ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

МАНГА

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Исикава Кэндзи
Фую Ютака

Занимательная физика

Квантовая механика

Манга

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Исикава Кэндзи
Ютака Хииираги

Перевод
с японского
Клионского А.Б.

ДМК ПРЕСС
издательство

Москва
ДМК Пресс, 2016

УДК 530.145
ББК 22.314
И85

Исикава Кэндзи

И85 Занимательная физика. Квантовая механика. Манга / Исикава Кэндзи (автор), Ютака Хииараги (худож.); пер. с яп. Клионского А. Б. — М.: ДМК Пресс, 2016. — 256 с. : ил. — (Серия «Образовательная манга»). — Доп. тит. л. яп.

ISBN 978-5-97060-133-4.

Действие данной книги разворачивается в японской старшей школе «Кооки». Её персонажи – члены театрального кружка Канна, Яманэ и Глория, Канта (брат Канны и студент Японского университета), профессор Сануки. На этот раз кружок решает поставить спектакль, в наглядной форме объясняющий квантовую механику – науку о законах микромира. Пройдя через различные трудности, герои манги успешно справляются с этой задачей. Вместе с ними ты пройдёшь по пути зарождения и развития квантовой механики, узнав при этом:

– почему люди решили, что вещество состоит из атомов и молекул;
– как изучали строение атома;
– почему волны могут проявлять свойства частиц, а частицы – волновые свойства;
– что такое волновое уравнение и в чём состоит принцип неопределённости;
– в чём истинный смысл волн-частиц;
– как современные учёные пытаются построить единую картину мира;

и о многом другом.

Хотя книга содержит очень мало математических выкладок и проста для понимания, в конце ты сам научишься выводить волновое уравнение – основу квантовой механики!

Книга может быть полезна для студентов научно-технических колледжей и вузов, начинающих изучение квантовой механики, а также для широкого круга любителей науки.

УДК 530.145
ББК 22.314

Original Japanese edition
Manga de Wakaru Ryoushi Rikigaku (Manga Guide: Quantum Dynamics)
By Kiyoshi Kawabata (Supervisor), Kenji Ishikawa (Author), Yutaka Hiiragi (Illustrator) and Verte Co., Ltd. (Producer)
Published by Ohmsha, Ltd.
3-1 Kanda Nishikicho, Chiyodaku, Tokyo, Japan
Russian language edition copyright © 2016 by DMK Press

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-4-274-06780-8 (яп.) Copyright © 2009 by Kiyoshi Kawabata, Kenji Ishikawa and Verte Co., Ltd
ISBN 978-5-97060-133-4 (рус.) © Перевод, оформление, издание, ДМК Пресс, 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

В детстве у меня была мечта – стать физиком. Она возникла в начальной школе и длилась до поступления в старшую школу. Конкретно говоря, я хотел заниматься квантовой механикой, чтобы прояснять строение молекул и атомов, истоки материи и энергии.

Однако в старшей школе я как-то легко отказался от этой мечты и выбрал путь, приведший меня к моей нынешней работе. Этому было две причины.

Первая причина – активная, заключалась в том, что у меня возник глубокий интерес к литературной деятельности. Вторая – пассивная причина, была в том, что мне было очень лень заниматься физикой, особенно математическими вычислениями с использованием уравнений.

Впрочем, жизнь человека – это постоянная борьба между «хочется» и «не хочется», и я не раскаиваюсь в своём выборе. Кроме того, теперешняя работа, похоже, подходит мне – у меня ни разу не возникло мысли оставить её, чтобы стать учёным. Однако где-то в глубине души у меня остаётся близкое к восхищению чувство: «Ах, если бы тогда я больше времени уделил квантовой механике...»

Поэтому на последнем совещании, где мы выбирали темы для следующей манги серии, меня словно кто-то за язык дёрнул: «Давайте сделаем мангу о квантовой физике!» К счастью, моим партнёрам эта идея понравилась, и я помню то облегчение, которое почувствовал, когда решение об издании наконец было принято.

Однако...

Начав писать сценарий, я сразу же раскаялся.

«Как же это сложно!»

Квантовая механика, за которую я взялся спустя долгое время, – на самом деле оказалась очень трудным предметом. Только я пробую продвинуться дальше, как на моём пути тут и там встают формулы, преграждающие путь. Похоже, мой мозг не претерпел значительной эволюции со времён старшей школы. Мысль о том, что я, может быть, взвалил на себя непосильную ношу, заставила меня побледнеть.

Но я пообещал, что напишу мангу, которой могли бы наслаждаться даже те, кто до этого физикой серьёзно не занимался, и уже не мог отступать. Работа шла со скрипом, я стонал, даже не читая материалы, а просто разглядывая их, часто «плакался в жилетку» профессору Кавабата. И без поддержки многих людей, в особенности художника г-на Ютака Хииираги, а также г-на Араи и г-на Кавасаки – сотрудников компании Verte, ответственных за оформление и редактирование, эта книга никогда бы не вышла в свет. Выражаю им всем здесь свою благодарность.

Разумеется, я далёк от мысли полностью разъяснить квантовую механику с помощью этой манги. Однако она написана так, что, следя за развитием событий манги, читатель может хотя бы понять, почему появилась квантовая механика и к чему она стремится. Поэтому мне бы хотелось, чтобы те, у кого чтение данной книги пробудило интерес, самостоятельно бросили бы вызов более специализированной литературе. Там разворачивается мир знаний, поражающий воображение.

Как бы там ни было, герои эпохи прогресса квантовой механики в 1910–1940 годах все как один отличались неповторимой индивидуальностью. Особенно выделялся Нильс Бор, которого называют «отцом квантовой механики», вышедший победителем из многолетнего научного спора, который он вёл с самим Альбертом Эйнштейном.

Не останавливаясь на этом, он энергично вступает в спор с Эрвином Шрёдингером – создателем самого важного в квантовой механике уравнения. Из уважения к Бору, бывшему на 2 года старше, Шрёдингер вначале терпеливо общался с ним, пока не слёг из-за переутомления в долгих, ведшихся ночи напролёт дискуссиях с Бором. Когда Шрёдингера привезли в больницу, он даже вздохнул с облегчением: «Вот он, долгожданный отдых!» – но его блаженство длилось недолго – Бор настиг его и здесь, развернув дебаты у кровати и не думая уходить. Говорят, что эти дебаты продолжались до тех пор, пока Шрёдингер не потерял сознание.

И Вернер Гейзенберг, оформивший в виде принципа неопределённости самое большое открытие квантовой механики (миром правит не предопределённость, а случайность, поэтому описать

его можно только с помощью вероятностей), ежедневно тратил на дискуссии по нескольку часов. Кроме того, будучи большим любителем прогулок, он каждый день проходил около 30 км, продолжая при этом разговаривать и не обращая никакого внимания на пейзажи. Со стороны такое поведение выглядело достаточно необычно.

В ту эпоху множество учёных имело возможность проводить дни и ночи в дебатах только потому, что жили они по соседству друг с другом, в небольшой области Европы. Почему же произошла такая историческая случайность?

Мне кажется, что они вовсе не были от рождения гениальны, ведь с точки зрения вероятности невозможно, чтобы в один и тот же период в одном и том же месте родилось так много гениев. Просто в ту пору в Европе было модно проявлять интерес к поискам первоисточника материи и энергии. Другими словами, присутствовала атмосфера интереса к поискам научной истины. И Эйнштейн, и Бор, и Шрёдингер, и Гейзенберг – все они, образно говоря, «наслаждались сёрфингом на волне эпохи».

И эта волна на самом деле продолжается и сейчас. Кроме того, в настоящее время квантовая механика становится всё более интересной дисциплиной – не ограничиваясь изучением материи и энергии, она пытается дойти до самого первоисточника Вселенной.

Конечно, не всем суждено стать физиками, но мне хотелось бы, чтобы побольше людей хотя бы знали о том, что есть такая область знаний – квантовая механика, в которой проводятся грандиозные исследования с целью разгадать загадку нашего мира.

Не знаю, насколько поможет этому данная манга, но я буду счастлив, если она поможет расширить круг любителей и сподвижников квантовой механики.

Декабрь 2009 г. *Исикава Кэндзи*

НЕСКОЛЬКО СЛОВ ОТ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Данная манга, как и предыдущая «Манга о Вселенной», – плод совместного творчества г-на Исикава Кэндзи и г-на Ютака Хиираги. И на этот раз я снова, не боясь обвинений в некомпетентности, взял на себя обязанности научного редактора. У меня самого, к сожалению, нет таланта к рисованию, но как поклонник и ценитель манги я не уступаю никому. Кроме того, хорошо зная по предыдущей манге мастерство автора и художника, я питал огромный интерес к тому, как же будет развиваться повествование на этот раз, и больше всего мне хотелось прочитать эту мангу раньше всех. В процессе чтения я обращал внимание на правильность содержания, и при необходимости исправлений прямо говорил об этом автору.

Квантовая механика, созданная и развивавшаяся для того, чтобы описать различные явления микромира, содержащего такие объекты, как молекулы, атомы, элементарные частицы, фотоны, вместе с теорией относительности Эйнштейна играет роль одного из двух столпов современной физики. Без квантовой механики, и как базовых знаний, и как необходимого инструмента, сегодня не могут обойтись изучающие физику, химию, биологию, технические науки. Однако по таким причинам, как оторванность понятий и способа мышления от того, к чему мы привыкли в повседневной жизни, необходимость математических вычислений на основе комплексных чисел, на пути начинающих встаёт психологический барьер, препятствующий её углублённому изучению. Даже если отвлечься от математики, всё равно, такая, например, штука, как корпускулярно-волновой дуализм – эдакое «раздвоение личности», характерное для жителей микромира, может привести в замешательство кого угодно.

Преодолению психологической преграды очень сильно помогает знание истории вопроса. Одной из особенностей данной книги является подробное и точное описание исторического контекста, различных многозначительных эпизодов. Кроме того, благодаря использованию такого мощного средства иллюстрации, как манга, исследуемые объекты и физические процессы становятся более осязаемыми. Согласно японской пословице «плотину прорывает от одного муравьиного хода», всего одно, даже очень маленькое отверстие в преграде может стать причиной большого прогресса. Конечно, данная книга – не учебник, но я уверен, что она вполне сможет сыграть роль «муравьиного хода», будучи использованной в качестве вводного курса или книги для дополнительного чтения при изучении квантовой механики. Недавно я был неприятно изумлён, столкнувшись с тем, что почти никто из японских студентов, которым я преподаю на кафедре физики, не смог назвать имя первого японского учёного – лауреата Нобелевской премии по физике. Однако я искренне надеюсь на то, что эта книга поможет исправить подобную ситуацию.

Декабрь 2009 г. *Кавабата Киёси*

СОДЕРЖАНИЕ

Пролог
ИССУМБОСИ И ДЮЙМОВОЧКА 1

Сказка про Иссумбоси 10
Сказка про Дюймовочку 11
Так что же такое квантовая механика? 16

Глава 1
ЧЕМУ РАВНА «ПОЛОВИНА ОТ ПОЛОВИНЫ ОТ ПОЛОВИНЫ...»? 21

1.1. Эти бесконечные парадоксы 22
- Объяснение рассказа «Ахилл и черепаха» 24

1.2. Существуют ли на самом деле молекулы и атомы? 28
1.3. Давайте поищем невидимый глазу атом! 36
- Вызов технологиям наблюдения маленького мира. Часть 1. История развития микроскопа 47

А если бы не было «химического элемента» и «атома»? 50
- Теории о первоэлементах и атомах в других древних культурах 55

Глава 2
КОГДА АТОМ ПЕРЕСТАЛ БЫТЬ «АТОМОМ» 57

2.1. Вещи образованы комбинацией атомов 58
Периодическая система химических элементов 62
2.2. Заслуги гениального химика Лавуазье 66
Периодическая система химических элементов. Руководство по применению 74
Путешествие к атому — откуда вышли, туда и вернулись 80
- Вызов технологиям наблюдения маленького мира. Часть 2. Существует микроскоп, позволяющий увидеть атомы! 85

Глава 3
КАК ИЗУЧАТЬ «НУТРО» АТОМА? 87

3.1. Как открыли электрон — дитя электричества? 88
3.2. Модели атома Томсона и Нагаока Хантаро 96

Отец японской физики. Огромные заслуги доктора физических наук Нагаока Хантаро 97
3.3. Атомное ядро, открытое Резерфордом 102
От атома — в мир протонов, нейтронов, и наконец — кварков 112

Глава 4
БЕЗ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ АТОМЫ СЛОМАЛИСЬ БЫ 117

4.1. Строение атомов и вращение небесных тел — разные вещи 118
4.2. Электрон не падает как мячик 125
4.3. Модель атома Нильса Бора 131
Как Нильс Бор стал «отцом квантовой механики» 136

Глава 5
СТАНЕТ ЛИ ПРИВИДЕНИЕМ ТОТ, КТО ПОСМЕЕТ ИССЛЕДОВАТЬ СУЩНОСТЬ МАТЕРИИ? 141

5.1. Странная идея Луи де Бройля 142
5.2. Шрёдингер против Гейзенберга 162
Знания из школьного курса математики, позволяющие понять уравнение Шрёдингера 169
Знания из школьного курса физики, позволяющие понять уравнение Шрёдингера 172
Специальная лекция. Уравнение Шрёдингера, которое сможет (наверное) немножко понять любой 176
5.3. Смысл волны, или «где находится электрон?» 184
5.4. Невозможно одновременно определить «где находится?» и «как движется?» 200

Эпилог
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ И НА «ИНЫЕ МИРЫ» 205

Суперпростое объяснение теории суперструн 211
От копенгагенской интерпретации к многомировой 214
Как квантовая механика связана с нашей повседневностью. Часть 1. Без туннельного эффекта невозможно изготовить бытовую электронику 223
Как квантовая механика связана с нашей повседневностью. Часть 2. Квантовая связь, квантовые компьютеры, квантовая криптография.... Кругом кванты! 225

Скрытые герои квантовой механики. Паули, провозгласивший спин электрона 227

Приложение
ПОПРОБУЕМ САМИ РЕШИТЬ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА! 229

Генеалогия Квантовой теории и Квантовой механики 236

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 240

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 242

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛИЦА

Ученица 2-го класса старшей школы «Кооки». Сильна в спорте, но из-за любви к романтике выбрала театральный кружок. Спортивная девочка, её девиз: «Сделай перед тем, как подумать!»

Ученица 2-го класса старшей школы «Кооки». Приехала из Америки в рамках образовательного обмена. Девочка отаку, обожающая японские анимэ и мангу. В основном — смешной персонаж.

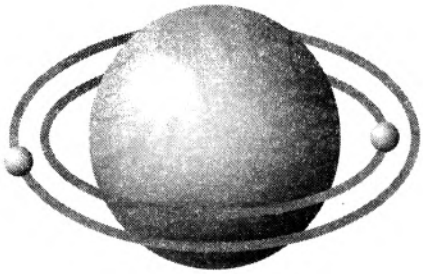
Ученица 2-го класса старшей школы «Кооки». Лидер театрального кружка, своей рассудительностью тянет Канну и Глорию в нужном направлении. Правда, иногда говорит глупости.

Старший брат Канны. Студент 3-го курса кафедры физики факультета естественных наук Японского университета. Ростом ниже своей младшей сестры и внешне неказист, но с детства увлекался астрономией и хорошо разбирается в звёздах и планетах.

Преподаёт в Японском университете, где учится Канта. Известный учёный в области астрономии и физики. В студенческие годы занимался в театральном кружке, поэтому любит «сценические эффекты».

ПРОЛОГ

ИССУМБОСИ И АЮЙМОВОЧКА



ДИНЬ-ДОН!
ЧЛЕНЫ ТЕАТРАЛЬНОГО КРУЖКА СОБРАЛИСЬ ДОМА У КАННЫ, КОНЕЧНО ЖЕ, ДЛЯ ТОГО...
...ЧТОБЫ ВЫБРАТЬ ТЕМУ СЛЕДУЮЩЕГО СПЕКТАКЛЯ...
КОНЧАЙТЕ БАЛАГАН!!!

ТАК ВЕДЬ КУЛЬТУРНЫЙ ФЕСТИВАЛЬ ТОЛЬКО НЕДАВНО ЗАКОНЧИЛСЯ!
Канна – член театрального кружка старшей школы «Кооки»
ЧТО, ОПЯТЬ?
СЛУШАЙТЕ ВНИМАТЕЛЬНО!
Яманэ – член театрального кружка старшей школы «Кооки»
ПРЕДСТАВЛЯЕТЕ, НАШЕМУ ТЕАТРАЛЬНОМУ КРУЖКУ ПОРУЧИЛИ ВЫСТУПЛЕНИЕ!
ЗАЯВКА НА ЗА-ЫЙ СПЕК-ТАКЛЬ
ВОТ ЭТО ДА!
Глория – стажёр в старшей школе «Кооки»
ГЛОРИЯ, СЛУШАЙ!
ХВАТЬ
КОГДА? ГДЕ?
НУ, Я САМА ТОЧНО НЕ ЗНАЮ.
ПРОСТО НА ЭТО НАМЕКАЛ ПРОФЕССОР САНУКИ...

* См. мангу «Занимательная астрономия. Вселенная».

ЭТО ИНТЕРЕСНО!!!
НУ ТАК ЧТО, КТО БУДЕТ ПРИНЦЕССОЙ?

ПРИНЦЕССОЙ БУДЕТ ГЛОРИЯ, А ТЫ, КАННА, БУДЕШЬ МАЛЬЧИКОМ ИССУМБОСИ.

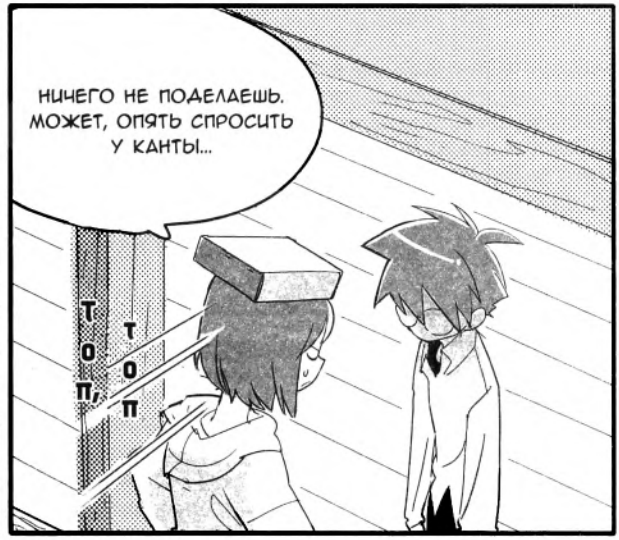
ЗНАЕШЬ, КАННА...

ПОСЛЕ ТОГО СПЕКТАКЛЯ В НАШ КРУЖОК ПРИШЛО СТОЛЬКО НАРОДУ!..
ПРОЧИТАЙТЕ "МАНГА. ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ. ВСЕЛЕННАЯ"!
КЛУБ

НО ИЗ-ЗА ТВОИХ ДУРАЦКИХ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК ОНИ ВСЕ УШЛИ!
ТАК ЧТО ЕСЛИ НЕ ХОЧЕШЬ ИГРАТЬ МАЛЬЧИКА ИССУМБОСИ, ТО САМА НАЙДИ ЛЮДЕЙ!

ДА ВЕДЬ ВСЕ ОНИ ПРИШЛИ ПОТОМУ, ЧТО ИМ НРАВИЛАСЬ ГЛОРИЯ...
ДА?

ЛАДНО, ХВАТИТ. ПУСТЬ КТО-НИБУДЬ ПРИВЕДЁТ НАМ СПАСИТЕЛЯ.
ПОНЯЛА.
Толковый словарь


НИЧЕГО НЕ ПОДЕЛАЕШЬ. МОЖЕТ, ОПЯТЬ СПРОСИТЬ У КАНТЫ...
ТОП, ТОП

АА...!!!

ОЙ. У ВАС СОБРАНИЕ?
Канта – студент университета, старший брат Канны

АХ, ТЫ КАК РАЗ ВОВРЕМЯ! КАНТА, ПОМОГИ НАМ СО СЛЕДУЮЩИМ СПЕКТАКЛЕМ!
У МЕНЯ НА ЭТО ВРЕМЕНИ НЕТ! ВЕДЬ...

МЕНЯ ХОТЯТ ВЫГНАТЬ ИЗ УНИВЕРСИТЕТА...
ЧТО?!!

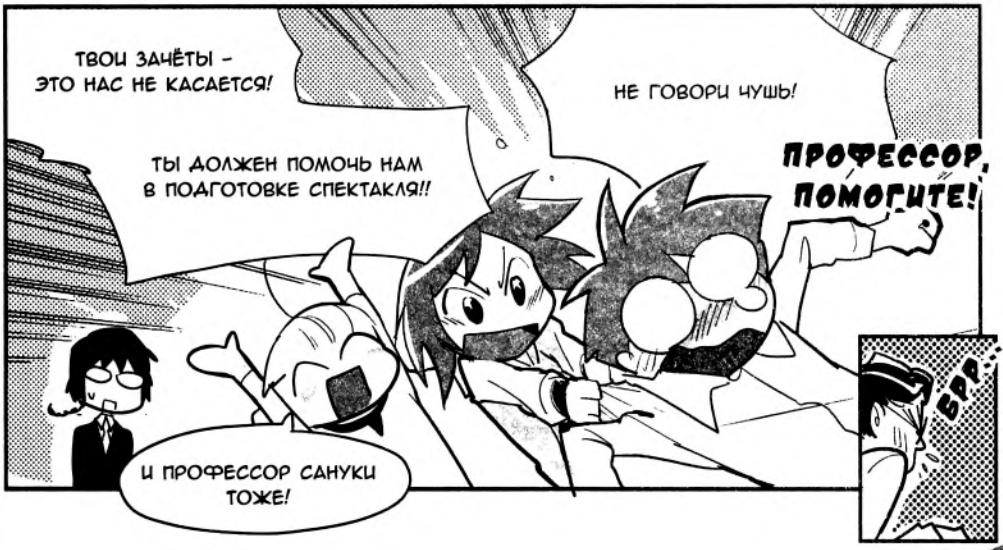
Ранее в тот же день... Университет, в котором учится Канта
Канта, ты ведь посещал занятия по квантовой механике?
Профессор Сануки – преподаватель университета
Ах, да! Я думал, что это поможет в исследованиях эпохи формирования вселенной...
Преподаватель жаловалась мне на твою успеваемость.
Да... понимание микромира, в отличие от вселенной, даётся мне с трудом..
Вот-вот. И она про то же говорила.
С такими низкими баллами я не могу поставить вам зачёт по квантовой механике.

