку, а потом окрашивают разнообразными красителями в зависимости от того, что хотят рассмотреть наиболее подробно — например, клеточную мембрану или же рибосому.

ЧТО УМЕЕТ СКАНИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП?

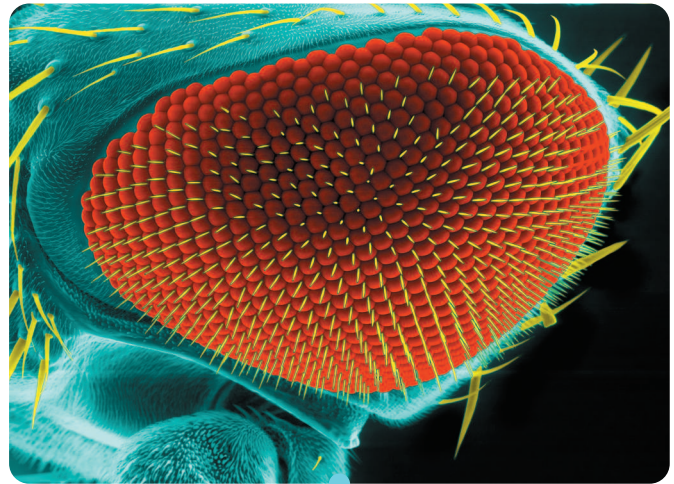
Сканирующий электронный микроскоп позволяет увидеть поверхность объекта в объеме и в самых мелких деталях. Для этого используется узкий, сфокусированный пучок электронов — так называемый зонд, который скользит по поверхности подготовленного препарата, создавая трехмерную картинку, которая ясно показывает, что даже самая гладкая на первый взгляд поверхность имеет свои шероховатости. А с помощью дополнительных методов можно также узнать химический состав образца.



Устройство просвечивающего (трансмиссионного) электронного микроскопа.



С помощью сканирующего электронного микроскопа можно увидеть сверхмалый кратер, который продельывает в металле лазерный луч.



Мушки дрозофилы прекрасно видны без микроскопа и даже без лупы. Но и они скрывают в себе микромир. Вот так выглядит глаз этого прославленного в научных исследованиях насекомого под сканирующим электронным микроскопом.



Среди электронных микроскопов имеются флуоресцентные.

С их помощью воздействуют на образец так, что его атомы начинают светиться (флуоресцировать), благодаря чему изображение становится особенно четким и ярким.

Необъятная Вселенная из мельчайших частиц

Долгое время считалось, что атом — это самая маленькая частица. Однако в 1897 г. был открыт электрон, и затем последовали другие важные открытия. Сейчас известно уже более 350 таких мельчайших частиц. К самым известным из них относятся протоны, нейтроны и электроны. Законы, которым они подчиняются, очень сложны и необычны: например, невозможно измерить все их характеристики одновременно с одинаковой точностью. Тем не менее ученые продолжают делать новые открытия и все больше узнают об этих частицах, раскрывая тайны устройства Вселенной.

МАТЕРИЯ: ОТ МОЛЕКУЛЫ ДО КВАРКОВ И ГЛЮОНОВ

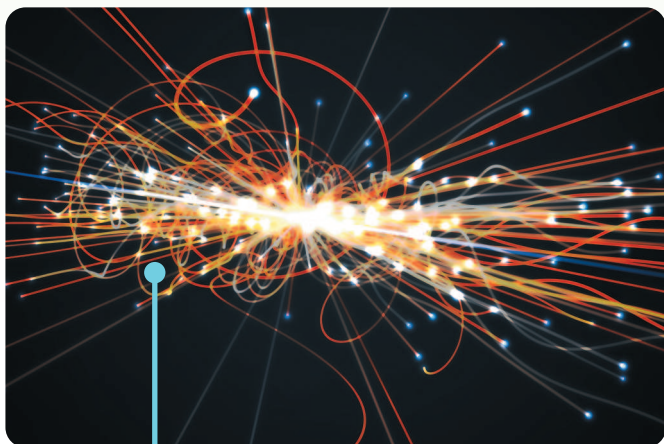
Среди элементарных частиц имеются составные, однако разделить их на части невозможно — вот такой парадокс микромира. Это, например, протоны и нейтроны, из которых состоит атомное ядро. Другие элементарные частицы (электрон, нейтрино, кварки, глюоны и т. д.) сегодня считаются не имеющими структуры, то есть как бы не из чего не состоят. При этом, например, кварки, объединяясь, дают нейтроны и протоны, а помогают им «склеиться» другие частицы — глюоны. Таким образом, протон состоит из трех кварков, хотя слово «состоит» в таких масштабах не совсем точно, скорее, три кварка превращаются в протон.