* *Прим. перев.* – игра слов: в японском языке «рыбак» и «квант» звучат одинаково.

В МИКРОМИРЕ – ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКОМ МИРЕ, ГДЕ СУЩЕСТВУЮТ ТАКИЕ ОБЪЕКТЫ, КАК АТОМЫ И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ, – ЗАКОНЫ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ НЕ ВЫПОЛНЯЮТСЯ.
?
?

МИКРОМИР.... ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКИЙ...

ЭТО НАПОМНИЛО МНЕ ПРО РАЗГОВОР О ИССУМБОСИ И ДЮЙМОВОЧКЕ.
ЧТО?
ХВАТЬ!
КАК БЫ ТАМ НИ БЫЛО!


ТВОИ ЗАЧЁТЫ – ЭТО НАС НЕ КАСАЕТСЯ!
НЕ ГОВОРИ ЧУШЬ!
ТЫ ДОЛЖЕН ПОМОЧЬ НАМ В ПОДГОТОВКЕ СПЕКТАКЛЯ!!
ПРОФЕССОР, ПОМОГИТЕ!
И ПРОФЕССОР САНУКИ ТОЖЕ!
БРР

СКАЗКА ПРО ИССУМБОСИ

Здесь мы вспомним истории Иссумбоси и Дюймовочки. Сказка про Иссумбоси записана в сборнике древних японских сказок «Отогидзоси»*. Начинается она так: престарелые супруги, помолившись божеству, получили от него сына ростом в один сун. Шли годы, однако их сын оставался таким же маленьким...

Один сун?

Это старая японская мера длины, равная примерно 3 см. Типичный пример малой единицы измерения.

Однажды Иссумбоси сказал: «Хочу пойти в столицу и стать самураем». Заткнув за пояс иголку вместо меча, используя чашку вместо лодки, а палочки для еды вместо вёсел, он смело отправился в путь.

В столице его приняли на службу в богатый дом, где его полюбила Принцесса – дочь хозяина, и они стали неразлучны. Однажды Иссумбоси с Принцессой пошли в храм поклониться богам, но в дороге на них напал демон, который хотел похитить принцессу. Иссумбоси смело набросился на демона, но тот его мигом проглотил. Но Иссумбоси не сдался – он продолжал колоть иголкой желудок демона. Тот, не выдержав боли, сдался, отрыгнул Иссумбоси и убежал в горы.

Убегая, демон выронил волшебный молоточек, исполняющий желания. Принцесса взмахнула молоточком, и Иссумбоси сразу же превратился в статного юношу ростом в 6 сяку (около 182 см). Потом Иссумбоси и Принцесса поженились и зажили счастливо, добывая всё – от пищи до серебра, золота и драгоценностей – с помощью волшебного молоточка.

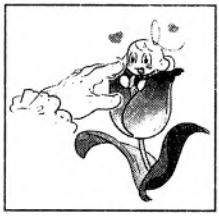
Да, живот – вообще уязвимое место: удар в область желудка вызывает дикую боль.

Не надо здесь про боевые искусства!

* Начал составляться в эпоху Муромати и был закончен в эпоху Эдо.

СКАЗКА ПРО ДЮЙМОВОЧКУ

«Дюймовочка» – это одно из самых известных произведений датского сказочника Ганса Христиана Андерсена.

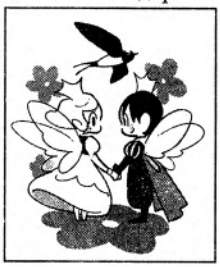


Давным-давно одна женщина попросила колдунью: «Я хочу ребёнка. Дай мне девочку, пусть даже очень маленькую!» Получив от колдуньи семечко, женщина посадила его в горшок. Из семечка вырос тюльпан, а когда он расцвёл, из цветка вышла маленькая девочка ростом в один дюйм, и назвали её Дюймовочкой. Хотя она так и не выросла, но жила счастливо: каждый день пела песенки, катаясь на лодке из лепестка тюльпана по глади воды, налитой в тарелку.

И здесь тоже лодка! Так же, как в сказке про Иссумбоси!

Однажды вечером старая жаба крадёт Дюймовочку, задумав женить на ней своего сына. Рыбки помогают девочке бежать, но потом майский жук уносит её в лес, где она остаётся одна.

В лесу дрожащую от холода Дюймовочку приютила и накормила старая мышь, и девочка стала жить вместе с ней в норке. Здесь к ней начинает свататься живущий под землёй богатый крот, но это ей совсем не нравится. Однако в галерее крота она натыкается на лежащую ласточку, изо всех сил ухаживает за ней, и ласточка поправляется. Окрепнув, ласточка хочет отблагодарить Дюймовочку, унеся её из тёмной норы в залитый солнцем зелёный лес, но девочка отказывается, потому что не хочет огорчать старуху-мышь. Однако крот продолжает свататься к Дюймовочке, и та плачет дни напролёт. В конце концов, ласточка прилетает опять и выручает Дюймовочку. Она переносит девочку в южную Страну цветов. Там Дюймовочка встречает принца, такого же маленького, как она, выходит за него замуж и живёт счастливо.



А почему она не захотела выйти замуж за богатого крота?

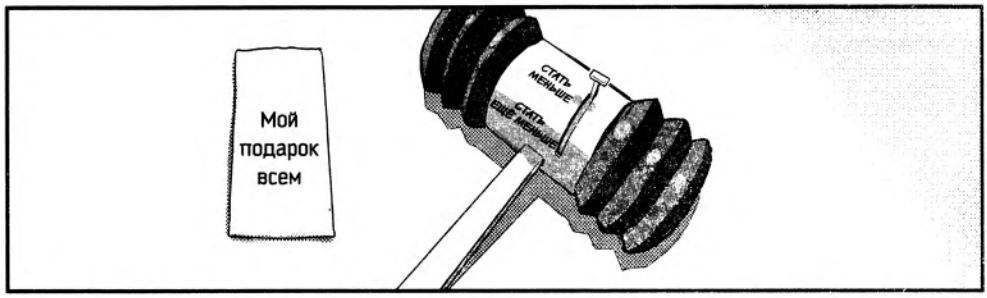
Тогда бы ей пришлось всё время жить под землёй, в темноте. К тому же там совсем нет цветов!

Японский университет, в котором учится Канта
ЯМАНЭ, А ЗАЧЕМ ПРОФЕССОР НАС ПОЗВАЛ? ЧТО-ТО НАСЧЁТ СПЕКТАКЛЯ?
ДА, НАВЕРНОЕ...
ИНТЕРЕСНО, ГДЕ НАС ПОПРОСЯТ СЫГРАТЬ НА ЭТОТ РАЗ!
АХ!
АХ!
ПУСКАЙ ЭТО БУДЕТ ЗАЛ НА 1000 ЗРИТЕЛЕЙ, С БАЛКОНАМИ... И ПРЕВОСХОДНОЙ АКУСТИКОЙ
БРАВО! БРАВО!
НУ, РАЗМЕЧТАЛАСЬ.
ВОТ ОНА! ЛАБОРАТОРИЯ ПРОФЕССОРА!
Лаборатория Сануки
ТУК!
ТУК!
ДА, ВОЙДИТЕ!
ЗАРАСЬТЕ!
ЩЁЛК
ПРОСТИТЕ ЗА БЕСПОКОЙСТВО!

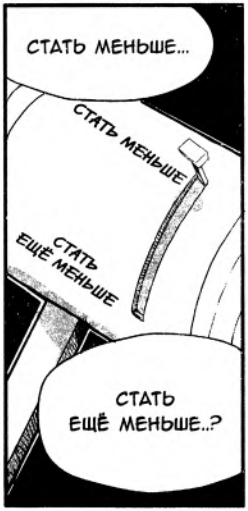
А... ПРИШЛИ?

КАК? ЗДЕСЬ ТОЛЬКО КАНТА? А ГДЕ ЖЕ ПРОФЕССОР?
ГДЕ ПРОФЕССОР САНУКИ?
ЕГО СРОЧНО НАПРАВИЛИ В ЗАГРАНИЧНУЮ КОМАНДИРОВКУ
КАК ДОСАДНО!
У♥...

ЧТО?!
И ОН СКАЗАЛ МНЕ ПЕРЕДАТЬ ВАМ ВОТ ЭТО...
ШУРХ
ШУРХ


Мой подарок всем
СТАТЬ МЕНЬШЕ
СТАТЬ ЕЩЁ МЕНЬШЕ

МОЛОТОК С ПИЩАЛКОЙ?
ТУТ ЕСТЬ КАКОЙ-ТО РЫЧАЖОК.
АГА!


СТАТЬ МЕНЬШЕ...
СТАТЬ МЕНЬШЕ
СТАТЬ ЕЩЁ МЕНЬШЕ
СТАТЬ ЕЩЁ МЕНЬШЕ...?

ЭТО ЧТО, ВОЛШЕБНЫЙ МОЛОТОЧЕК ИССУМБОСИ?
НО ОТ ТАКОГО МОЛОТОЧКА ИССУМБОСИ БОЛЬШЕ НЕ СТАНЕТ

ЕЩЁ ПРОФЕССОР ОСТАВИЛ ВАМ ПИСЬМО.
ТАК...
ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ! НАШ УНИВЕРСИТЕТ СОГЛАСИЛСЯ СОТРУДНИЧАТЬ С ВАМИ В ПОСТАНОВКЕ СЛЕДУЮЩЕГО СПЕКТАКЛЯ. КРОМЕ ТОГО, ДЛЯ ЭТОЙ ЦЕЛИ НАМ ВЫДЕЛИЛИ БОЛЬШОЙ ЗАЛ ГОРОДСКОГО КЛУБА. КОГДА Я РАССКАЗАЛ О НАШЕЙ ЗАДУМКЕ КОЛЛЕГАМ, МНОГИЕ ИЗ НИХ НЕ ТОЛЬКО СОГЛАСИЛИСЬ ПОМОЧЬ, НО И ПООБЕЩАЛИ ПРИВЕСТИ НА СПЕКТАКЛЬ КАК МОЖНО БОЛЬШЕ СВОИХ ДРУЗЕЙ И ЗНАКОМЫХ.
"ДАВАЙТЕ ЖЕ ПОСТАРАЕМСЯ СОЗДАТЬ ТАКОЕ, ЧТОБЫ ВСЕ ПОНЯЛИ КРАСОТУ НАУКИ, КАК В ПРОШЛЫЙ РАЗ!"
ОГО, КАЖЕТСЯ, МЫ ПОПАЛИ...
БОЛЬШОЙ ЗАЛ ГОРОДСКОГО КЛУБА... ВЕДЬ ОН РАССЧИТАН НА 1500 ЧЕЛОВЕК! ВЕДЬ ЭТО САМЫЙ БОЛЬШОЙ ЗАЛ В НАШЕМ ГОРОДЕ!
ДА, СЛОВА КАННЫ ВОПЛОТИЛИСЬ В ЖИЗНЬ!
КАК ЗДОРОВО!
УРА!
ХОРОШО, НО КАКОЙ РАЗДЕЛ НАУКИ ЛУЧШЕ ВЫБРАТЬ?

ПРОФЕССОР МНЕ НИЧЕГО НЕ ГОВОРИЛ ПРО ЭТО.

ПРАВДА.. КОГДА Я РАССКАЗЫВАЛ ЕМУ О СВОИХ ПРОБЛЕМАХ С КВАНТОВОЙ МЕХАНИКОЙ, ОН ВЫГЛЯДЕЛ ЗАДУМЧИВЫМ.
ГММ...

НЕХОРОШЕЕ ПРЕДЧУВСТВИЕ...

ЗНАЧИТ, НА ЭТОТ РАЗ... КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА!
МЫ НЕ СПРАВИМСЯ! ВЕДЬ ДАЖЕ МОЙ СТАРШИЙ БРАТ ЕЁ НЕ ПОНИМАЕТ, А КУДА УЖ НАМ!

ДЛЯ ПОДСКАЗКИ ОН ОСТАВИЛ ТОЛЬКО ЭТОТ МОЛОТОК С ПИЩАЛКОЙ.

КАНТА, ЭТО ТЫ ВО ВСЁМ ВИНОВАТ!
ЧТО ЖЕ ДЕЛАТЬ?

Наука, размышляющая о минимально возможных значениях физических величин – квантах

Заполучив волшебный молоточек, три девочки – Канна, Глория и Яманэ – отправятся на поиски природы материи. Но сначала я хотел бы рассказать вкратце о том, что такое квантовая механика. Объяснения данного параграфа ещё будут повторяться как в манге, так и в тексте, но я решил продублировать их здесь, в самом начале, чтобы вы поняли, о чём будет идти речь в дальнейшем. Поэтому этот параграф можно просто бегло просмотреть.

Квантовая механика – это наука, исследующая очень маленький мир (микромир), а предпосылкой её появления стало открытие молекул и атомов. Результаты научных исследований вплоть до XIX века говорили о том, что именно атомы и молекулы являются самыми маленькими элементами строения любого вещества, и все виды материи образованы их сочетанием.

И тут возникла проблема.

Чем глубже изучали атом, тем становилось яснее, что он не соответствует первоначальному определению – ведь по-гречески «атом» означает «неделимый элемент», однако строение атома позволяло думать, что его можно легко разделить.

Действительно, с точки зрения здравого смысла, это представляется вполне закономерным.

Ведь если атом был бы чем-то расплывчатым, вроде привидения, то мы легко поверили бы в его неделимость. Но когда оказалось, что атом – реально существующий объект, имеющий форму маленькой частицы, то людям, естественно, захотелось узнать, что получится, если его разделить. Поэтому с приходом XX века началось доскональное изучение внутреннего строения атома, приведшее к рождению квантовой теории, которая ищет самый маленький элемент уже не только материи, но и вообще «всего существующего», включая энергию и время.

Это был, можно сказать, пролог в квантовую механику.

Квант нельзя описать даже с помощью теории относительности

В первое десятилетие XX века выяснилось, что атом, похоже, состоит из атомного ядра и электронов. Это стало отправной точкой на пути к следующему сомнению. Потому что по тогдашним понятиям физики казалось странным, каким образом такой атом может долго существовать.

Долгое время считалось, что классическая механика, окончательно сформировавшаяся к XVIII веку благодаря Исааку Ньютону, может в совершенстве описать все яв-

ления. В связи с этим в XIX веке многие даже думали, что «в физике больше нечего изучать».

Однако в начале XX века Альберт Эйнштейн опубликовал свою теорию относительности (в 1905 году – специальную, а в 1915–1916 годах – общую) и показал, что для описания мира в макроскопическом (гигантском) масштабе нужна теория, превосходящая ньютоновскую механику.

Однако даже эта теория относительности не может объяснить явления, происходящие в сверхмалом внутриатомном мире. К подобным необъяснимым явлениям относятся, например, следующие:

- Согласно классической механике, электрон, вращающийся вокруг атомного ядра, должен быстро потерять энергию и упасть на ядро, но этого не происходит.
- Не удаётся непрерывно изменять энергию, которая выделяется при переходе электрона в атоме на более низкий энергетический уровень.
- Невозможно с абсолютной точностью определить местонахождение электрона.
- Один и тот же электрон одновременно присутствует во многих местах.
- Электроны неожиданно появляются внутри вакуума, в котором, по идее, ничего нет.

По понятиям тогдашней физики, если узнать местоположение любого тела в настоящий момент и закон движения этого тела, то можно точно определить, где будет находиться это тело через какой-либо промежуток времени. Есть такой жанр, как железнодорожные детективы, в которых весь сюжет закручен вокруг графика движения поездов, с помощью которого доказывают или опровергают чьё-то алиби. Однако в масштабе электронов вполне реальной была бы такая, например, ситуация: «Он сел на поезд "Синкансэн Хоккайдо", а через час объявился на Окинаве» (здесь я, конечно, утрирую).

Другими словами, в сверхмалом мире, похоже, действуют совершенно новые физические законы, о которых человечество до настоящего времени ничего не знало. Но каковы же эти законы? Возникшая из этого вопроса квантовая механика стала стремительно развиваться в 1920-х годах.

Это была поистине революция знаний. И в настоящее время почти все лауреаты Нобелевской премии по физике – исследователи, работающие в областях, связанных с квантовой механикой. Кстати, все лауреаты Нобелевской премии по физике из Японии: Юкава Хидэки, Томонага Синъитиро, Эсаки Реона, Косиба Масатоси, Кобаяси Макото, Масукава Тосихидэ – были награждены за работы по квантовой механике.

Когда говорят о представляющих XX век физических теориях, квантовую механику часто упоминают наряду с теорией относительности, но на самом деле последняя уже вошла в категорию «классической физики», и возможность будущих открытий

часто возлагают лишь на первую. Мне кажется, что в XXI веке будет окончательно завершена, например, квантовая теория гравитации, которая свяжет квантовую механику с общей теорией относительности и поможет построить теорию всего. Одной теории Эйнштейна недостаточно для объяснения, например, загадочной «тёмной материи», которая наполняет Вселенную, действуя подобно «отрицательной массе», или сильного гравитационного поля, вызывающего необычные явления даже в макроскопическом масштабе. Именно поэтому совершенствование теории относительности с использованием идей квантовой механики, если оно достигнет успеха, непременно станет одним из высочайших культурных достижений, когда-либо созданных землянами.

Наслаждайтесь теорией, даже если вы не можете её понять

Наконец-то мы начинаем путешествие в удивительный мир квантовой механики! Однако мне кажется, что многие люди плохо разбираются в предмете, так как, например, о внутреннем строении атома начинают рассказывать только в заключительном курсе физики старшей школы. Поэтому в манге объяснение начнётся с самых азов, а здесь я опишу некоторые базовые понятия, которые помогут вам усвоить дальнейший рассказ. Сейчас вы можете их пропустить и опять вернуться сюда, когда встретите что-нибудь непонятное.

- **Молекула**

Как ни странно, когда при изучении естественных наук встречаются непонятные термины, обычный толковый словарь помогает больше, чем сложные учебники.

Про молекулу в «Новом толковом словаре родного языка. 5-й выпуск» (изд. «Сансэйдо») написано так:

> **«Наименьшая частица, способная существовать независимо и обладающая химическими свойствами данного вещества».**

Поистине точное определение. Например, хотя молекула воды состоит из атомов водорода и кислорода, вода – это совсем другое вещество, чем водород или кислород, а её свойства (температуры кипения и таяния, вязкость и т. д.) определяются только строением её молекулы. Кроме того, сам кислород в виде отдельных атомов не присутствует на Земле – атомы, соединяясь попарно, образуют молекулы кислорода. То же самое относится и к водороду.

Кстати, если бы тут и там существовал атомарный кислород, нам следовало бы быть осторожными, так как это очень химически активное вещество, более опасное, чем сильные яды.

- **Химический элемент и атом**

Про химический элемент в толковом словаре написано:

> **«Составной элемент вещества, существующего во Вселенной, который не поддаётся дальнейшему химическому разложению».**

Атом же описывается так:

> **«Наименьшая частица, которую можно получить без потери свойств элемента. Является составной частью молекул».**

То есть химический элемент указывает, к какому типу принадлежит наименьший составной элемент вещества, а реально существующей частицей является атом.

- **Субатомная частица, элементарная частица**

Как явствует из её названия, элементарная частица – это элемент, составляющий основу всей материи, и в давние времена такой частицей считали атом. Однако как только стало понятно, что атом сам образован из мелких частиц, он утратил это название.

С тех пор по мере прогресса квантовой механики было открыто много частиц-кандидатов на звание элементарной частицы, однако до сих пор не ясно, действительно ли они являются наименьшими, поэтому даже определение в толковом словаре не особенно внятное:

> **«Частица, образующая основу материи электромагнитного поля и не состоящая из других частиц».**

Можно ли считать элементарными частицами, например, протон или нейтрон? Мнения учёных по этому вопросу разделяются. Поиск точного определения «элементарной частицы» – занятие достаточно сложное, поэтому в этой книге я буду по возможности избегать использования данного термина.

- **Квант**

Это наименьшая возможная порция физической величины, например, энергии или массы. Наука, пытавшаяся узнать, что же это такое, сначала называлась «квантовой теорией», однако в настоящее время общепринятым является название «квантовая механика», означающее, что эта наука ищет в мире квантов явления, не подчиняющиеся законам классической механики.

Q. Чем квант отличается от элементарной частицы?

Термин «элементарная частица» означает наименьшую возможную порцию материи, существующую физически. В противоположность этому квант изначально являлся концептуальным понятием, предполагаемой минимальной порцией, существующей, так сказать, лишь в голове учёных. В общем, сильно упрощая: элементарная частица – это реальная, а квант – виртуальная минимальная порция. По мере развития исследований звание элементарной частицы перешло от атома к более мелким объектам, а в отношении кванта учёные пытались подтвердить реальность его существования.

- **Непрерывность и прерывистость (дискретность)**

Наиболее важное понятие при изучении квантовой механики – прерывистость. Дело в том, что измеряемые величины обычно изменяются непрерывно. Например, при трогании автомобиля его скорость увеличивается постепенно, начиная с нуля: 1 км/ч, 2 км/ч, 3 км/ч и т. д. Естественно, был такой момент, когда скорость автомобиля равнялась 1,1 км/ч или, например, 1,2345678 км/ч. То есть скорость разгоняющегося автомобиля, очевидно, изменяется непрерывно, проходя все промежуточные значения.

Однако в мире квантов возможна ситуация, когда эта очевидная вещь нарушается. Попробуйте представить себе автомобиль, разгоняющийся скачками: сразу же после 1 км/ч следует 2 км/ч, а потом сразу 3 км/ч, без всяких промежуточных значений. Другими словами, скорость автомобиля здесь увеличивается ступенчато, как бы двигаясь вверх по лестнице. Подобную ситуацию, когда величина может принимать только строго определённые, отстоящие друг от друга значения, называют дискретностью, а такую величину – дискретной.

- **Физика и химия**

В толковом словаре даётся такое определение физических законов:

> **«Законы, описывающие свойства и строение материи, движение и взаимодействие тел, свойства энергии и т. п.».**

Физика, которая ищет эти законы и строит объясняющие их теории, определяется так:

> **«Наука, исследующая свойства и строение материи, различные состояния и воздействия, такие как движение, тепло, свет, звук, электричество, магнетизм и др.».**

С другой стороны, химия описывается таким образом:

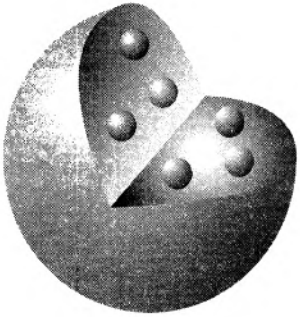
> **«Естественная наука, исследующая строение, свойства и взаимопревращение веществ».**

Хотя в настоящее время квантовая механика считается одним из разделов физики, на заре её развития физика и химия переплетались друг с другом в повторяющихся циклах: «Гипотеза → Доказательство → Построение теории».

Итак, мы открываем дверь в квантовую механику!

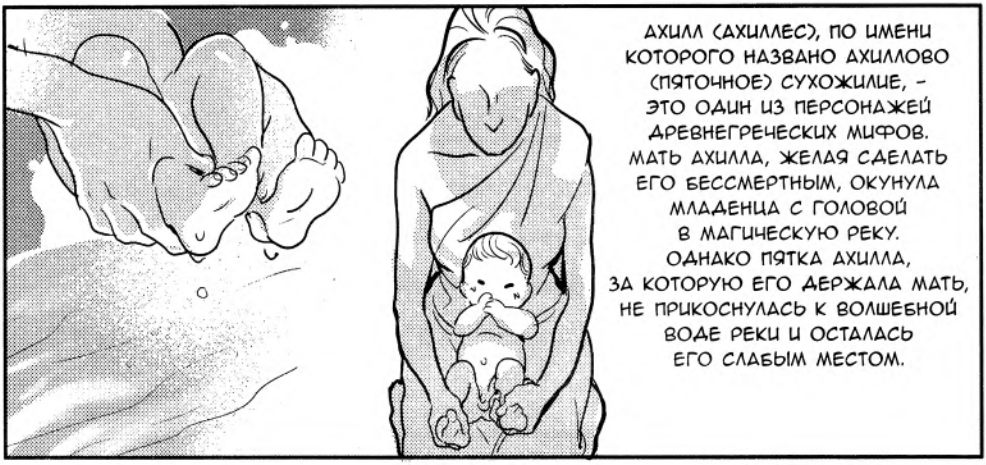
ГЛАВА 1

ЧЕМУ РАВНА "ПОЛОВИНА ОТ ПОЛОВИНЫ ОТ ПОЛОВИНЫ..."?



Исицука, преподаватель школы, консультант театрального кружка

НЕ ГОВОРИ ТАК! ВЕДЬ СЛАБОЕ МЕСТО – АХИЛЛЕСОВА ПЯТА – ЕСТЬ ДАЖЕ У СИЛЬНЫХ!
АХИЛЛ (АХИЛЛЕС) – ГЛАВНЫЙ ГЕРОЙ ПОЭМЫ "ИЛИАДА", НАПИСАННОЙ ДРЕВНЕГРЕЧЕСКИМ ПОЭТОМ ГОМЕРОМ.


АХИЛЛ (АХИЛЛЕС), ПО ИМЕНИ КОТОРОГО НАЗВАНО АХИЛЛОВО (ПЯТОЧНОЕ) СУХОЖИЛИЕ, – ЭТО ОДИН ИЗ ПЕРСОНАЖЕЙ ДРЕВНЕГРЕЧЕСКИХ МИФОВ. МАТЬ АХИЛЛА, ЖЕЛАЯ СДЕЛАТЬ ЕГО БЕССМЕРТНЫМ, ОКУНУЛА МЛАДЕНЦА С ГОЛОВОЙ В МАГИЧЕСКУЮ РЕКУ. ОДНАКО ПЯТКА АХИЛЛА, ЗА КОТОРУЮ ЕГО ДЕРЖАЛА МАТЬ, НЕ ПРИКОСНУЛАСЬ К ВОЛШЕБНОЙ ВОДЕ РЕКИ И ОСТАЛАСЬ ЕГО СЛАБЫМ МЕСТОМ.

А, АХИЛЛОВО СУХОЖИЛИЕ! ЭТО ЖЕ ОЧЕНЬ БОЛЬНО!

КСТАТИ, РАЗ РЕЧЬ ЗАШЛА ОБ АХИЛЛЕ, ЕСТЬ ВЕДЬ РАССКАЗ "АХИЛЛ И ЧЕРЕПАХА"...
ЧЕРЕПАХА?

Объяснение рассказа «Ахилл и черепаха»

Ахилл в Древней Греции славился своей быстроногостью. Но однажды его на состязания вызвала черепаха: «Ахилл, ты меня не догонишь, если я побегу впереди...»

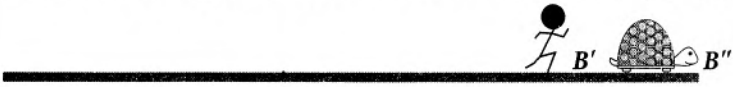
Конечно же, Ахилл не поверил тихоходной черепахе: «Не может быть!»

Тогда черепаха нарисовала следующие схемы и объяснила их Ахиллу, после чего тот схватился руками за голову: «Никогда мне не догнать черепаху!»

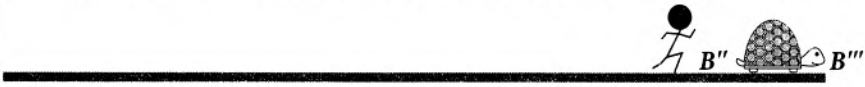
Пусть в точке ***A*** находится Ахилл, в точке ***B*** – черепаха.

В тот момент, когда Ахилл достигнет точки ***B***, черепаха будет уже в точке ***B′***.

В тот момент, когда Ахилл достигнет точки ***B′***, черепаха будет уже в точке ***B″***.



В тот момент, когда Ахилл достигнет точки ***B″***, черепаха будет уже в точке ***B‴***.

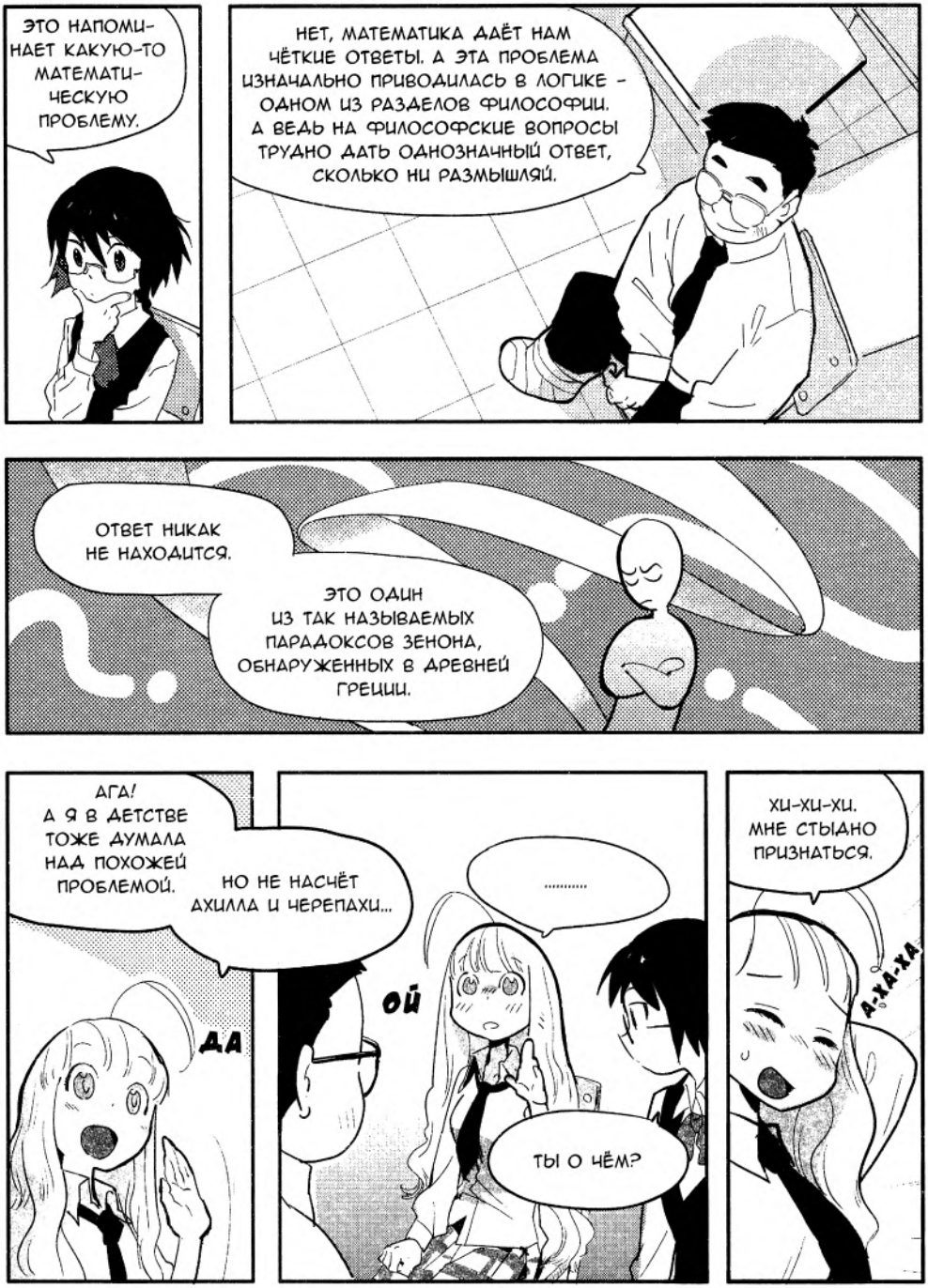


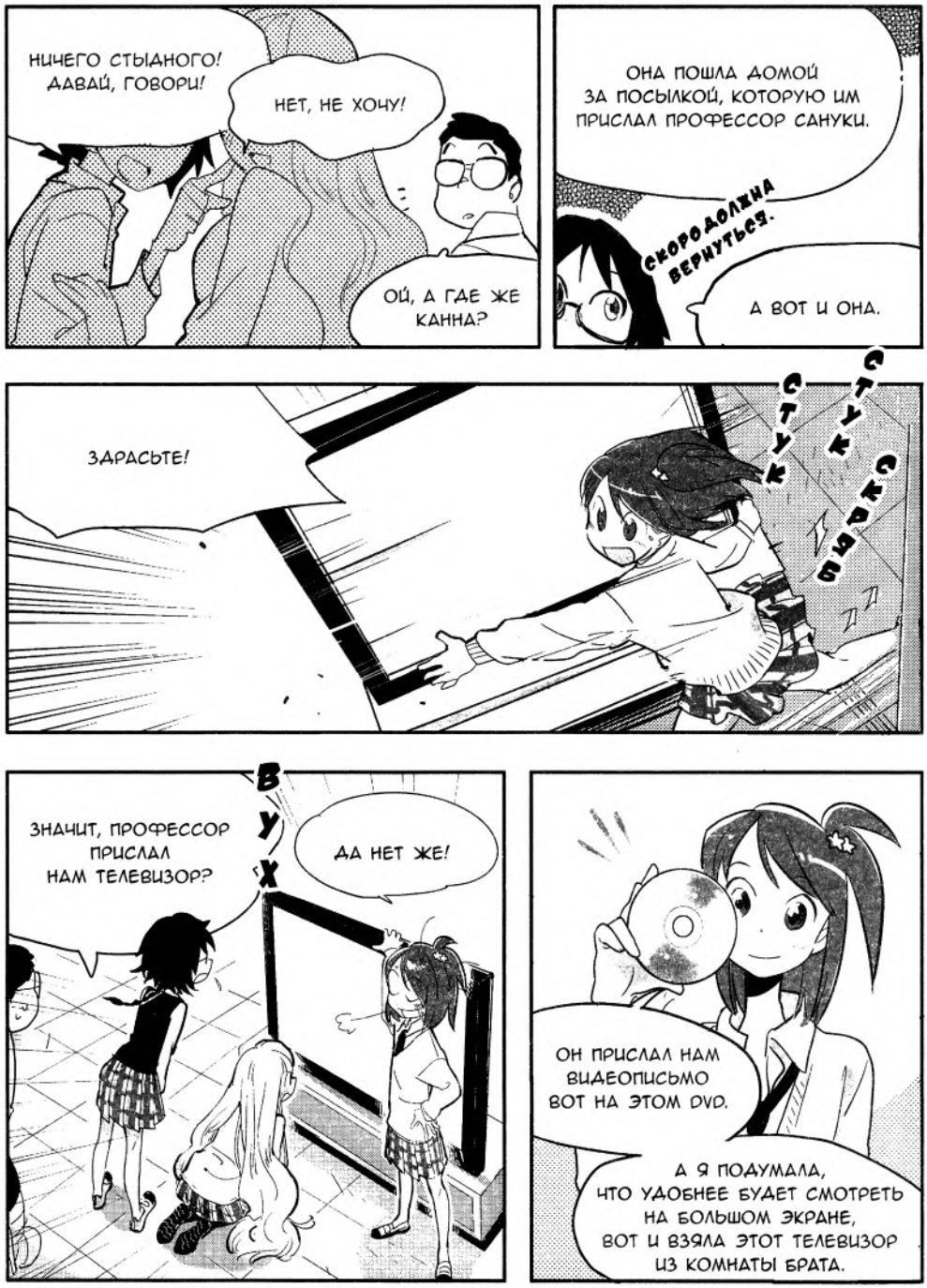
Ну как, дорогие читатели, удалось вам проникнуться страданиями Ахилла? Или вы просто подумали: «Ерунда, Ахилл сразу же догонит черепаху»?

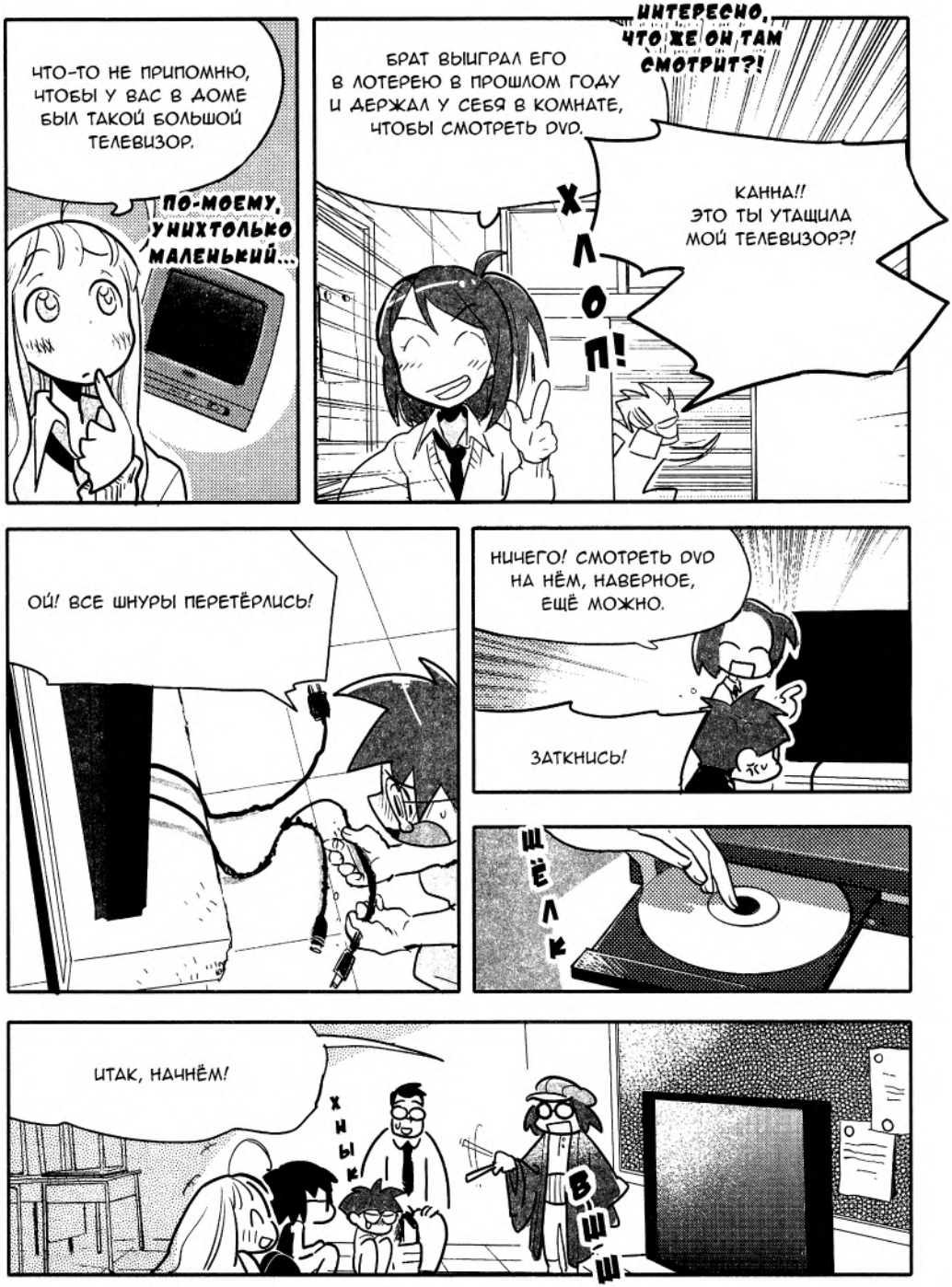
Почему же Ахилл поверил, что он не сможет догнать черепаху?

В том случае, если по расчётам Ахилл должен догнать черепаху через 10 секунд после старта, через 5 секунд расстояние между ними будет равно половине первоначального. Далее, через 7,5 секунды после старта (= 5 + 2,5) расстояние опять уменьшится наполовину, через 8,625 секунды (= 5 + 2,5 + 1,25) – снова сократится наполовину… То есть, если продолжать эти рассуждения, то окажется, что Ахилл не сможет догнать черепаху до бесконечности, хотя расстояние между ними сокращается.

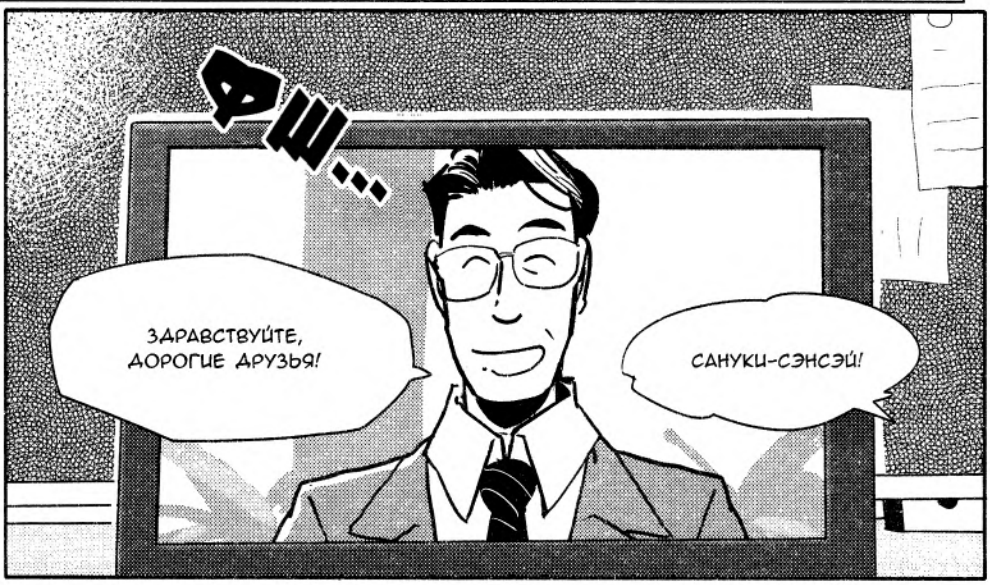
И если допустить, что можно до бесконечности делить время и «длину материи» – расстояние, то подобные рассуждения оказываются верны.


ЭТО НАПОМИНАЕТ КАКУЮ-ТО МАТЕМАТИЧЕСКУЮ ПРОБЛЕМУ.
НЕТ, МАТЕМАТИКА ДАЁТ НАМ ЧЁТКИЕ ОТВЕТЫ. А ЭТА ПРОБЛЕМА ИЗНАЧАЛЬНО ПРИВОДИЛАСЬ В ЛОГИКЕ – ОДНОМ ИЗ РАЗДЕЛОВ ФИЛОСОФИИ. А ВЕДЬ НА ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ТРУДНО ДАТЬ ОДНОЗНАЧНЫЙ ОТВЕТ, СКОЛЬКО НИ РАЗМЫШЛЯЙ.
ОТВЕТ НИКАК НЕ НАХОДИТСЯ.
ЭТО ОДИН ИЗ ТАК НАЗЫВАЕМЫХ ПАРАДОКСОВ ЗЕНОНА, ОБНАРУЖЕННЫХ В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ.
АГА! А Я В ДЕТСТВЕ ТОЖЕ ДУМАЛА НАД ПОХОЖЕЙ ПРОБЛЕМОЙ.
ДА
НО НЕ НАСЧЁТ АХИЛЛА И ЧЕРЕПАХИ...
.....
ОЙ
ТЫ О ЧЁМ?
ХИ-ХИ-ХИ. МНЕ СТЫДНО ПРИЗНАТЬСЯ.
А-ХА-ХА


НИЧЕГО СТЫДНОГО! ДАВАЙ, ГОВОРИ!
НЕТ, НЕ ХОЧУ!
ОЙ, А ГДЕ ЖЕ КАННА?
ОНА ПОШЛА ДОМОЙ ЗА ПОСЫЛКОЙ, КОТОРУЮ ИМ ПРИСЛАЛ ПРОФЕССОР САНУКИ.
СКОРО ДОЛЖНА ВЕРНУТЬСЯ.
А ВОТ И ОНА.
ЗДРАСЬТЕ!
СТУК
СТУК
СТУК
ЗНАЧИТ, ПРОФЕССОР ПРИСЛАЛ НАМ ТЕЛЕВИЗОР?
ВУХ
ДА НЕТ ЖЕ!
ОН ПРИСЛАЛ НАМ ВИДЕОПИСЬМО ВОТ НА ЭТОМ DVD.
А Я ПОДУМАЛА, ЧТО УДОБНЕЕ БУДЕТ СМОТРЕТЬ НА БОЛЬШОМ ЭКРАНЕ, ВОТ И ВЗЯЛА ЭТОТ ТЕЛЕВИЗОР ИЗ КОМНАТЫ БРАТА.