Схема строения материи.



Элементарные частицы измеряют в фемтометрах, или ферми. Один фемтометр (фм) равен 10^{-15} м, что примерно в миллион раз меньше размера средней молекулы, а эти частицы измеряются в нанометрах. Размеры протона оцениваются примерно в 1 фм, а размеры электрона вообще сложно определить — он как бы растянут по своей орбите в виде облачка вокруг атомного ядра.



Следы после столкновения частиц в Большом адронном коллайдере.

КАК УВИДЕТЬ ЧАСТИЦУ?

Элементарные частицы настолько малы, что их нельзя увидеть в микроскоп, поэтому, чтобы их обнаружить, используют другие устройства — ускорители и связанные с ними детекторы. Разновидностью такого устройства являются коллайдеры (в переводе — «сталкиватели»). В них частицы сталкиваются, порождая другие частицы. Они разлетаются в стороны, оставляя за собой светящиеся следы, которые называются треками. Их можно увидеть благодаря таким устройствам, как детекторы, которые находятся внутри коллайдеров (или других ускорителей).



Большой адронный коллайдер находится на границе Швейцарии и Франции и входит в состав ЦЕРН — международной организации ядерных исследований. Это поистине огромное строение, представляющее собой кольцевой туннель, длина окружности которого составляет 27 км! Такое гигантское устройство позволяет обнаружить самые мелкие на сегодня частицы Вселенной. Свое название коллайдер получил потому, что в нем сталкиваются адроны (так называют некоторые составные элементарные частицы, в том числе протон и нейтрон).

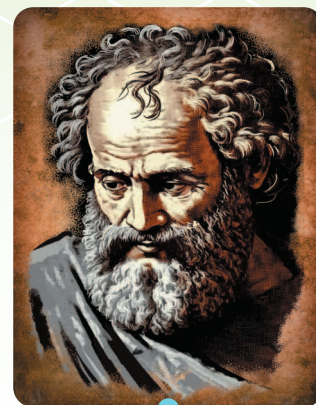


Фото: Belish / Shutterstock.com

Часть Большого адронного коллайдера, расположенная под землей на французской территории. ЦЕРН, Франция, 25 июня 2019 г.

Неделимое делимое

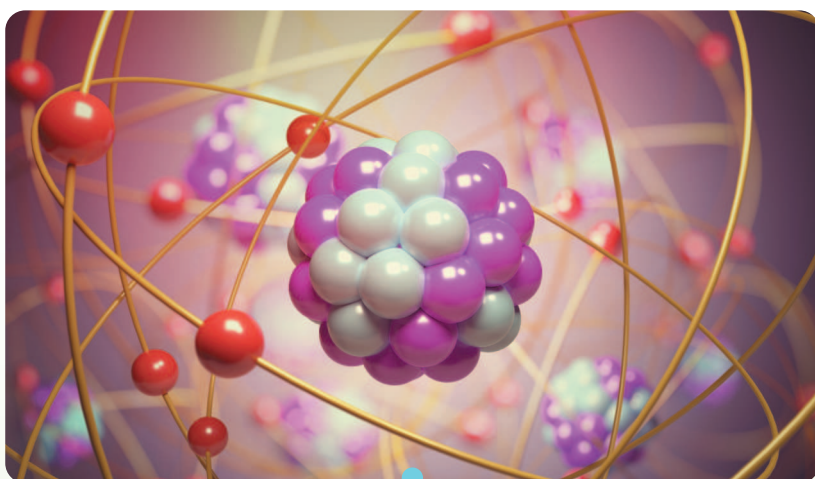
Слово «атом», что в переводе означает «неделимый», появилось еще в Древней Греции. Философы того времени, такие как Левкипп и Демокрит, считали, что вещество состоит из неделимых, вечных и неразрушимых частиц – атомов, а также из пустоты между ними. Так было принято думать на протяжении многих веков, пока не были открыты элементарные частицы. Оказалось, что атом – это гораздо более сложная структура. Согласно же современному определению, он представляет собой наименьшую часть химического элемента, являющуюся носителем его свойств, которая входит в состав как простых, так и сложных веществ.