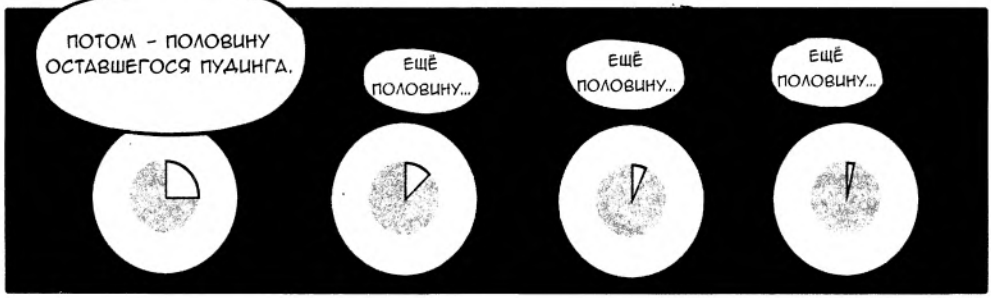

ЧТО-ТО НЕ ПРИПОМНЮ, ЧТОБЫ У ВАС В ДОМЕ БЫЛ ТАКОЙ БОЛЬШОЙ ТЕЛЕВИЗОР.
ПО-МОЕМУ, У НИХ ТОЛЬКО МАЛЕНЬКИЙ...
БРАТ ВЫИГРАЛ ЕГО В ЛОТЕРЕЮ В ПРОШЛОМ ГОДУ И ДЕРЖАЛ У СЕБЯ В КОМНАТЕ, ЧТОБЫ СМОТРЕТЬ DVD.
ИНТЕРЕСНО, ЧТО ЖЕ ОН ТАМ СМОТРИТ?!
ХЛОП!
КАННА!! ЭТО ТЫ УТАЩИЛА МОЙ ТЕЛЕВИЗОР?!
ОЙ! ВСЕ ШНУРЫ ПЕРЕТЁРЛИСЬ!
НИЧЕГО! СМОТРЕТЬ DVD НА НЁМ, НАВЕРНОЕ, ЕЩЁ МОЖНО.
ЗАТКНИСЬ!
ЩЁЛК
ИТАК, НАЧНЁМ!
ХНЫК
ВЭШ

1.2. СУЩЕСТВУЮТ ЛИ НА САМОМ ДЕЛЕ МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ?



КАК ДЕЛА, ГЛОРИЯ?
ПАПА!
КАК?!
ПО ЧИСТОЙ СЛУЧАЙНОСТИ ВЛАДЕЛЕЦ ГОСТИНИЦЫ, В КОТОРОЙ Я ОСТАНОВИЛСЯ, ОКАЗАЛСЯ ОТЦОМ ГЛОРИИ.
И ТОЛЬКО ЧТО ОН РАССКАЗАЛ МНЕ ИНТЕРЕСНУЮ ВЕЩЬ, КОТОРАЯ НАЗЫВАЕТСЯ "ПАРАДОКСОМ ПУДИНГА".
ПОМНИШЬ, ГЛОРИЯ?
ПРО ПАРАДОКС ПУДИНГА?
ДА...
ПУДИНГА?
ПУДИНГА?

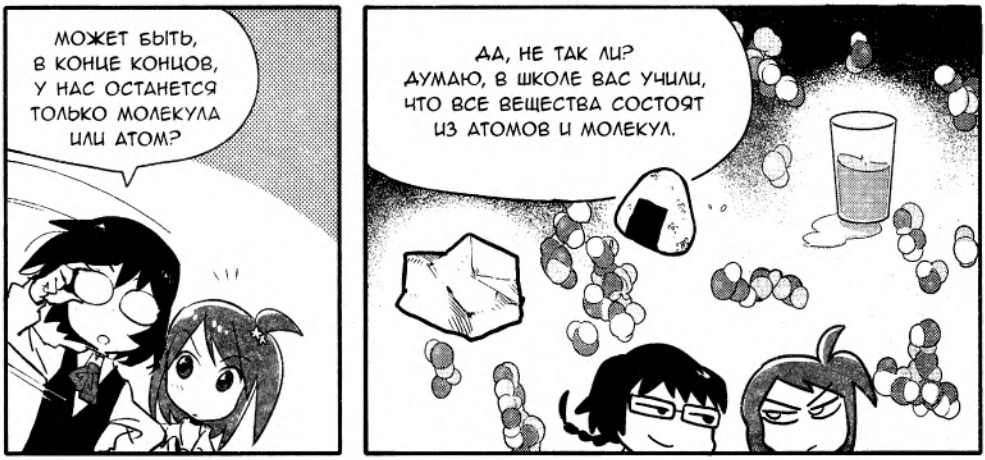
ВОТ ПУДИНГ, ПРИНЕСЁННЫЙ ИЗ РЕСТОРАНА.
СНАЧАЛА Я СЪЕМ ПОЛОВИНУ.


ПОТОМ – ПОЛОВИНУ ОСТАВШЕГОСЯ ПУДИНГА.
ЕЩЁ ПОЛОВИНУ...
ЕЩЁ ПОЛОВИНУ...
ЕЩЁ ПОЛОВИНУ...

ТЕБЕ ВОПРОС, КАННА!
КАК ТЫ ДУМАЕШЬ, ЧТО ПРОИЗОЙДЁТ, ЕСЛИ ВОТ ТАК ВСЁ ВРЕМЯ СЪЕДАТЬ ПОЛОВИНУ?
АГА...
ТАК...

НИЧЕГО НЕ ПРОИЗОЙДЁТ. ПРОСТО ПОСЛЕДНИЙ, СЛИШКОМ МАЛЕНЬКИЙ КУСОЧЕК ПРИДЁТСЯ СЪЕСТЬ ПОЛНОСТЬЮ.
АМ!

НЕТ, Я НЕ ЭТО ХОТЕЛ СКАЗАТЬ. ПРЕДСТАВЬТЕ, ЧТО У ВАС ЕСТЬ ОСОБАЯ ЛОЖКА, КОТОРОЙ МОЖНО ДЕЛИТЬ ПУДИНГ ПОПОЛАМ СКОЛЬ УГОДНО ТОНКО.


МОЖЕТ БЫТЬ, В КОНЦЕ КОНЦОВ, У НАС ОСТАНЕТСЯ ТОЛЬКО МОЛЕКУЛА ИЛИ АТОМ?
ДА, НЕ ТАК ЛИ? ДУМАЮ, В ШКОЛЕ ВАС УЧИЛИ, ЧТО ВСЕ ВЕЩЕСТВА СОСТОЯТ ИЗ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ.

НО ТАК ЛИ ЭТО НА САМОМ ДЕЛЕ?
ВЕДЬ ЗДРАВЫЙ СМЫСЛ ДОЛЖЕН ПОДСКАЗАТЬ ВАМ, ЧТО СКОЛЬКО НИ ДЕЛИ ПУДИНГ, ОН ПУДИНГОМ И ОСТАНЕТСЯ.
ВКУС ПУДИНГА ВЕДЬ НЕ ИСЧЕЗНЕТ, ЕСЛИ ДАЖЕ КУСОЧЕК СТАНЕТ МЕНЬШЕ.

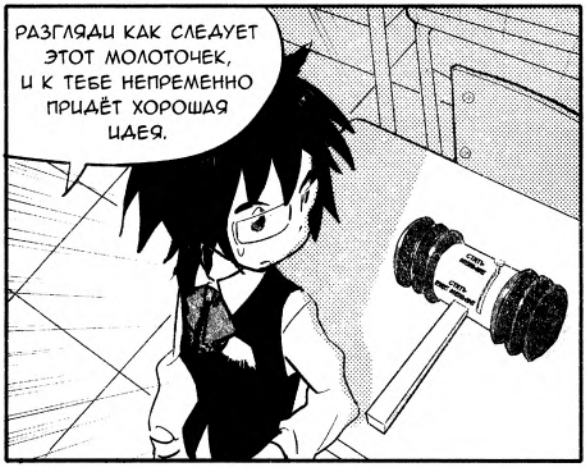
ПОЧЕМУ ЖЕ ТОГДА ВЫ ВЕРИТЕ, ЧТО ВЕЩЕСТВА СОСТОЯТ ИЗ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ?
ВОТ КАННА МОЛОДЕЦ, СОМНЕВАЕТСЯ.

ЗНАЧИТ, Я БЫЛА ПРАВА?!
СЭНСЭЙ, ТАК КТО ЖЕ ПРАВ?!
ХЕ-ХЕ

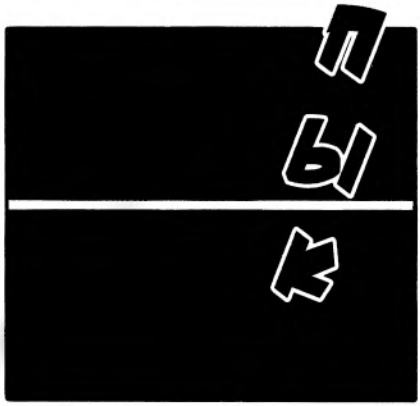
ИТАК, ЯМАНЭ!
ЧТО?

ВОТ ТЕБЕ ПЕРВОЕ ЗАДАНИЕ – ОБЪЯСНИ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОЕ УЧЕНИЕ ТАК, ЧТОБЫ ВСЕ СОГЛАСИЛИСЬ, ПОЧЕМУ ДОЛЖНЫ СУЩЕСТВОВАТЬ АТОМЫ – НАИМЕНЬШИЕ ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА?
КРОМЕ ТОГО, ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ АТОМЫ ЯВЛЯЮТСЯ НАИМЕНЬШИМИ ЧАСТИЦАМИ, КОТОРЫЕ НЕ ПОДДАЮТСЯ ДАЛЬНЕЙШЕМУ ДЕЛЕНИЮ? ПРОСТО ИЗУЧИ ЭТОТ ВОПРОС – И У ТЕБЯ ПОЛУЧИТСЯ СЦЕНАРИЙ ДЛЯ СПЕКТАКЛЯ.

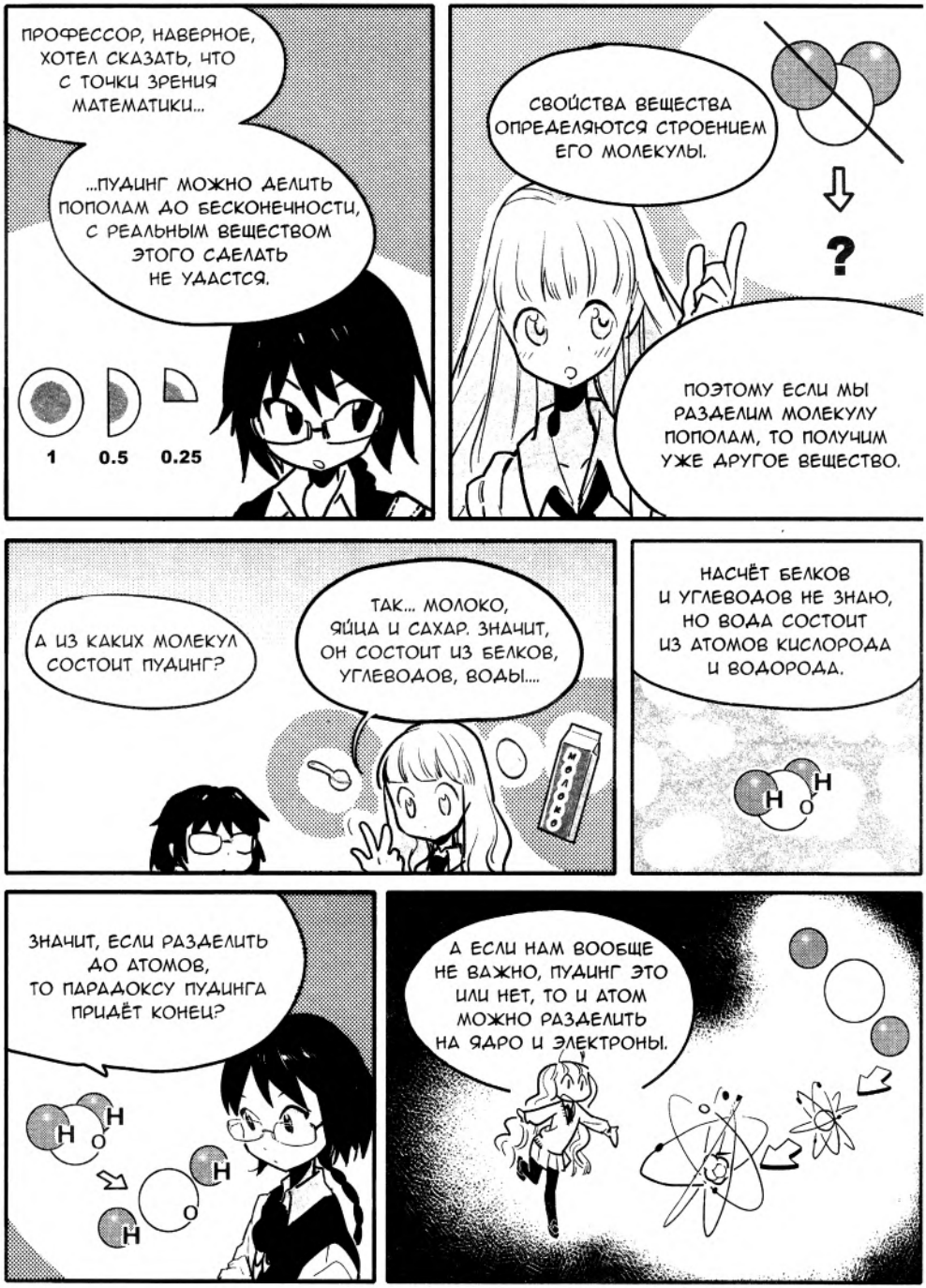
НО ЭТО ТАК СЛОЖНО...
НЕ ВОЛНУЙСЯ.
ШАТЬ
БАХ!

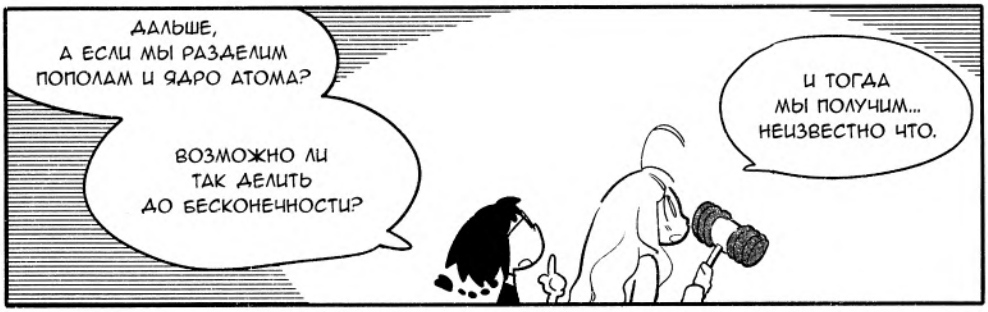

РАЗГЛЯДИ КАК СЛЕДУЕТ ЭТОТ МОЛОТОЧЕК, И К ТЕБЕ НЕПРЕМЕННО ПРИДЁТ ХОРОШАЯ ИДЕЯ.

Я ПОСТАРАЮСЬ ВЕРНУТЬСЯ В ЯПОНИЮ КАК МОЖНО СКОРЕЕ. ПОПРОБУЙ НАПИСАТЬ ИНТЕРЕСНЫЙ СЦЕНАРИЙ ДО МОЕГО ПРИЕЗДА.
ДО СВИДАНИЯ!


ПЫК

НУ ПОКА, ПАПА!
ПОКА-ПОКА!
СТАРАЙСЯ, ЯМАНЭ
НА ТЕБЯ ВСЯ НАДЕЖДА!
ДА!
Я ВЕДЬ НИКОГДА СЕРЬЁЗНО НЕ РАЗМЫШЛЯЛА О ТОМ, ПОЧЕМУ СУЩЕСТВУЮТ МОЛЕКУЛЫ И АТОМЫ.
ВЕДЬ ИХ И ГЛАЗОМ УВИДЕТЬ НЕВОЗМОЖНО.
ТРЕСК
ТРЕСК

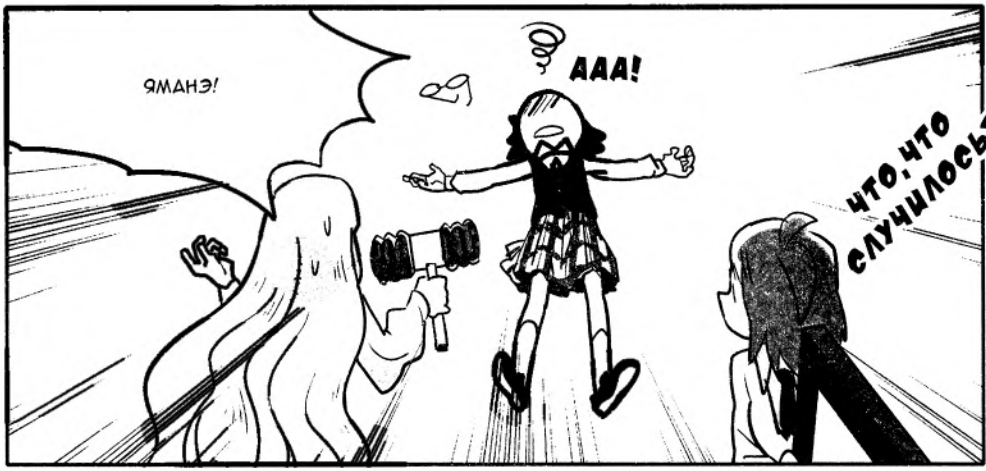

ПРОФЕССОР, НАВЕРНОЕ, ХОТЕЛ СКАЗАТЬ, ЧТО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАТЕМАТИКИ...
...ПУДИНГ МОЖНО ДЕЛИТЬ ПОПОЛАМ ДО БЕСКОНЕЧНОСТИ, С РЕАЛЬНЫМ ВЕЩЕСТВОМ ЭТОГО СДЕЛАТЬ НЕ УДАСТСЯ.
1
0.5
0.25
СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ СТРОЕНИЕМ ЕГО МОЛЕКУЛЫ.
?
ПОЭТОМУ ЕСЛИ МЫ РАЗДЕЛИМ МОЛЕКУЛУ ПОПОЛАМ, ТО ПОЛУЧИМ УЖЕ ДРУГОЕ ВЕЩЕСТВО.
А ИЗ КАКИХ МОЛЕКУЛ СОСТОИТ ПУДИНГ?
ТАК... МОЛОКО, ЯЙЦА И САХАР. ЗНАЧИТ, ОН СОСТОИТ ИЗ БЕЛКОВ, УГЛЕВОДОВ, ВОДЫ....
МОЛОКО
НАСЧЁТ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ НЕ ЗНАЮ, НО ВОДА СОСТОИТ ИЗ АТОМОВ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА.
H
O
H
ЗНАЧИТ, ЕСЛИ РАЗДЕЛИТЬ ДО АТОМОВ, ТО ПАРАДОКСУ ПУДИНГА ПРИДЁТ КОНЕЦ?
H
O
H
H
O
H
А ЕСЛИ НАМ ВООБЩЕ НЕ ВАЖНО, ПУДИНГ ЭТО ИЛИ НЕТ, ТО И АТОМ МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА ЯДРО И ЭЛЕКТРОНЫ.


ДАЛЬШЕ, А ЕСЛИ МЫ РАЗДЕЛИМ ПОПОЛАМ И ЯДРО АТОМА?
ВОЗМОЖНО ЛИ ТАК ДЕЛИТЬ ДО БЕСКОНЕЧНОСТИ?
И ТОГДА МЫ ПОЛУЧИМ... НЕИЗВЕСТНО ЧТО.

ПРОФЕССОР ГОВОРИЛ, ЧТО ОТВЕТ МОЖЕТ ДАТЬ ЭТОТ МОЛОТОК С ПИЩАЛКОЙ.

НЕ ТАК ЛИ?!
ПИК!

ПИК?

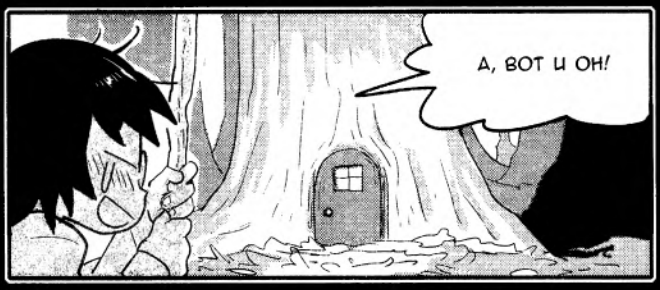

ЯМАНЭ!
ААА!
ЧТО, ЧТО СЛУЧИЛОСЬ?

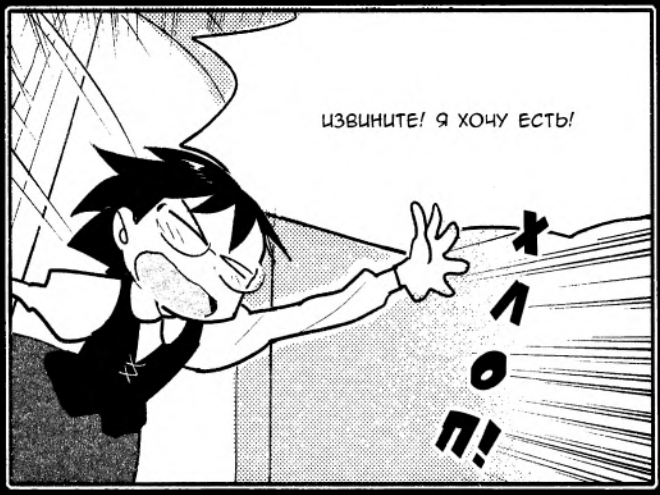
ВЖИХ
ГМ...
ОЙ, ЧТО ЭТО?!
ФИУ...
АААА!
Я ЛЕЧУ ПО НЕБУ?!
И ОДЕЖДА, КАК У ДЮЙМОВОЧКИ.
ЗНАЧИТ... Я НА САМОМ ДЕЛЕ...
ЖЖЖЖ...
КАКАЯ МИЛАЯ! ХОТЬ И НЕ ПОХОЖА НА МАЙСКУЮ ЖУЧИХУ...
ЗЕ
ЖЕНЮСЬ-КА Я НА НЕЙ...

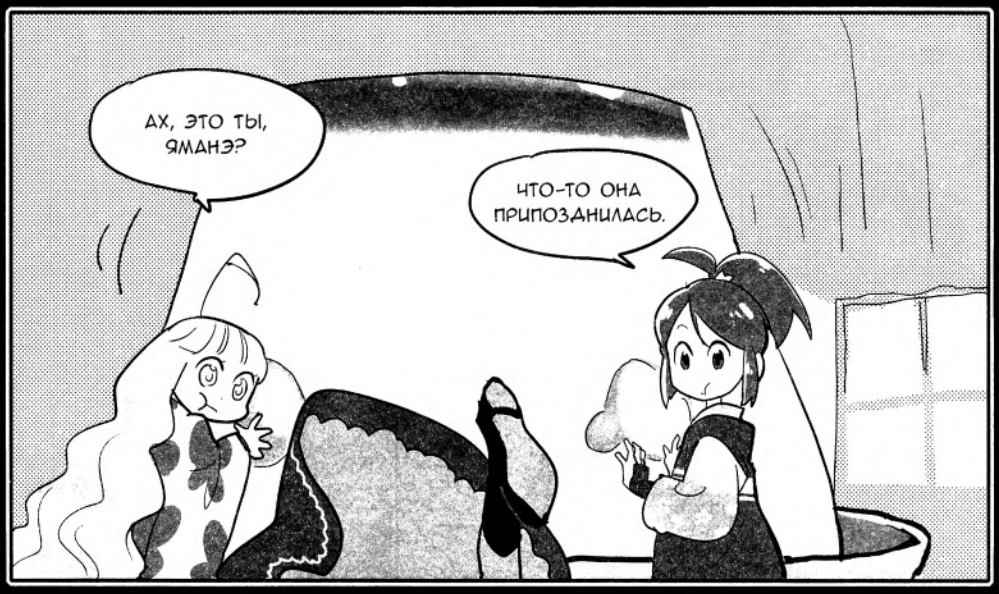
ФЭ...
ЧТО?
ААА!!

ММММ...

КАК Я ПРОГОЛОДАЛАСЬ!
НО ЕСЛИ ЭТО МИР ДЮЙМОВОЧКИ, ТО ГДЕ-ТО ПОБЛИЗОСТИ ДОЛЖЕН БЫТЬ ДОМИК СТАРОЙ МЫШИ, ГДЕ МЕНЯ НАКОРМЯТ...


А, ВОТ И ОН!


ИЗВИНИТЕ! Я ХОЧУ ЕСТЬ!
ХЛОП!


АХ, ЭТО ТЫ, ЯМАНЭ?
ЧТО-ТО ОНА ПРИПОЗДНИЛАСЬ.

СТАВ МАЛЕНЬКИМИ, МЫ МОЖЕМ ВТРОЁМ НАЕСТЬСЯ ДО ОТВАЛА ОДНИМ ПУДИНГОМ.
ВСЁ ЭТО МНЕ СНИТСЯ. ЭТО, КОНЕЧНО, СОН...
АМ!
АМ!
АМ!

ИК...

ЭТО ВСЁ, ЧТО ОСТАЛОСЬ...
ЕСТЕСТВЕННО. ЛЮБАЯ ЕДА ЗАКАНЧИВАЕТСЯ, ЕСЛИ ЛОПАЕШЬ И ЛОПАЕШЬ.
ЭХ, КАКИЕ МЫ ГЛУПЫЕ!.. НАДО БЫЛО ОСТАВИТЬ ПРО ЗАПАС...

НИЧЕГО СТРАШНОГО!
ХИ-ХИ-ХИ...

СТАНЬТЕ МЕНЬШЕ!
ПИК
ММ....
БОЛЬНО
ТАД-ДАМ
ДДД!
НАМ НАДО ПРОСТО СТАТЬ МЕНЬШЕ!
ХРУМ
ХРУМ
И ТЕПЕРЬ МЫ ОПЯТЬ СМОЖЕМ НАЕСТЬСЯ ВВОЛЮ.
ПУДИНГ ОПЯТЬ СТАЛ МАЛЕНЬКИМ...
ИТАК...
ШУРХ
И ОПЯТЬ...

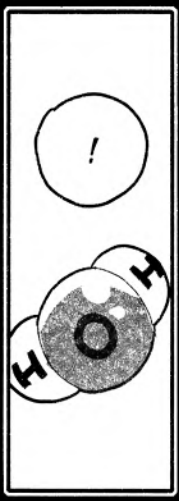
ОГО...
ЖИР, УГЛЕВОД В, УГЛЕВОД А, ВОДА, ВОДА, ВОДА, ЖИР.
ЖИР
ПРЫГ!
ВОДА
ВОДА
УГЛЕВОД В
ПРЫГ!
ВОДА
ТЕПЕРЬ ВСЁ КАКОЕ-ТО МЯГКОЕ.
УГЛЕВОД А
ЖИР
ВОДА
ПРЫГ!
И ФОРМА НЕ ТАКАЯ, КАК БЫЛА РАНЬШЕ.
ЛАДНО, Я ПОПРОБУЮ!
ВОДА
АМ!
НЕВКУСНО!
ТЬФУ!
ВОДА
ВОДА
А ВОТ ЭТА ШТУКА ПРОСТО СЛАДКАЯ.
ЭТО УЖЕ НЕ ПУДИНГ!
ЭТО ВОДА
ВОДА
ВОДА
УГЛЕВОД А
УГЛЕВОД
НУ РАЗ ТАК, ТЕРЯТЬ БОЛЬШЕ НЕЧЕГО!!!

ДАВАЙТЕ СТАНЕМ ТАКИМИ МАЛЕНЬКИМИ, НАСКОЛЬКО ЭТО ВОЗМОЖНО!
ВОДА
УГЛЕВОДА
ВУХ
ВУХ
ХИР
ВОДА
КАННА, ЧТО ТЫ ДЕЛАЕШЬ?!
КАННА, ПРЕКРАТИ!
ВОДА
УГЛЕВОДА
НАС ТУТ РАЗДАВИТ!
УГЛЕВОДА
ААА!

ЯМАНЭ, ЭТО ЖЕ ШАНС!
ВОДА
ЧТО?

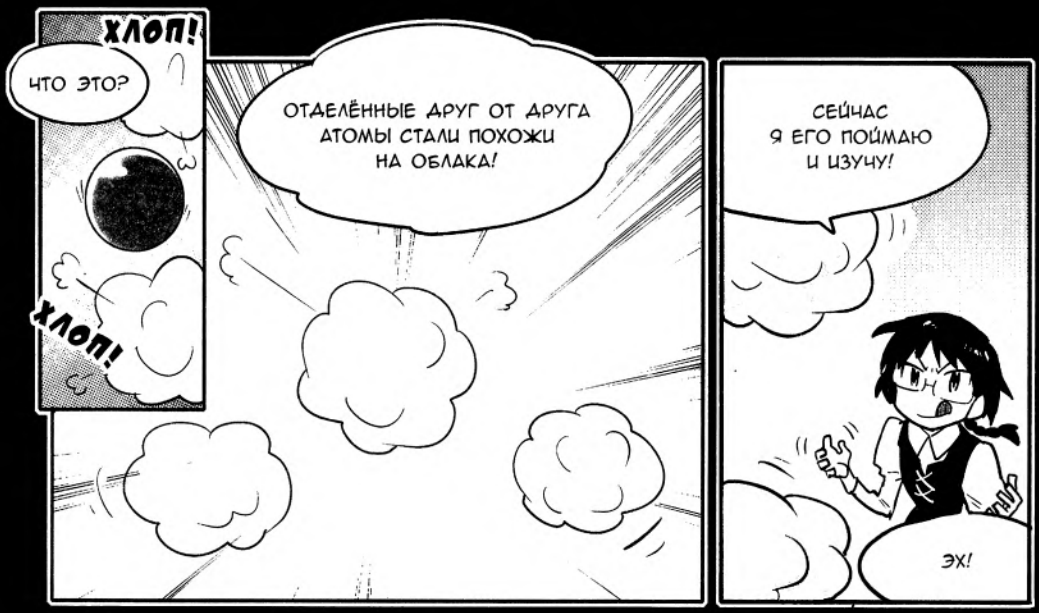
СЧАСТЛИВОГО ПУТИ!
БУЛТЫХ!
ПЛЮХ!

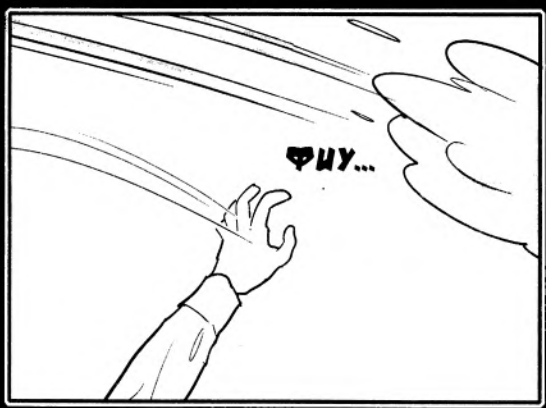
УХ ТЫ...


!

ПОПРОБУЮ ИХ РАЗНЯТЬ...

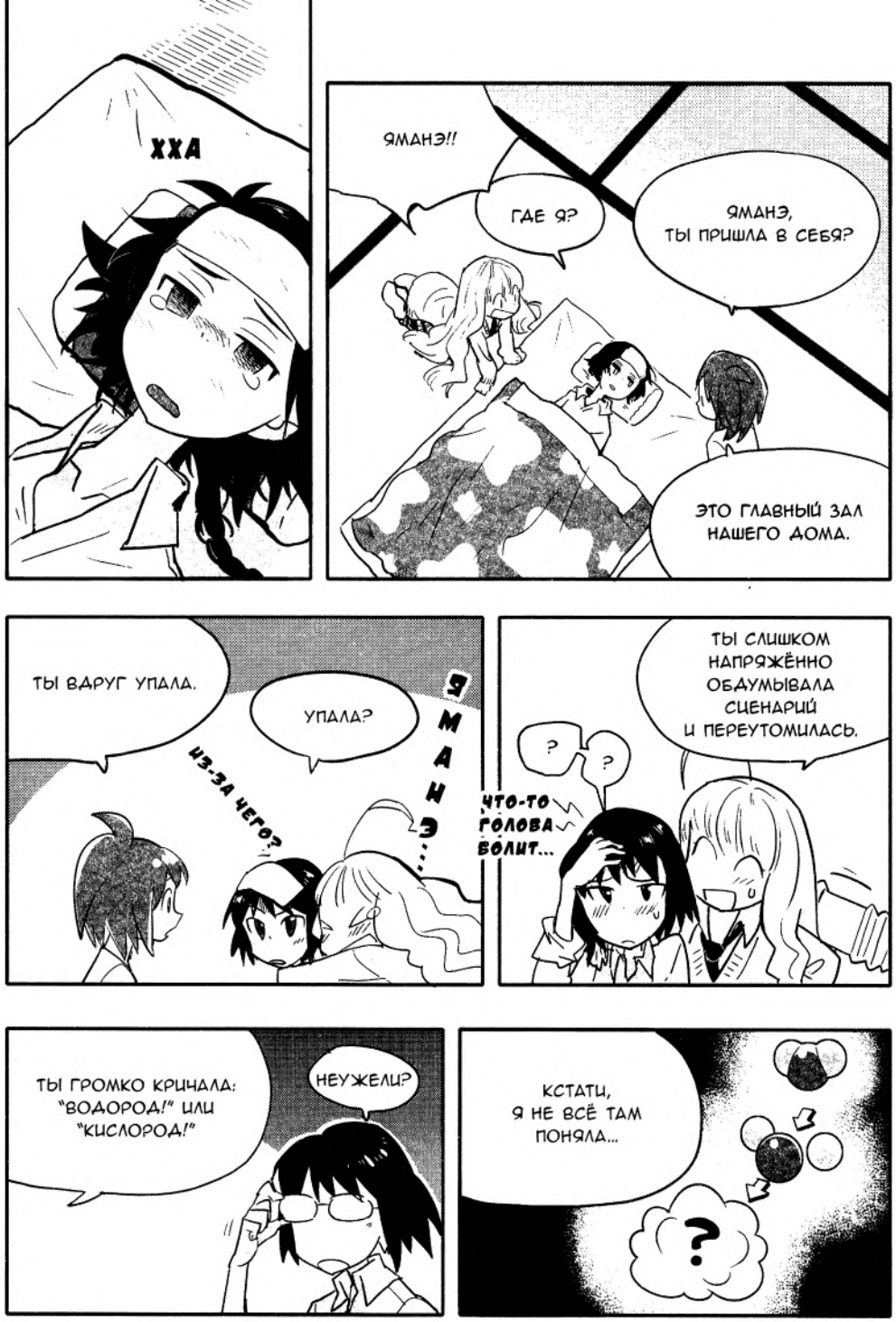
ЭХ...
ДЁРГ
ДЁРГ
ДЁРГ
СКР, СКР
НЕ ПОЛУЧАЕТСЯ. ОНИ ОЧЕНЬ КРЕПКО СВЯЗАНЫ!
ТАК
АТОМЫ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДА В МОЛЕКУЛЕ ВОДЫ КРЕПКО СВЯЗАНЫ ПОСРЕДСТВОМ ОБЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПАРЫ И НЕ МОГУТ БЫТЬ ЛЕГКО РАЗДЕЛЕНЫ...
ОТОЙДИ, ОТОЙДИ...
Основы химии
Я ПОПРОБУЮ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ!
ТАК!
ТРЦ, ТРЦ
ТРЕСК
ПОЛУЧИЛОСЬ!


ХЛОП!
ЧТО ЭТО?
ХЛОП!
ОТДЕЛЁННЫЕ ДРУГ ОТ ДРУГА АТОМЫ СТАЛИ ПОХОЖИ НА ОБЛАКА!
СЕЙЧАС Я ЕГО ПОЙМАЮ И ИЗУЧУ!
ЭХ!

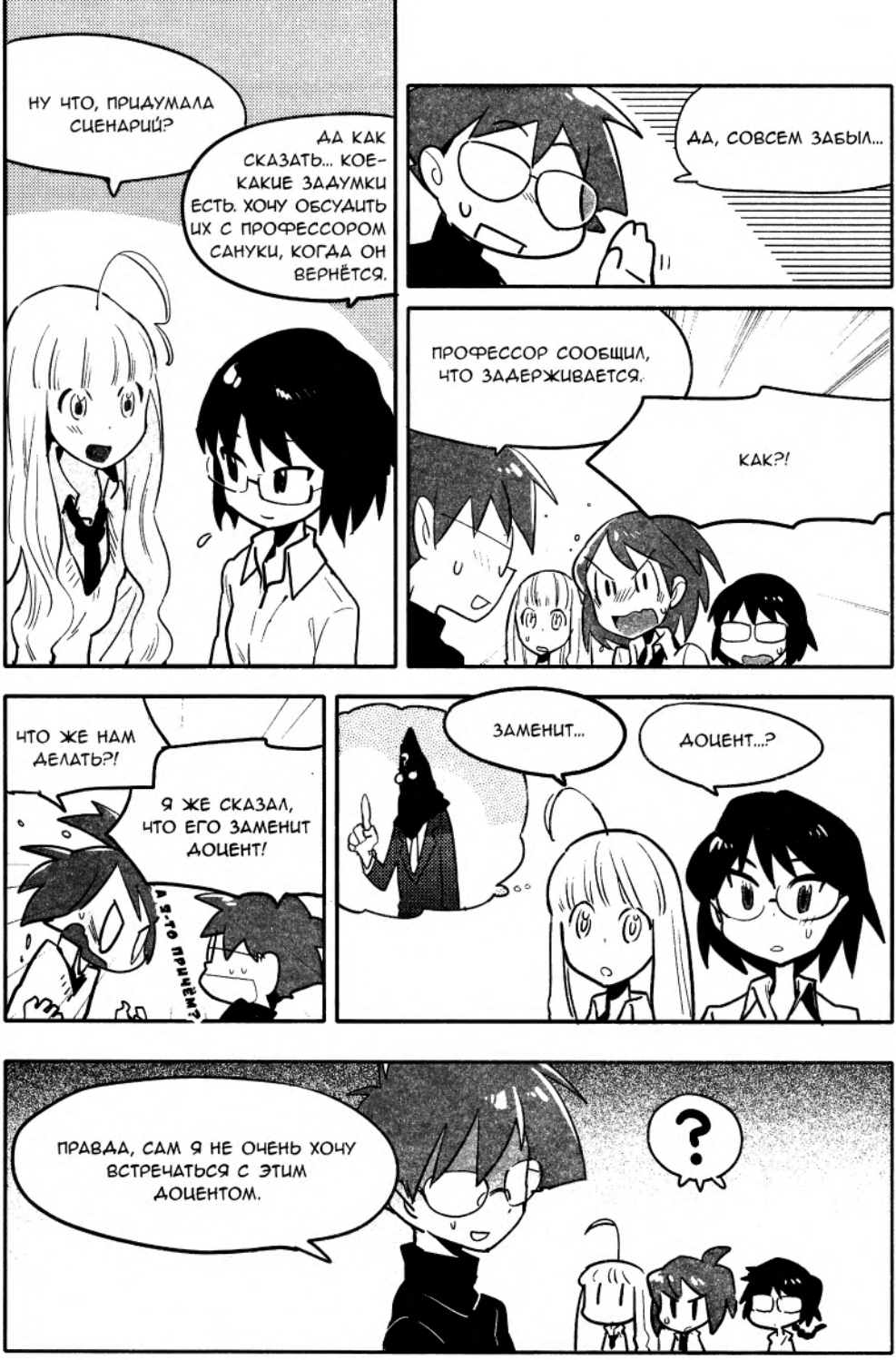

ФИУ...

ОЙ, КАК ЖЕ ОНО БЫСТРО ЛЕТАЕТ!
ПОДОЖДИ!!!

ПОДОЖДИ!
ПОКАЖИ, ЧТО У ТЕБЯ ВНУТРИ!


ХХА
ЯМАНЭ!!
ГДЕ Я?
ЯМАНЭ, ТЫ ПРИШЛА В СЕБЯ?
ЭТО ГЛАВНЫЙ ЗАЛ НАШЕГО ДОМА.
ТЫ ВДРУГ УПАЛА.
УПАЛА?
ИЗ-ЗА ЧЕГО?
ЯМАНЭ...
ТЫ СЛИШКОМ НАПРЯЖЁННО ОБДУМЫВАЛА СЦЕНАРИЙ И ПЕРЕУТОМИЛАСЬ.
?
?
ЧТО-ТО ГОЛОВА БОЛИТ...
ТЫ ГРОМКО КРИЧАЛА: "ВОДОРОД!" ИЛИ "КИСЛОРОД!"
НЕУЖЕЛИ?
КСТАТИ, Я НЕ ВСЁ ТАМ ПОНЯЛА...
?

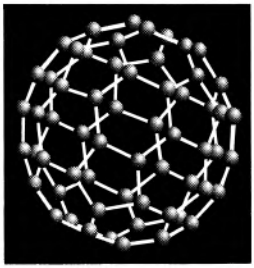
ТЫ ОЧНУЛАСЬ?
ПЛЮХ
Я ОЧЕНЬ ИСПУГАЛСЯ.
КАНТА!!!
АА?!
ДЁРГ!
ХВАТЫ!
РАНЬШЕ Я ДУМАЛА, ЧТО В АТОМЕ, КАК В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ, ЭЛЕКТРОНЫ ВРАЩАЮТСЯ ВОКРУГ ЯДРА...
А НА САМОМ ДЕЛЕ ОН ЧТО, ОКУТАН КАКИМ-ТО ОБЛАКОМ?
АТОМ?
ОБЛАКОМ?
АА! ЭТО ТАК В ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ!
ЯМАНЭ РАЗМЫШЛЯЛА, ДАЖЕ БУДУЧИ БЕЗ СОЗНАНИЯ?


НУ ЧТО, ПРИДУМАЛА СЦЕНАРИЙ?
ДА КАК СКАЗАТЬ... КОЕ-КАКИЕ ЗАДУМКИ ЕСТЬ. ХОЧУ ОБСУДИТЬ ИХ С ПРОФЕССОРОМ САНУКИ, КОГДА ОН ВЕРНЁТСЯ.
ДА, СОВСЕМ ЗАБЫЛ...
ПРОФЕССОР СООБЩИЛ, ЧТО ЗАДЕРЖИВАЕТСЯ.
КАК?!
ЧТО ЖЕ НАМ ДЕЛАТЬ?!
Я ЖЕ СКАЗАЛ, ЧТО ЕГО ЗАМЕНИТ ДОЦЕНТ!
А Я-ТО ПРИЧЁМ?
ЗАМЕНИТ...
ДОЦЕНТ...?
ПРАВДА, САМ Я НЕ ОЧЕНЬ ХОЧУ ВСТРЕЧАТЬСЯ С ЭТИМ ДОЦЕНТОМ.
?

На этом уровне можно наблюдать бактерии, которые являются возбудителями болезней, и разработка мощных микроскопов, естественно, внесла большой вклад в последующее развитие медицины, фармацевтики, физики и др.

- **Развитие электронного микроскопа и его ограничения**

Итак, какой же порядок имеют длины (размеры) молекул и атомов – объектов изучения в атомно-молекулярном учении и квантовой механике? Сравнительно большими являются существующие в природе органические молекулы – белки, состоящие в основном из углерода, азота. Например, молекула основного компонента яичного белка – альбумина – имеет размеры примерно 3×8 нанометров. Среди углеродных молекул самой крупной является молекула фуллерена, имеющая форму футбольного мяча, образованную из 60 атомов углерода, – её диаметр составляет около 1 нм. Если бы разрешающая способность оптического микроскопа была повыше где-то на 2 порядка, то с его помощью можно было бы разглядеть молекулы. Но, к сожалению, это невозможно даже теоретически, так как длины волн видимого света лежат в диапазоне 380–750 нм.