Демокрит
(ок. 460 г. до н.э. – ок. 370 г. до н.э.) – древнегреческий философ, атомист, впервые показавший, что все предметы состоят из атомов.



Эрнст Резерфорд (1871–1937) – британский физик родом из Новой Зеландии, один из величайших ученых XX в., лауреат Нобелевской премии – является автором одной из первых моделей атома – планетарной. Он и другие его современники показали, что атом сложен и состоит из элементарных частиц (в отличие от Демокрита, который считал атом неделимым).



Планетарная модель атома, согласно которой электроны вращаются вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца, не полностью отражает его строение. Сегодня считается, что атом почти весь состоит из ядра, окружающей пустоты и электронных оболочек на его периферии.

КАК УСТРОЕН АТОМ?

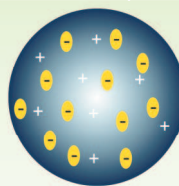
Атомное ядро состоит из протонов, которые имеют положительный заряд, и нейтронов, не имеющих заряда. (Однако ядро атома водорода состоит лишь из одного протона.) Протоны и нейтроны называются нуклонами (от латинского слова *nucleus* – «ядро»). Ядро окружено электронами. Точное местоположение каждого из них невозможно определить, так как электроны не двигаются по четким траекториям, а образуют некое облако вокруг ядра. Ядро составляет основную часть атома, электроны же занимают гораздо меньшую его часть.

СОВОКУПНОСТЬ АТОМОВ С ОДИНАКОВЫМ ЗАРЯДОМ

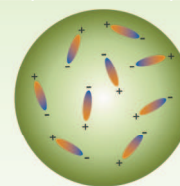
Подобная совокупность представляет собой химический элемент. У атомов, относящихся к одному химическому элементу, одинаковое количество протонов и электронов, но разное количество нейтронов. Такие разновидности называются изотопами. Сегодня химических элементов, систематизированных в таблице Менделеева, — 118, изотопов же намного больше.