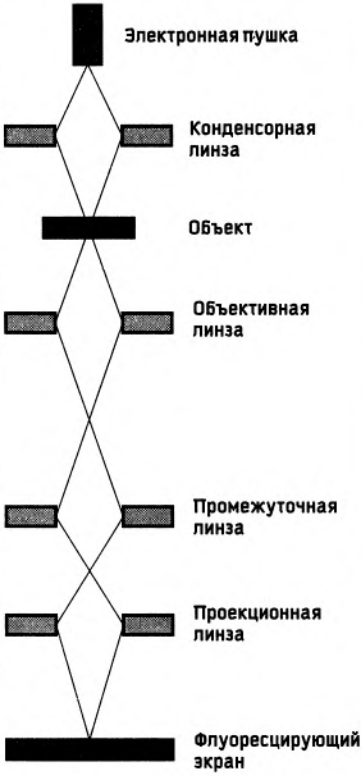


Модель фуллерена C_{60}

И здесь на сцену выходит электронный микроскоп. Хотя для исследователей он является вполне привычным инструментом, обычные люди, наверное, плохо представляют себе его устройство и применение.

Как и следует из названия, в электронном микроскопе для наблюдения за объектами на них направляют не свет, а пучок электронов. «Увеличение» достигается благодаря искривлению электронных (катодных) лучей в магнитном поле, что позволяет рассчитывать на бóльшую, чем у оптического микроскопа, разрешающую способность – на настоящий момент рекордом является разрешение около 50 пикометров (пм).

Так как 1 нм = 1000 пм, то казалось бы, что наконец-то можно будет увидеть мир атомов, но не тут-то было.



Устройство электронного микроскопа

Вызов технологиям наблюдения маленького мира. Часть 1

История развития микроскопа

- **Знаменитый кинофильм, показавший чудеса масштабирования**

Доводилось ли вам смотреть научно-популярный фильм «Степени десяти»? Эта лента длиной около 10 мин, она начинается с кадров мужчины и женщины на пикнике в парке. Затем на экране появляется рамка, выделяющая на подстилке для пикника квадрат с длиной стороны ровно в 1 метр. В первой части фильма кинокамера каждые 10 секунд удаляется таким образом, что сторона очерченного рамкой участка каждый раз увеличивается ровно в 10 раз: через несколько удалений камеры в рамке целиком оказывается Земля, Солнечная система и, наконец, Вселенная. Кстати, английское название ленты «Powers of Ten» некоторые почему-то переводят как «Сила десяти», хотя оно указывает на «десять в n-ой степени», то есть 10^n.

Во второй части фильма кинокамера, наоборот, постепенно приближается, и в рамку попадают квадраты со сторонами 0,1 м, 0,01 м и т. д., до уровня микромира. В конце даже делается попытка показать атомное ядро изнутри, но в 1977 году, когда снимался этот фильм, многое было ещё не ясно, поэтому концовка оказалась несколько расплывчатой. Как бы там ни было, нельзя не поразиться дизайнерскому мастерству супругов Имс – Чарльза и Рей, снявших такой потрясающий фильм в эпоху без компьютерной графики.

Итак, выразив им здесь своё почтение, давайте тоже поразмышляем над тем, как можно увидеть микромир.

- **Минимальные размеры, различимые человеческим глазом**

В человеческом восприятии «маленький» – это, наверное, где-то около 1 миллиметра (то есть 0,001 м = 10^{-3} м). Например, шрифт, уменьшенный до 1 мм, уже невозможно разобрать.

Однако возможности человеческого глаза удивительны – он способен различать и объекты, которые намного меньше 1 мм. Например, цена деления линейки обычно равна 1 мм, однако если разделить его на 10 частей, они будут ещё видны. Это означает, что предел визуальных измерений находится где-то в районе 0,1 мм. В действительности разрешающая способность человеческого глаза (то есть способность различать две точки как отдельные) составляет примерно 0,1 мм (0,0001 м = 10^{-4} м). Такие размеры имеет, например, клещ.

Но удивительная черта человека – не отступать перед преградами. После быстрого усовершенствования микроскопа (оптического) он достиг разрешающей способности около 500 нанометров (0,0000005 м = $5 \cdot 10^{-7}$ м), что соответствует средней длине волны спектра видимого света.

Диаметр атома водорода, самого маленького из атомов, тоже составляет около 50 пм, и можно подумать, что атомы можно разгдядеть в электронный микроскоп на пределе его разрешения. К сожалению, атом внутри почти пуст – диаметр ядра, расположенного в его центре, составляет порядка стотысячной доли от диаметра атома. Поэтому даже самые современные электронные микроскопы не дали нам возможности увидеть атом.

Сравнение порядков

Порядки	Значение в близких единицах измерения	Известные величины	Названия величин
10^{-35}		$1{,}6\times10^{-35}$ м	Планковская длина
10^{-18}	1 аттометр (ам)		Верхний предел радиусов кварка, электрона
10^{-15}	1 фемтометр (фм)		Радиус протона
10^{-11}	10 пикометров (пм)	49,8 пм 53 пм	Рекордное разрешение электронного микроскопа (2000 г) Радиус Бора
10^{-9}	1 нанометр (нм)	2 нм	Диаметр спирали ДНК
10^{-8}	10 нанометров (нм)	90 нм	Вирус СПИДа
10^{-7}	100 нанометров (нм)		Размер хромосомы
10^{-6}	1 микрометр (мкм)	6–8 мкм	Диаметр эритроцита человека
10^{-5}	10 микрометров (мкм)	80 мкм	Средний диаметр человеческого волоса
10^{-3}	1 миллиметр (мм)	1,5 мм	Толщина монеты 1 йена
10^{-2}	1 сантиметр (см)	2 см	Диаметр монеты 1 йена
10^{0}	1 метр (м)	1 м	Самая короткая длина волны диапазона ОВЧ (300 МГц)
10^{3}	1000 метров (м)	8848 м	Высота Эвереста над уровнем моря
10^{5}	100 килотров (км)	111 км	Длина 1° широты на поверхности Земли
10^{7}	10 мегаметров (Мм)	40 075 км	Длина экватора Земли
10^{8}	100 Мм	299 792 458 м	Расстояние, проходимое светом за 1 секунду
10^{10}	10 гигаметров (Гм)	58 Гм	Среднее расстояние от Земли до Марса
10^{11}	100 Гм	$1{,}49597870\times10^{11}$ м	1 астрономическая единица (а. е.)
10^{12}	1 тераметр (Тм)	1,4 Тм	Радиус орбиты Сатурна
10^{15}	1 петаметр (Пм)	9,46 Пм	Расстояние, проходимое светом за 1 год (световой год)
10^{19}	10 эксаметров (Ем)	14 Ем	Толщина диска Галактики в той части, где находится Солнце
10^{20}	100 Ем	260 Ем	Расстояние от Солнца до центра Галактики
10^{22}	10 зеттаметров (Зм)	22,3 Зм	Расстояние до галактики Адромеды
10^{26}	100 иоттаметров (Им)	130 Им (13,7 млрд световых лет)	Край Вселенной, наблюдаемый с помощью электромагнитных волн

Возможность делить пополам до бесконечности – это просто ужас

«Что останется в конце, если продолжать делить пудинг пополам?»

Я сам в детстве размышлял над этим вопросом. В то время пудинг считался деликатесом, поэтому дети эпохи Сёва (1926–1989) ели так, чтобы подольше насладиться вкусом.

В конце оставался такой маленький кусочек, что его нельзя было даже поддеть ложкой, но если бы существовал тонкий инструмент, позволяющий продолжить деление пудинга пополам? Этот вопрос является одновременно научным и философским, поэтому давайте на время забудем то, что написано в школьных учебниках, и попробуем поразмышлять самостоятельно.

Гипотезы на этот счёт можно выдвинуть две:

Гипотеза № 1 (гипотеза о бесконечной делимости)

Пудинг можно делить пополам до бесконечности – всё равно он останется пудингом.

Гипотеза № 2 (гипотеза о существовании «однотипных деталей»)

Любое вещество состоит из однотипных деталей, а значит, делить его возможно только до размеров этих деталей.

Первая гипотеза кажется более простой. Пудинг – он и есть пудинг, сколько его ни дели пополам! Действительно смелая гипотеза.

Однако при этом возникает несколько проблем.

Дело в том, что двух одинаковых пудингов не существует: вкус их зависит от кафе, от кондитера, и даже у одного и того же кондитера в разные дни получается разный вкус. Например, если сегодня кондитер пересыплет сахар, то пудинг выйдет слаще обычного. Но как же объяснить эти отличия с точки зрения первой гипотезы?

Если мы примем её, то должны будем допустить бесконечное разнообразие веществ. И с этим ничего не поделаешь – ведь никаких однотипных «деталей» не существует.

Кстати, вкус верхней части пудинга отличается от вкуса нижней. Обычно при затвердевании в нижней части скапливается сахар – она оказывается слаще. Жиры, наоборот, всплывают вверх.

Получается, что даже в одном и том же пудинге присутствуют разнообразные вещества, что ещё более усложняет проблему.

Кроме того, в действительности пудинг получают затвердеванием жидкой смеси молока, яиц, сахара и др. при высокой температуре, однако первая гипотеза не может объяснить структурные изменения, происходящие при нагревании, или, например, при добавлении какао для получения шоколадного пудинга, или при замораживании, то есть в ней не делается никаких попыток понять истинную природу веществ.

Другими словами, гипотеза бесконечной делимости мало подходит для размышления об истоках материи.

Похоже, что существуют однотипные «детали» и правила их соединения между собой.

Продолжим разговор о пудинге.

Если один из ингредиентов – молоко, яйцо или сахар – долго греть на сковородке, он в конце концов почернеет, а если при этом тщательно перемешивать, то получится чёрный угольный порошок, по которому невозможно будет понять, чем это было первоначально – молоком, яйцом или сахаром.

Значит, можно предположить, что все три ингредиента в своей основе имеют нечто похожее, некие «однотипные детали», различные комбинации которых приводят к изменению формы. Это наблюдение послужило развитию второй гипотезы.

Так как строение молока или яйца слишком сложное, поразмышляем здесь о солёной воде (растворе поваренной соли).

Как все проделывали на уроке в начальной школе, если долго кипятить солёную воду, на дне кастрюли останется только соль, а если охладить образовавшийся пар, то он превратится в пресную воду. Результат данного опыта будет одинаковым, независимо от того, кто, где и когда его проводит.

Кстати, возможность повторить один и тот же эксперимент много раз называют «воспроизводимостью», и для науки это – важное понятие. Ведь единичный успех опыта можно приписать случайности или ошибке, но если при создании аналогичных условий происходит аналогичное явление, то это можно считать научным фактом. Именно такое мышление лежит в основе современной науки.

Вернёмся к нашему разговору.

Если подвергнуть электролизу воду, полученную вышеописанным способом, то образуются водород и кислород. При этом их пропорция (объёмное соотношение) всегда будет 2:1. И это не зависит от того, где взята вода – в Японии или же в Европе: результат всегда будет одним и тем же. Другими словами, воспроизводимость свидетельствует, что вода состоит из 2 частей водорода и 1 части кислорода.

Даже если мы захотим получить 2,1 части водорода и 0,9 части кислорода – природа неумолимо даст нам соотношение 2:1.

Как бы там ни было, задумаемся над тем, почему однажды растворённую в воде соль можно выделить обратно и почему вода разлагается на составляющие в строго определённой пропорции. Кстати, забыл написать, что при комнатной температуре в воде можно растворить только 28% соли (по массе) – это значение также воспроизводимо и является непреложным фактом.

Все вышеприведённые факты позволяют предположить, что все вещи в мире всё-таки состоят из определённого числа типов «стандартных деталей», которые соединяются друг с другом по весьма чётким правилам. И как ясно из того, что совершенно отличные и по внешнему виду, и по вкусу яйцо, молоко и сахар превращаются в одинаковый чёрный уголь, этих типов должно быть не так уж много.

Таким образом, внимательное наблюдение за вещами и спокойное размышление над их природой приводят нас к гипотезе о существовании однотипных деталей –

первоэлементов. Это – одна из теорий, с которой можно согласиться даже без штудирования учебников.

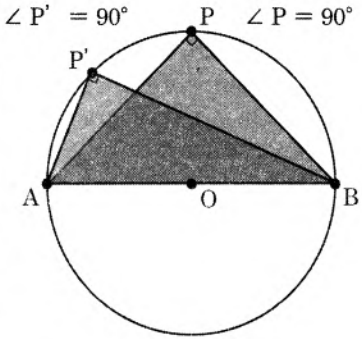
Что является первоосновой – огонь, воздух или земля?

Если мы пришли к мысли о существовании первоэлемента – основы всего существующего, то должен возникнуть вопрос о том, что же это такое.

Ответ на этот вопрос искали с далёкой древности, и здесь, как и в других областях, например в исследовании Земли и Вселенной, а также в астрономии, больше всего отличились мыслители Древней Греции, которая в VIII–II вв. до н. э., наверное, являлась передовым по тем временам обществом, в котором допускалась свобода научной мысли и параллельно философии развивалось естествознание.

Определение первоэлемента вначале было дано философом Фалесом Милетским (ок. 624–546 гг. до н. э.), утверждавшим, что всё возникает из воды и конце концов снова превращается в неё.

Фалес, известный благодаря геометрической теореме: «Вписанный угол, опирающийся на диаметр, является прямым» (частный случай теоремы о вписанном угле), похоже, хорошо разбирался в науках, однако, утверждая, что вода является первоэлементом, он, как говорится, ткнул пальцем в небо. Другие мыслители близкой к Фалесу эпохи приводили в качестве первоосновы (древнегреческое название – архэ) то воздух, то огонь, но к единому мнению они так и не пришли. Другими словами, это была скорее вера, чем научно обоснованные суждения.



Частный случай теоремы о вписанном угле – для вписанного угла, опирающегося на диаметр

Но нельзя недооценивать стремление этих философов, пытавшихся проникнуть в сущность материи, к поиску истины. Ведь после них на протяжении долгого-долгого времени никто даже и не пытался серьёзно размышлять над подобными вопросами.

Атомная теория, не получившая развития даже в Древней Греции

В истории развития теории о первоэлементах сравнительно много внимания уделяется идеям Эмпедокла (ок. 490–430 гг. до н. э.) – древнегреческого философа, врача, поэта и политика (и всё это – в одном лице!).

По мнению Эмпедокла, существует не один, а четыре корня материи – огонь, воздух, земля и вода.

Его учение напоминает простое обобщение идей предшественников, и, честно говоря, хотелось бы ожидать большего от теории, созданной через 200 лет после Фале-

са. Однако у предыдущих учений было общее свойство – в них существует только один первоэлемент, роль которого присваивается или воде, или воздуху, или огню, поэтому они больше похожи на религиозную доктрину, чем на научную теорию. Напротив, Эмпедокл говорит, что 4 корня – огонь, вода, земля и воздух – продолжают соединяться и разъединяться, создавая тем самым всё существующее. Можно сказать, что эта идея дала толчок последующему (правда, спустя очень долгий период) развитию атомно-молекулярного учения.

С другой стороны, были философы, которые размышляли о первооснове, не связывая её с конкретными субстанциями. Одним из них был современник Фалеса – Анаксимандр (ок. 610–546 гг. до н. э.). Согласно его теории, источником всего сущего является «апейрон» («бесконечное») – некая абстрактная субстанция, которая меньше, чем даже вода, но тем не менее из неё рождаются все конечные вещи. Хотя на первый взгляд учение Анаксимандра напоминает теорию о бесконечной делимости материи, но из него следует как раз противоположное – если много раз делить любую вещь, то получится некая общая субстанция.

Наконец, философ Демокрит (ок. 460–370 гг. до н. э.) обобщил эти идеи и создал атомистическую теорию (атомизм): все вещества состоят из атомов – чрезвычайно малых и неделимых частиц.

Переход от первоэлементов (архэ) к атомам имеет большой смысл. Ведь в противоположность первоэлементам, которые расплывчато определялись как некий «источник всего сущего», атомы являются более конкретными, структурообразующими элементами. Проще говоря, первоэлементы можно перечислить только по их видам, а атомы – пересчитать поштучно.

Можно утверждать, что идея Демокрита о том, что ничто не происходит случайно (другими словами, всё подчиняется научным законам), является основой современной физики и науки в целом. Но хотя научной мыслью Древней Греции можно только восхищаться, дальнейшего развития атомистическая теория, к сожалению, не получила. Да и о каком развитии может идти речь, когда на протяжении более 2000 лет эта область знаний находилась в совершенном упадке – следующий успех был достигнут человечеством только в XVII веке.

Правда, этому была объективная причина.

В астрономии, например, гораздо проще собрать данные для подтверждения той или иной гипотезы – надо лишь провести точные наблюдения за движением небесных тел. Подобным образом в Древней Греции удалось даже рассчитать размеры Солнца.

Однако в отношении атомов невозможно провести наблюдения, необходимые для доказательства теорий. Даже очень зоркие люди неспособны увидеть атом, поэтому сколько древнегреческие мыслители ни выдвигали гипотез на этот счёт, они так и остались гипотезами. И со временем даже сама исследовательская тема «Из чего состоят вещи?» была предана забвению.

Атом должен быть более конкретным объектом

Здесь время делает стремительный рывок.

Европа на рубеже XVII–XVIII веков, около 2100 лет с той поры, как древнегреческий философ Демокрит провозгласил примитивный атомизм.

Как вы знаете, начиная примерно с XII века и до конца XVII века – времени публикации работ Ньютона – учёные в Европе увлекались таким занятием, как алхимия. Причём увлекались до такой степени, что современному человеку это, наверное, покажется почти безумием.

Только представьте, как множество учёных днями и ночами коптят на огне железо или свинец в надежде: «Они должны превратиться в золото, потому что огонь сверкает, как золото!»

В арабском мире, а также на Дальнем Востоке тоже появились было алхимики, но их было гораздо меньше, к тому же они быстро бросили это занятие, поняв его тщетность.

Европейцы оказались намного упрямее: на протяжении пятисот лет (в японской истории это примерно соответствует периоду с войны Гэмпэй до середины эпохи Эдо) они не оставляли попыток «изготовить золото», несмотря на полное отсутствие положительных результатов.

Но отрицательный результат – тоже результат: долгая эпоха алхимии дала много научных знаний, положивших начало атомно-молекулярному учению. Самый типичный пример – методы синтеза и анализа химических веществ, но не только они.

Например, опытное знание о том, что огонь не может превратить простые металлы в золото, заставило усомниться в том, что огонь – это элемент (Демокрит считал огонь веществом, состоящим из «шаровидных атомов огня»). И земля тоже, может быть, не является элементом, ведь она не превращает в золото закопанные в неё металлы.

Подобные знания постепенно накапливались, пока, наконец, английский учёный Роберт Бойль (1627–1691 гг.), известный вам всем по закону Бойля-Мариотта*, не отверг решительно теорию четырёх элементов – огня, воды, земли и воздуха, утверждая, что истинным элементом можно считать только то, что не поддаётся дальнейшему разложению в эксперименте. Со времён алхимии было известно всего несколько элементов – сера, ртуть, медь, серебро, но вскоре стали открывать один за другим, и это помогло подтвердить существование атомов. То есть усилия алхимиков тоже не были бесполезными.

Однако одновременно с открытием атомов пришлось пересмотреть их первоначальное определение как «минимальная порция вещества, не поддающаяся дальнейшему делению». Исследования атома приводят к появлению сначала квантовой теории, а затем и целой научной дисциплины – квантовой механики, исследующей квантовые явления.

---

* Закон о том, что давление некоторой массы газа при постоянной температуре обратно пропорционально его объёму.

Теории о первоэлементах и атомах в других древних культурах

Из чего состоят все вещи нашего мира? Этот вопрос с давних времён поднимался не только в Древней Греции, но и в других культурах, достигших определённого уровня развития цивилизации, и в ответах на него можно почувствовать неповторимую индивидуальность каждой из этих культур.

Так, философ Древней Индии по имени Аджита Кесакамбала, упоминание о котором содержится даже в Палийском каноне – сборнике учений Будды, утверждал, что «все вещи состоят из земли, воды, огня и ветра, и не существует ничего, кроме этих четырёх великих основ». Если он действительно был современником Будды, значит, жил примерно в V в. до н. э., то есть примерно в ту же эпоху, что и древнегреческий Эмпедокл. Получается, что оба этих философа одновременно учили одному и тому же, хотя жили далеко друг от друга.

Однако в Палийском каноне этот Аджита Кесакамбала (ну и имя!) приводится как пример плохого учителя. В другом индийском учении, возникшем в более позднюю эпоху, говорится о 12 элементах, из которых состоят все живые существа (а не всё существующее): земля, вода, огонь, ветер, страдание, радость, дух, пустота, приобретение, потеря, жизнь, смерть. Похоже, что цивилизация Индии с древних времён ставила религию выше, чем науку. Хотя мне лично нравится идея о том, что «страдание и радость» являются элементами человека (человек ведь – тоже живое существо).

Как ясно из романа «Путешествие на Запад», Китай с древних времён имел с Индией культурные связи, поэтому китайские представления об основах развивались примерно так же, как индийские. Но может быть, из-за разницы менталитетов – в Индии допускали расплывчатость, а в Китае любили чёткость и однозначность – все учения о первоэлементах в Китае были обобщены в единую концепцию пяти элементов под названием «У-син», согласно которой всё образовано элементами-стихиями: деревом, огнём, землёй, металлом и водой. Этот взгляд на мир существует и по сей день, правда, не как научная теория, а в качестве философии, обычаев. На нём держится китайская система фэншуй, считающая, например, что красное украшение, символизирующее огонь, принесёт удачу, если разместить его в южной части дома. Однако эта концепция оказалась слишком формализированной и негибкой, чтобы развиться в какое-то подобие атомистической теории.

К слову, прямым наследником цивилизации Древней Греции на самом деле была не Европа, а Арабский Восток, где сохранившиеся труды древнегреческих философов долгое время изучались и применялись, однако из-за усиления позиций теологии развития не получили.

Пример китайской концепции пяти элементов У-син

В основе У-син лежит идея деления различных явлений на пять элементов, классификации по столбцам и поиска связи между ними. Думаю, эта концепция столь долговечна благодаря своей глубине – пятый элемент добавляется к таким явлениям, как «стороны света» или «времена года», которые, казалось бы, поддаются делению лишь на четыре. Мне это напоминает джокер в картах.