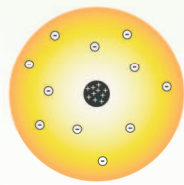
Дальтон



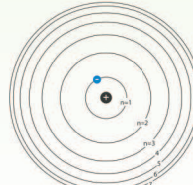
Томсон



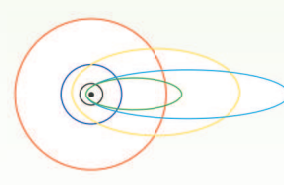
Ленард



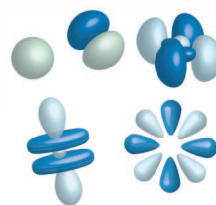
Резерфорд



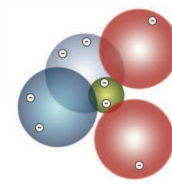
Бор



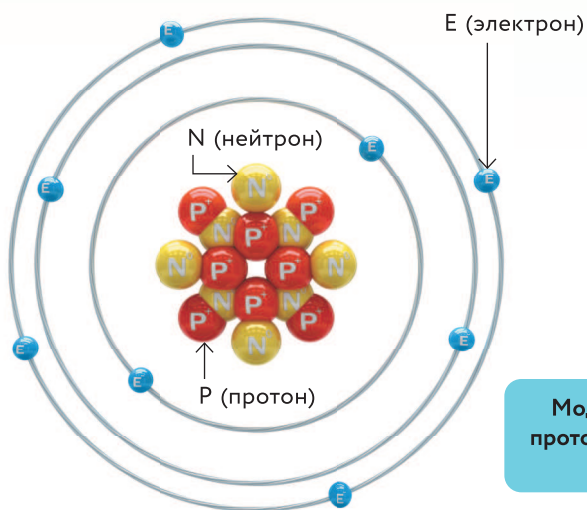
Зоммерфельд



Кимбелл



Шрёдингер



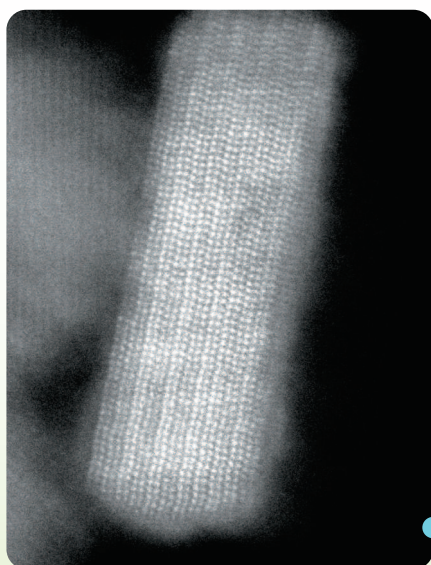
Модель атома кислорода: восемь протонов и восемь нейтронов в ядре, а также 8 электронов.

Разные модели атома, названные именами предложивших их ученых.



Атом электрически нейтрален, то есть число положительно заряженных протонов равно количеству отрицательно заряженных электронов. Если атом теряет один или несколько электронов или приобретает дополнительные, он превращается в ион.

КРОШКА-АТОМ



Размеры атомов чрезвычайно малы. Их измеряют в таких единицах, как ангстремы (10^{-10} м) или пикометры (10^{-12} м); для сравнения: пикометр в триллион раз меньше метра. Например, радиус самого маленького из атомов — водорода — равен 0,53 ангстрема (или 53 пикометра), атома углерода — 70 пикометров, а атома урана — около 175 пикометров, что тоже очень мало. Например, человеческий волос по толщине мог бы содержать миллион атомов углерода! При этом разглядеть отдельный атом можно только в электронный микроскоп, причем не каждый. Так, для этого подходят просвечивающие, сканирующие или атомно-силовые микроскопы.

Так выглядят отдельные атомы в просвечивающем электронном микроскопе.

Микромир, видимый невооруженным глазом

Не всегда нужно обращаться к сложнейшим приборам, чтобы увидеть свечение мельчайших частиц мироздания. Нередко, например, они говорят о своем существовании, разворачивая в небе гигантские разноцветные полотна. Да, речь идет о полярном сиянии, которое чаще всего видно на высоких широтах, вблизи от магнитных полюсов Земли.



Чем ближе к магнитным полюсам Земли, тем чаще возникают полярные сияния, хотя при сильных магнитных бурях их можно видеть гораздо южнее в Северном полушарии или севернее – в Южном.



РАЗНОЦВЕТНЫЕ ВСПЫШКИ

Полярное сияние — впечатляющее природное явление, возникающее в результате столкновения мельчайших частиц солнечного ветра с атмосферой Земли. Когда частицы солнечного ветра — электроны, протоны и ядра гелия, которые составляют вещество нашего светила, — сталкиваются с молекулами и атомами кислорода и азота (реже других элементов), они вызывают свечение, а также могут провоцировать магнитные бури. Так, атомы кислорода на разной высоте светятся красным и зеленым цветом; молекулы азота — зеленым, фиолетовым, реже синим. Эти удивительные световые вспышки в небе наглядно доказывают существование микромира.