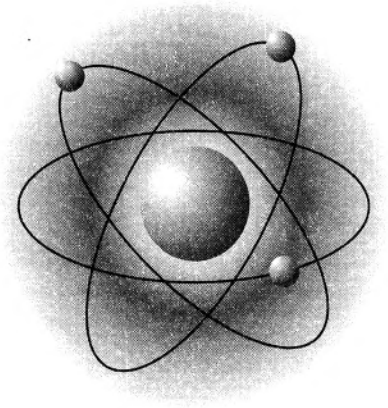
Пять элементов (стихий)	Дерево	Огонь	Земля	Металл	Вода
Пять цветов	Синий (зелёный)	Красный	Жёлтый	Белый	Чёрный
Пять направлений	Восток	Юг	Центр	Запад	Север
Пять времён года	Весна	Лето	Межсезонье	Осень	Зима
Пять интонаций*	Крик	Разговор	Песня	Плач	Стон
Пять эмоций	Радость	Наслаждение	Неприязнь	Гнев	Грусть
Пять ощущений	Цвет (зрение)	Касание (осязание)	Аромат (обоняние)	Вкус	Звук (слух)
Пять вкусов	Кислый	Горький	Сладкий	Острый	Солёный (солёно-острый)
Пять правил общения	Мягкое выражение лица	Добрый взгляд	Сопереживание собеседнику	Мягкая интонация	Умение слушать
Пять норм	Доброта	Вежливость	Правдивость (обязательность)	Чувство долга	Стремление к знанию

* Пять интонаций – концепция восточной медицины, ставящая в соответствие интонациям голоса больного отклонения в работе одного из пяти органов (*прим. перев.*).

Как же используется эта таблица в повседневной жизни? Упор делается главным образом на одинаковые столбцы. Например, вот так: «Удача придёт к вам, если вы будете есть первое весеннее блюдо, обратившись лицом на восток и смеясь (радуясь)». Но говорят, что это не всегда срабатывает: иногда требуется вставлять немного элементов и из других столбцов. Для гадалок это – прибыльный бизнес, но от атомно-молекулярного учения, к сожалению, только отдаляет.

ГЛАВА 2

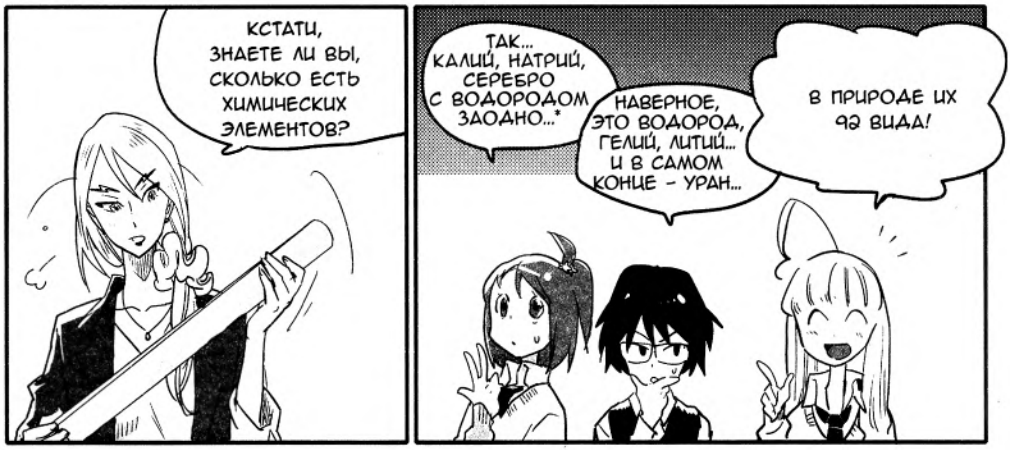
КОГДА АТОМ ПЕРЕСТАЛ БЫТЬ "АТОМОМ"

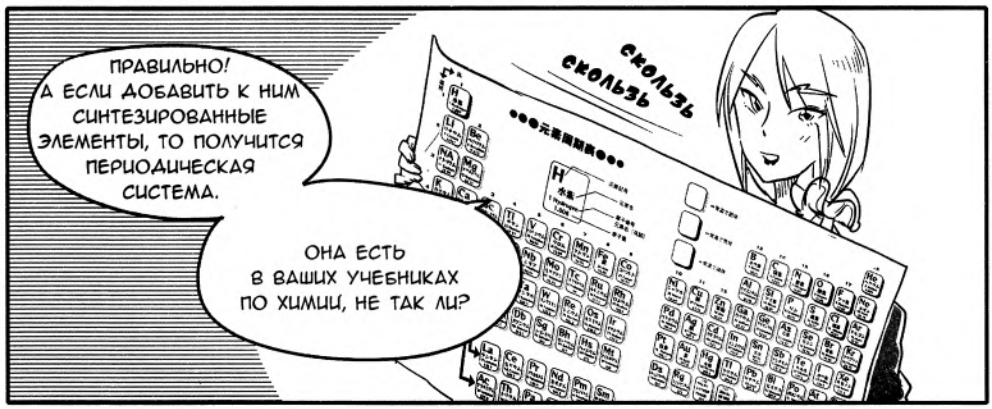


2.1. ВЕЩИ ОБРАЗОВАНЫ КОМБИНАЦИЕЙ АТОМОВ

ИЗ-ЗА ЭТОГО ДОЦЕНТА Я МОГУ ОСТАТЬСЯ НА ВТОРОЙ ГОД... ТРУДНО СЕБЯ ПЕРЕСИЛИТЬ...
ОХ...
ПОСТУЧИСЬ СНАЧАЛА!
ЗДРАВСТВУЙТЕ!
АА!
БУМ!
ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ.
ПРОФЕССОР САНУКИ МНЕ ВСЁ РАССКАЗАЛ. ВЫ ХОТИТЕ УЗНАТЬ СТРОЕНИЕ АТОМА, НЕ ТАК ЛИ?
Японский университет наук
Доцент Куби Мари
ТАК ЭТО ЖЕНЩИНА!
КАКАЯ КРАСИВАЯ!

ЭЙ, КАНТА!
Д-ЗЗ Р Г!
ДА?!
НЕПЛОХО БЫ И ТЕБЕ ПОУЧИТЬСЯ ВМЕСТЕ С ЭТИМИ ШКОЛЬНИКАМИ.
ТОГДА И ВТОРОГО ГОДА ИЗБЕЖИШЬ!
ФШ...
ПРАВДА?!
В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ НЕДОСТАТОЧНО ТОЛЬКО ЗАПОМНИТЬ ВЫВОДЫ.
ВАЖНО УЗНАТЬ, КАК ОНИ БЫЛИ ДОСТИГНУТЫ.
ПРАВДА, ЭТО СПРАВЕДЛИВО ДЛЯ ЛЮБОЙ НАУКИ.
ВРОДЕ ОНА ЗДЕСЬ.
ДА, ПОВЕЗЛО ТЕБЕ, КАНТА.





* В оригинальной книге приводится непереводимая считалочка для запоминания периодической таблицы.

Периодическая система химических элементов

Группы

Периоды

КАЖДАЯ ЯЧЕЙКА ЭТОЙ ТАБЛИЦЫ ОПИСЫВАЕТ ОДИН ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ И ИМЕЕТ ВОТ ТАКОЙ ФОРМАТ.

Буквенное обозначение

H

Название

Водород

Атомный номер, английское название

1 Hydrogen

Атомная масса*

1.008

Твёрдое тело при комнатной температуре

Газ при комнатной температуре

Жидкость при комнатной температуре

Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H Водород 1 Hydrogen 1.008																	He Гелий 2 Helium 4.003
2	Li Литий 3 Lithium 6.941	Be Бериллий 4 Beryllium 9.012											B Бор 5 Boron 10.81	C Углерод 6 Carbon 12.01	N Азот 7 Nitrogen 14.01	O Кислород 8 Oxygen 16.00	F Фтор 9 Fluorine 19.00	Ne Неон 10 Neon 20.18
3	Na Натрий 11 Sodium 22.99	Mg Магний 12 Magnesium 24.31											Al Алюминий 13 Aluminum 26.98	Si Кремний 14 Silicon 28.09	P Фосфор 15 Phosphorus 30.97	S Сера 16 Sulfur 32.07	Cl Хлор 17 Chlorine 35.45	Ar Аргон 18 Argon 39.95
4	K Калий 19 Potassium 39.10	Ca Кальций 20 Calcium 40.08	Sc Скандий 21 Scandium 44.96	Ti Титан 22 Titanium 47.87	V Ванадий 23 Vanadium 50.94	Cr Хром 24 Chromium 52.00	Mn Марганец 25 Manganese 54.94	Fe Железо 26 Iron 55.85	Co Кобальт 27 Cobalt 58.93	Ni Никель 28 Nickel 58.69	Cu Медь 29 Copper 63.55	Zn Цинк 30 Zinc 65.41	Ga Галлий 31 Gallium 69.72	Ge Германий 32 Germanium 72.64	As Мышьяк 33 Arsenic 74.92	Se Селен 34 Selenium 78.96	Br Бром 35 Bromine 79.90	Kr Криптон 36 Krypton 83.30
5	Rb Рубидий 37 Rubidium 85.47	Sr Стронций 38 Strontium 87.62	Y Иттрий 39 Yttrium 88.91	Zr Цирконий 40 Zirconium 91.22	Nb Ниобий 41 Niobium 92.91	Mo Молибден 42 Molybdenum 95.94	Tc Технеций 43 Technetium (99)	Ru Рутений 44 Ruthenium 101.1	Rh Родий 45 Rhodium 102.9	Pd Палладий 46 Palldium 106.4	Ag Серебро 47 Silver 107.9	Cd Кадмий 48 Cadmium 112.4	In Индий 49 Indium 114.8	Sn Олово 50 Tin 118.7	Sb Сурьма 51 Antimony 121.8	Te Теллур 52 Tellurium 127.6	I Йод 53 Iodine 126.9	Xe Ксенон 54 Xenon 131.3
6	Cs Цезий 55 Cesium 132.9	Ba Барий 56 Barium 137.3	Группа Лантаноиды 57 – 71	Hf Гафний 72 Hafnium 178.5	Ta Тантал 73 Tantalum 180.9	W Вольфрам 74 Tungsten 183.8	Re Рений 75 Rhenium 186.2	Os Осмий 76 Osmium 190.2	Ir Иридий 77 Iridium 192.2	Pt Платина 78 Platinum 195.1	Au Золото 79 Gold 197.0	Hg Ртуть 80 Mercury 200.6	Tl Таллий 81 Thallium 204.4	Pb Свинец 82 Lead 207.2	Bi Висмут 83 Bismuth 209.0	Po Полоний 84 Polonium (210)	At Астат 85 Astatine (210)	Rn Радон 86 Radon (222)
7	Fr Франций 87 Francium (223)	Ra Радий 88 Radium (226)	Группа Актиноиды 89 – 103	Rf Резерфордий 104 Rutherfordium (261)	Db Дубний 105 Dubnium (262)	Sg Сиборгий 106 Seaborgium (263)	Bh Борий 107 Bohrium (267)	Hs Хассий 108 Hassium (273)	Mt Мейтнерий 109 Meitnerium (268)	Ds Дармштадтий 110 Darmstadtium (269)	Rg Рентгений 111 Roentgenium (272)	112 Элемент, синтезированный в Германии в 1996 году (277)	113 Элемент, синтезированный в Японии в 2004 году (278)					

La Лантан 57 Lanthanum 138.9	Ce Церий 58 Cerium 140.1	Pr Празеодим 59 Praseodymium 140.9	Nd Неодим 60 Neodymium 144.2	Pm Прометий 61 Promethium 145	Sm Самарий 62 Samarium 150.4	Eu Европий 63 Europium 152.0	Gd Гадолиний 64 Gadolinium 157.3	Tb Тербий 65 Terbium 158.9	Dy Диспрозий 66 Dysprosium 162.5	Ho Гольмий 67 Holmium 164.9	Er Эрбий 68 Erbium 167.3	Tm Тулий 69 Thulium 168.9	Yb Иттербий 70 Ytterbium 173.0	Lu Лютеций 71 Lutetium 175.0
Ac Актиний 89 Actinium (227)	Th Торий 90 Thorium 232.0	Pa Протактиний 91 Protactinium 231.0	U Уран 92 Uranium 238.0	Np Нептуний 93 Neptunim (237)	Pu Плутоний 94 Plutonium (239)	Am Америций 95 Americium (243)	Cm Кюрий 96 Curium (247)	Bk Берклий 97 Berkelium (247)	Cf Калифорний 98 Californium (252)	Es Эйнштейний 99 Einsteinium (252)	Fm Фермий 100 Fermium (257)	Md Менделевий 101 Mendelevium (258)	No Нобелий 102 Nobelium (259)	Lr Лоуренсий 103 Lawrencium (262)

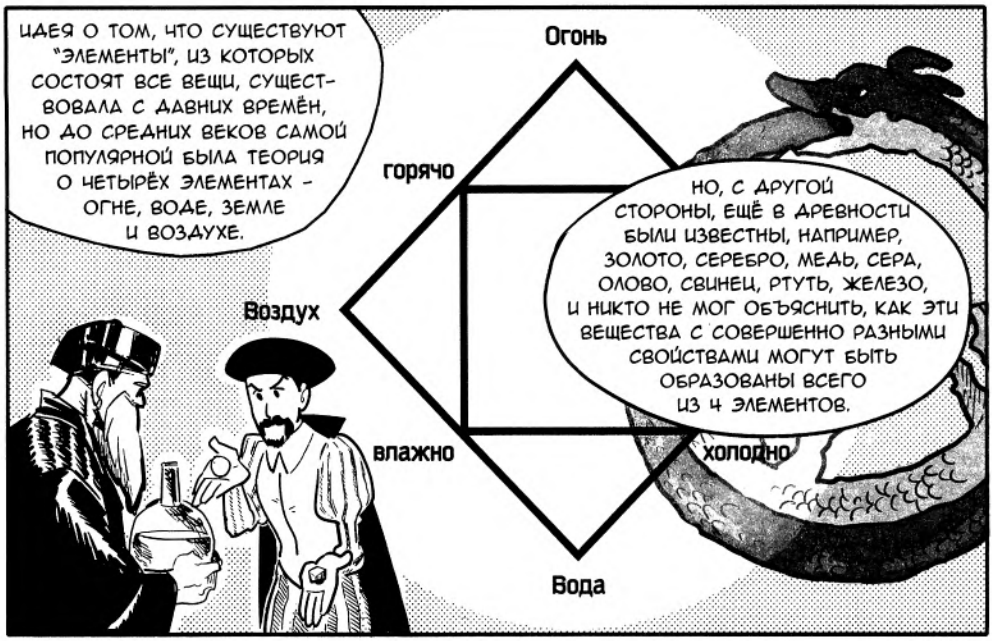
Краткие сведения о Периодической системе химических элементов

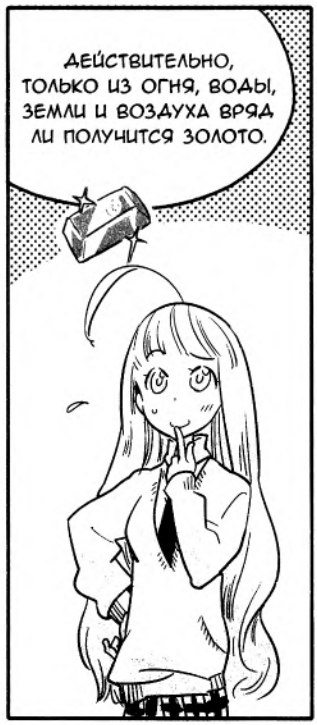
В целях популяризации науки Министерство образования и науки Японии изготавливает и распространяет наглядные плакаты «Периодическая система химических элементов» с фотографиями. Плакаты можно скачать или заказать на сайте общественной организации Информационное бюро науки и техники Японии (http://www.pcost.or.jp).

Краткие сведения о Периодической системе

Иногда Периодическую систему путают с периодическим законом. Периодический закон – это закон о том, что если химические элементы выстроить в порядке увеличения их атомного номера, то их свойства будут изменяться периодически, а Периодическая система – это таблица, в которой химические элементы расположены так, чтобы легче было понять периодический закон.

* Химические элементы, атомная масса которых заключена в скобки «( )», не имеют стабильных изотопов – в таких случаях приводится массовое число наиболее типичного изотопа.


Идея о том, что существуют "элементы", из которых состоят все вещи, существовала с давних времён, но до средних веков самой популярной была теория о четырёх элементах – огне, воде, земле и воздухе.
Огонь
горячо
Воздух
влажно
холодно
Вода
Но, с другой стороны, ещё в древности были известны, например, золото, серебро, медь, сера, олово, свинец, ртуть, железо, и никто не мог объяснить, как эти вещества с совершенно разными свойствами могут быть образованы всего из 4 элементов.


Действительно, только из огня, воды, земли и воздуха вряд ли получится золото.

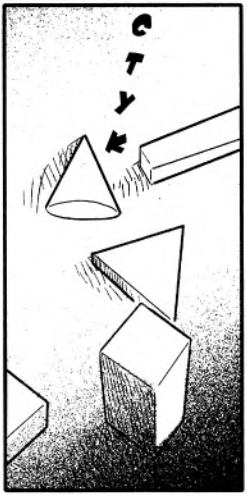
Наконец, в XVII веке английский учёный Роберт Бойль сказал следующее.

ДОВОЛЬНО ЧЕПУХИ О ТОМ, ЧТО ОСНОВА ВСЕХ ВЕЩЕСТВ – ЭТО ОГОНЬ, ЗЕМЛЯ И Т. Д. НЕСОМНЕННО, ЕСТЬ ЧТО-ТО БОЛЕЕ КОНКРЕТНОЕ.

ЕСЛИ ДОЛГО ДЕЛИТЬ ВЕЩЕСТВО НА МЕЛКИЕ КУСОЧКИ, ТО, В КОНЦЕ КОНЦОВ, ДОЛЖНЫ ОСТАТЬСЯ ГРАНУЛЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ.

КОМБИНИРУЯ КОТОРЫЕ, МОЖНО БУДЕТ ПОЛУЧИТЬ ЛЮБОЕ ВЕЩЕСТВО.
СТУК

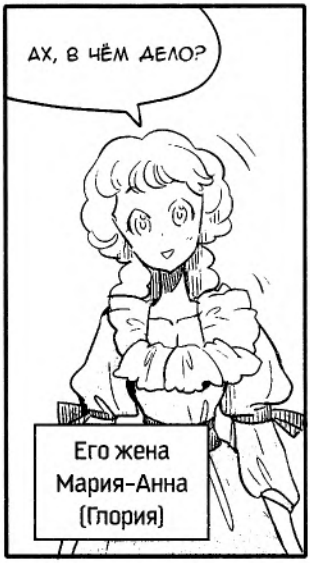
КРОМЕ ТОГО, ДВИЖЕНИЕ МЕЛКИХ ЧАСТИЦ ВЫЗЫВАЕТ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ!
БАХ!


С Т У К

ГМ...

2.2. ЗАСЛУГИ ГЕНИАЛЬНОГО ХИМИКА ЛАВУАЗЬЕ

ДА, ИДЕЯ БОЙЛЯ ЗАСЛУЖИВАЕТ ВНИМАНИЯ.
Лавуазье (Канна)


АХ, В ЧЁМ ДЕЛО?
Его жена Мария-Анна (Глория)

ЕСЛИ МЫ ОТКРОЕМ ЭЛЕМЕНТЫ, ТО СМОЖЕМ ДОКАЗАТЬ, ЧТО ВСЕ ВЕЩЕСТВА В МИРЕ ВЗАИМОСВЯЗАНЫ.
А ЭТО ПОЗВОЛИТ ПРИБЛИЗИТЬСЯ К ОТКРЫТИЮ ТАЙН ПРИРОДЫ.

ЭТО ЗВУЧИТ ИНТЕРЕСНО! ПОПРОБУЮ-КА Я СОБРАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ ПО ЭТОМУ ВОПРОСУ.
Жена Лавуазье – Мария-Анна – была очень умной женщиной. Она не только помогала мужу в проведении научных опытов, но и переводила самые новые научные статьи, делала наглядные чертежи опытов, то есть была незаменимым помощником Лавуазье в его исследованиях.

В ТЕ ВРЕМЕНА СЧИТАЛОСЬ ЕСТЕСТВЕННЫМ, ЧТО ЖЕЛЕЗО ПРИ РЖАВЛЕНИИ СТАНОВИТСЯ ЛЕГЧЕ...
ОДНАКО ЛАВУАЗЬЕ УСТАНОВИЛ В ОПЫТЕ, ЧТО РЖАВЛЕНИЕ – ЭТО ОКИСЛЕНИЕ, ТО ЕСТЬ СОЕДИНЕНИЕ С КИСЛОРОДОМ, ПОЭТОМУ МАССА, НАОБОРОТ, ВОЗРАСТАЕТ...
КУВЫРК
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, ГВОЗДЬ СТАНОВИТСЯ ХРУПКИМ...

ЕСЛИ ЧЕРЕЗ НАГРЕТУЮ ЖЕЛЕЗНУЮ ТРУБУ ПРОПУСТИТЬ ПАР, А ЗАТЕМ ЕГО ОХЛАДИТЬ, ТО МАССА ПОЛУЧЕННОЙ ВОДЫ ОКАЖЕТСЯ МЕНЬШЕ ЕЁ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ МАССЫ.
КАК ВЫ ДУМАЕТЕ, КУДА УЙДЁТ ВОДА?

ЧТО, ОНА ИСЧЕЗЛА?
НЕТ. ПОСЛЕ ОПЫТА Я ВЗВЕСИЛ ЖЕЛЕЗНУЮ ТРУБУ, И ОКАЗАЛОСЬ, ЧТО ОНА СТАЛА ТЯЖЕЛЕЕ.
ЭТО ГОВОРИТ О ТОМ, ЧТО КАКОЕ-ТО ВЕЩЕСТВО СОЕДИНИЛОСЬ С ЖЕЛЕЗОМ.
+
?

МОЖЕТ, ЭТО И ЕСТЬ ИСЧЕЗНУВШАЯ ВОДА?
НЕТ, ЭТО НЕ ТАК. ИЗ ЖЕЛЕЗНОЙ ТРУБЫ, КРОМЕ ВОДЯНОГО ПАРА, ВЫХОДИТ И ДРУГОЙ ГАЗ. ОН ЛЕГЧЕ ВОЗДУХА И ГОРИТ.
ВОДОРОД?
ДА! А С ЖЕЛЕЗОМ СОЕДИНИЛСЯ КИСЛОРОД. ТО ЕСТЬ ВОДУ МОЖНО РАЗЛОЖИТЬ НА ВОДОРОД И КИСЛОРОД.
ЕСЛИ ВОДУ МОЖНО РАЗЛОЖИТЬ НА ВОДОРОД И КИСЛОРОД, ЗНАЧИТ... ЗНАЧИТ, ВОДА – НЕ ЭЛЕМЕНТ?
ДА. НО Я ОБНАРУЖИЛ НЕ ТОЛЬКО ЭТО.
ЕСЛИ СЛОЖИТЬ МАССУ, НА КОТОРУЮ ПОТЯЖЕЛЕЛА ТРУБА, С МАССОЙ ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ ВОДОРОДА, ТО РЕЗУЛЬТАТ ОКАЖЕТСЯ ТОЧНО РАВЕН МАССЕ, НА КОТОРУЮ СТАЛА ЛЕГЧЕ ВОДА.
ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ПРИРОДА ОКАЗАЛАСЬ АБСОЛЮТНО КОНСЕРВАТИВНОЙ СИСТЕМОЙ.

Элементы Лавуазье

Химическая формула эксперимента Лавуазье выглядит вот так:

$H_2O + Fe \rightarrow FeO + H_2$

* В действительности в ржавчине содержатся также, например, Fe_2O_3, Fe_3O_4.

Целью данного опыта было доказать Закон сохранения массы веществ – самое большое открытие Лавуазье, но одновременно с этим было показано, что водород и кислород больше подходят на роль элементов, чем вода. После этого они, нагревая и сжигая самые разнообразные вещества, которые только могли достать, открыли 33 вида элементов, о чём доложили в 1789 году.

Классификация	Элементы
Простые вещества, повсеместно распространённые в природе	Свет, теплород, кислород, азот, водород
Простые неметаллические вещества	Сера, фосфор, уголь, радикал соляной кислоты (хлор), радикал плавиковой кислоты (фтор), радикал борной кислоты
Простые металлические вещества	Сурьма*, серебро, мышьяк*, висмут*, кобальт, медь, олово, железо, молибден, никель, золото, платина, свинец, вольфрам, цинк, марганец, ртуть
Простые землистые вещества	Известь (окись кальция), магнезия, барит (оксид бария), глинозём, кремнезём

Элементы (простые вещества) по классификации Лавуазье

Вот это да!

Но в этой таблице элементов почему-то есть свет и ещё какой-то теплород...

* Сурьма, мышьяк и висмут классифицируются как полуметаллы.

Теплород – это то, что сейчас называют тепловой энергией. К тому же многие вещества в этой таблице – на самом деле соединения, но сам Лавуазье говорил: «Элементы – это вещества, которые нельзя разложить известными методами», то есть он, наверное, предполагал, что в будущем она будет меняться.

Но всё равно, какой прогресс, по сравнению с теорией 4 элементов – огнём, водой, землёй и воздухом!

И на основе работ Лавуазье в 1802 году английский химик и физик Джон Дальтон опубликовал атомистическую концепцию.

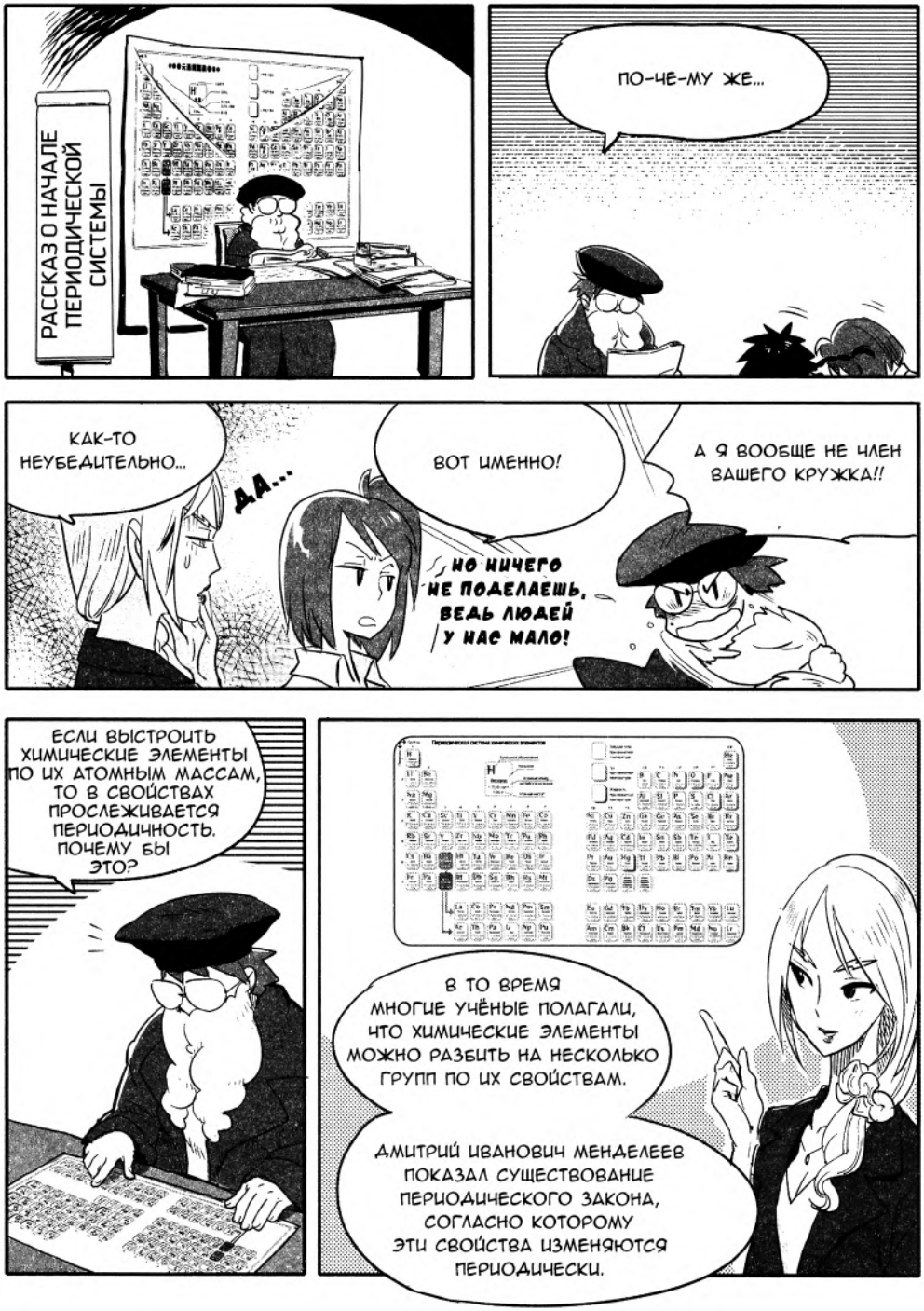
Атомистическая концепция Дальтона

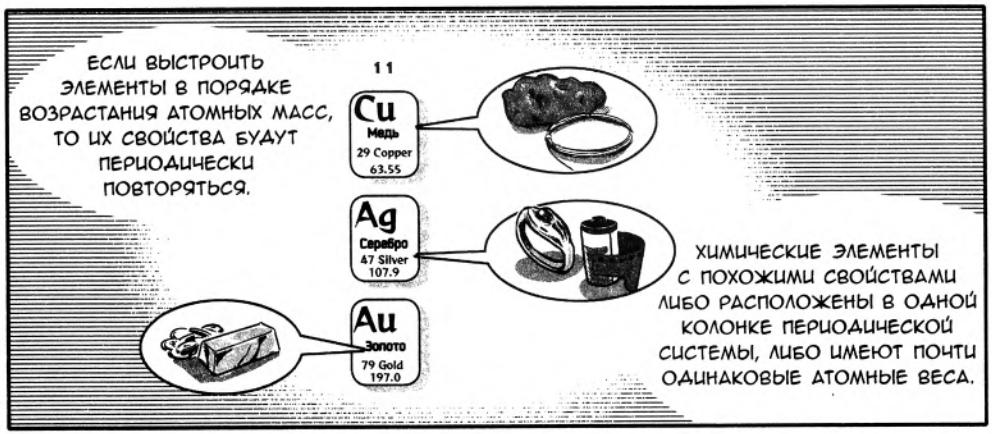
1. Все атомы одного и того же элемента имеют одинаковые размеры, массу* и свойства.
2. Соединения образуются, когда отличающиеся друг от друга атомы соединяются между собой в определённом соотношении.
3. В химических реакциях изменяется только способ соединения атомов – возникновения новых атомов или исчезновения имеющихся не происходит.

* Относительная масса элемента – это его атомная масса.

Здесь вводится чёткое различие между элементом как понятием и атомом как структурной единицей, не так ли?

После этого начался первый бум открытия элементов, и до 1869 года число элементов резко увеличилось до 64. И тут на сцену выходит Менделеев.


РАССКАЗ О НАЧАЛЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПО-ЧЕ-МУ ЖЕ...
КАК-ТО НЕУБЕДИТЕЛЬНО...
ДА...
ВОТ ИМЕННО!
НО НИЧЕГО НЕ ПОДЕЛАЕШЬ, ВЕДЬ ЛЮДЕЙ У НАС МАЛО!
А Я ВООБЩЕ НЕ ЧЛЕН ВАШЕГО КРУЖКА!!
ЕСЛИ ВЫСТРОИТЬ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПО ИХ АТОМНЫМ МАССАМ, ТО В СВОЙСТВАХ ПРОСЛЕЖИВАЕТСЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ. ПОЧЕМУ БЫ ЭТО?
В ТО ВРЕМЯ МНОГИЕ УЧЁНЫЕ ПОЛАГАЛИ, ЧТО ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОЖНО РАЗБИТЬ НА НЕСКОЛЬКО ГРУПП ПО ИХ СВОЙСТВАМ.
ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ МЕНДЕЛЕЕВ ПОКАЗАЛ СУЩЕСТВОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА, СОГЛАСНО КОТОРОМУ ЭТИ СВОЙСТВА ИЗМЕНЯЮТСЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ.


ЕСЛИ ВЫСТРОИТЬ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОРЯДКЕ ВОЗРАСТАНИЯ АТОМНЫХ МАСС, ТО ИХ СВОЙСТВА БУДУТ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОВТОРЯТЬСЯ.
11
Cu
Медь
29 Copper
63.55
Ag
Серебро
47 Silver
107.9
Au
Золото
79 Gold
197.0
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ С ПОХОЖИМИ СВОЙСТВАМИ ЛИБО РАСПОЛОЖЕНЫ В ОДНОЙ КОЛОНКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ЛИБО ИМЕЮТ ПОЧТИ ОДИНАКОВЫЕ АТОМНЫЕ ВЕСА.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЗАМЕТИВ ЭТУ ПЕРИОДИЧНОСТЬ, МОЖНО ПРЕДСКАЗАТЬ СВОЙСТВА ЕЩЁ НЕ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.
ТАК, ТАК...
ШПАРГАЛКА

НЕПОНЯТНО!
ОБЪЯСНИТЕ ПОДРОБНЕЕ!

ТОГДА ДАВАЙТЕ ОПЯТЬ ПОСМОТРИМ ПЕРИОДИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ. Я НАУЧУ ВАС ЕЁ ЧИТАТЬ.
ОХ...
ШУРХ

Периодическая система химических элементов
Руководство по применению

Периодическая система Менделеева сначала имела вид простой таблицы из нескольких столбцов, но затем была усовершенствована так, чтобы более наглядно описывать открытый Менделеевым периодический закон.
Чтобы сделать периодичность более понятной, элементы с похожими свойствами выстроены в колонки, которые называются группами и пронумерованы слева направо от 1 до 18. Расскажу вкратце, что можно узнать из периодической системы.

Менделеев выстроил элементы с похожими химическими свойствами в колонки. Вот здесь, например, золото, серебро и медь, из которых сделаны олимпийские медали. Все они – элементы 11-ой группы.

Элементы 18-ой группы – это газы с низкой химической активностью, поэтому их иногда называют инертными газами.

Химические элементы 1-ой группы, за исключением водорода, называются щелочными металлами. Это мягкие металлы с низкой температурой плавления. Все они отличаются высокой химической активностью и бурно реагируют с водой, кислородом воздуха.

Вышеупомянутые элементы 11-ой группы, а также расположенные слева от них платина, палладий, родий, иридий, рутений и осмий отличаются высокой коррозионной устойчивостью. Кроме того, все они, за исключением меди, редки в природе, поэтому их называют благородными металлами.

Группы / Периоды

Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H Водород 1 Hydrogen																	He Гелий 2 Helium
2	Li Литий 3 Lithium	Be Бериллий 4 Beryllium											B Бор 5 Boron	C Углерод 6 Carbon	N Азот 7 Nitrogen	O Кислород 8 Oxygen	F Фтор 9 Fluorine	Ne Неон 10 Neon
3	Na Натрий 11 Sodium	Mg Магний 12 Magnesium											Al Алюминий 13 Aluminum	Si Кремний 14 Silicon	P Фосфор 15 Phosphorus	S Сера 16 Sulfur	Cl Хлор 17 Chlorine	Ar Аргон 18 Argon
4	K Калий 19 Potassium	Ca Кальций 20 Calcium	Sc Скандий 21 Scandium	Ti Титан 22 Titanium	V Ванадий 23 Vanadium	Cr Хром 24 Chromium	Mn Марганец 25 Manganese	Fe Железо 26 Iron	Co Кобальт 27 Cobalt	Ni Никель 28 Nickel	Cu Медь 29 Copper	Zn Цинк 30 Zinc	Ga Галлий 31 Gallium	Ge Германий 32 Germanium	As Мышьяк 33 Arsenic	Se Селен 34 Selenium	Br Бром 35 Bromine	Kr Криптон 36 Krypton
5	Rb Рубидий 37 Rubidium	Sr Стронций 38 Strontium	Y Иттрий 39 Yttrium	Zr Цирконий 40 Zirconium	Nb Ниобий 41 Niobium	Mo Молибден 42 Molybdenum	Tc Технеций 43 Technetium	Ru Рутений 44 Ruthenium	Rh Родий 45 Rhodium	Pd Палладий 46 Palldium	Ag Серебро 47 Silver	Cd Кадмий 48 Cadmiumu	In Индий 49 Indium	Sn Олово 50 Tin	Sb Сурьма 51 Antimony	Te Теллур 52 Tellurium	I Йод 53 Iodine	Xe Ксенон 54 Xenon
6	Cs Цезий 55 Cesium	Ba Барий 56 Barium	Группа Лантаноиды 57 ~ 71	Hf Гафний 72 Hafnium	Ta Тантал 73 Tantalum	W Вольфрам 74 Tungsten	Re Рений 75 Rhenium	Os Осмий 76 Osmium	Ir Иридий 77 Iridium	Pt Платина 78 Platinum	Au Золото 79 Gold	Hg Ртуть 80 Mercury	Tl Таллий 81 Thallium	Pb Свинец 82 Lead	Bi Висмут 83 Bismuth	Po Полоний 84 Polonium	At Астат 85 Astatine	Rn Радон 86 Radon
7	Fr Франций 87 Francium	Ra Радий 88 Radium	Группа Актиноиды 89 ~ 103	Rf Резерфордий 104 Rutherfordium	Db Дубний 105 Dubnium	Sg Сиборгий 106 Seaborgium	Bh Борий 107 Bohrium	Hs Хассий 108 Hassium	Mt Мейтнерий 109 Meitnerium	Ds Дармштадтий 110 Darmstadtium	Rg Рентгений 111 Roentgenium	112 Элемент, синтезированный в Германии в 1996 году	113 Элемент, синтезированный в Японии в 2004 году					

La Лантан 57 Lanthanum	Ce Церий 58 Cerium	Pr Празеодим 59 Praseodymium	Nd Неодим 60 Neodymium	Pm Прометий 61 Promethium	Sm Самарий 62 Samarium	Eu Европий 63 Europium	Gd Гадолиний 64 Gadolinium	Tb Тербий 65 Terbium	Dy Диспрозий 66 Dysprosium	Ho Гольмий 67 Holmium	Er Эрбий 68 Erbium	Tm Тулий 69 Thulium	Yb Иттербий 70 Ytterbium	Lu Лютеций 71 Lutetium
Ac Актиний 89 Actinium	Th Торий 90 Thorium	Pa Протактиний 91 Protactinium	U Уран 92 Uranium	Np Нептуний 93 Neptunim	Pu Плутоний 94 Plutonium	Am Америций 95 Americium	Cm Кюрий 96 Curium	Bk Берклий 97 Berkelium	Cf Калифорний 98 Californium	Es Эйнштейний 99 Einsteinium	Fm Фермий 100 Fermium	Md Менделевий 101 Mendelevium	No Нобелий 102 Nobelium	Lr Лоуренсий 103 Lawrencium

БЛАГОДАРЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СТАЛО ВОЗМОЖНО ПРЕДСКАЗАТЬ СУЩЕСТВОВАНИЕ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, И ПРИРОДА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ОСНОВУ ВСЕХ ВЕЩЕЙ, ПОСТЕПЕННО ПРОЯСНИЛАСЬ.

ОДНАКО ОТКРЫТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА ТАКЖЕ УКАЗЫВАЛО НА ТО, ЧТО АТОМ НЕ ЯВЛЯЕТСЯ МИНИМАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕЩЕСТВА.
?

ПОЧЕМУ ЖЕ?

ФАКТ ТОГО, ЧТО У ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОПРЕДЕЛЁННОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЯЮТСЯ ПОХОЖИЕ СВОЙСТВА, УКАЗЫВАЕТ НА ТО, ЧТО В ИХ СТРОЕНИИ ЕСТЬ НЕЧТО ОБЩЕЕ.
ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ?
НЕ ПОНИМАЮ...

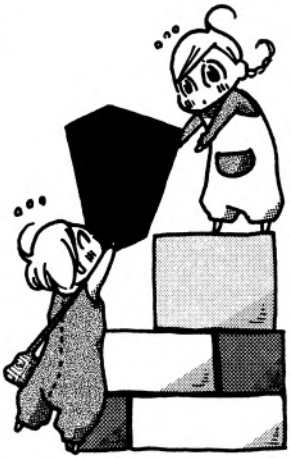
БУЛЬ!

ВЫПЕЙ-КА ИЗ ЭТИХ ДВУХ СТАКАНОВ.
АХ, У МЕНЯ КАК РАЗ В ГОРЛЕ ПЕРЕСОХЛО.

ГЛЫК
ТЬФУ!
НЕВКУСНО! ЭТО ЖЕ СОЛЁНАЯ ВОДА!
ЭТО ТЫ СДЕЛАЛ?!
А ТЕПЕРЬ ПОПРОБУЙ ВОТ ЭТО.
ММ...
БУМ
ОСТОРОЖНО
ЛИЗЬ
А ЭТО СЛАДКО! ЭТО ВОДА С САХАРОМ!
СОЛЁНАЯ ВОДА И ВОДА С САХАРОМ ИМЕЮТ СОВЕРШЕННО РАЗНЫЙ ВКУС, НЕ ТАК ЛИ?
МОЖЕТ БЫТЬ, КТО-ТО ПОДУМАЕТ, ЧТО ЭТО – ДВА СОВЕРШЕННО РАЗНЫХ ВЕЩЕСТВА. ОДНАКО У НИХ ЕСТЬ ОБЩИЕ ПРИЗНАКИ.
ОБЩИЕ ПРИЗНАКИ?

НАПРИМЕР, И ТО, И ДРУГОЕ МОЖНО ВЫПИТЬ, ОНИ ОБА ПРОЗРАЧНЫЕ, ТЕКУЧИЕ, ЕСЛИ ИХ ДОЛГО КИПЯТИТЬ, ТО ОСТАНЕТСЯ СОЛЬ ИЛИ САХАР.
ЭТИ ОБЩИЕ ПРИЗНАКИ ГОВОРЯТ НАМ...
...ЧТО И ТАМ, И ЗДЕСЬ ЕСТЬ ВОДА.
ЕСЛИ АТОМЫ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО НЕДЕЛИМЫ, ТО У НИХ НЕ ДОЛЖНО БЫТЬ ОБЩИХ ПРИЗНАКОВ, ИХ НЕВОЗМОЖНО РАЗБИТЬ НА ГРУППЫ ПО СВОЙСТВАМ.
ВОТ ИМЕННО. УЧЁНЫЕ ИЗО ВСЕХ СИЛ ИСКАЛИ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ СТРУКТУРНЫЕ ЕДИНИЦЫ – АТОМЫ, ПОЛАГАЯ, ЧТО ЭТО – "МИНИМАЛЬНЫЕ ПОРЦИИ, ОБРАЗУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВО". НО КОГДА НАШЛИ, ОКАЗАЛОСЬ, САМИ АТОМЫ ВРОДЕ БЫ ТОЖЕ ОБЛАДАЮТ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРОЙ.
?
ЗДЕСЬ САМ СОБОЙ ВОЗНИКАЕТ ВОПРОС: "МОЖЕТ БЫТЬ, АТОМ ТОЖЕ МОЖНО ПОДЕЛИТЬ?"
ЭТО СТАЛО ПОВОРОТНЫМ МОМЕНТОМ ПЕРЕХОДА ОТ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ К КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ.
АГА!

МЯУ
ОЙ, ЗДЕСЬ КОТ!
КАКОЙ КРАСАВЕЦ!
ДЁРГ
ШУХ
ШИК!!
СЭНСЭЙ, ВЫ НЕ ЛЮБИТЕ КОШЕК?
УБЕЖАЛА...
ОНА СОШЛА С УМА?!
ДА, НЕ ОЧЕНЬ ЛЮБЛЮ. НО ПРОГНАЛА ЕГО ПО ДРУГОЙ ПРИЧИНЕ. ПРОСТО НА ЭТОМ ЭТАПЕ ВАМ ЛУЧШЕ НЕ СВЯЗЫВАТЬСЯ С КОТАМИ.
ХИ-ХИ
? ? ?



Как сказала в манге Глория, «атом» по-гречески означает «неделимый». Но по мере попыток найти атом, само это определение стало казаться сомнительным.

И повод для такого сомнения создал французский химик Антуан Лоран Лавуазье.

Обычно в учебниках по квантовой механике имя Лавуазье даже не упоминается. Авторы, наверное, считают его посторонним человеком, потому что они почти все физики. Однако если квантовая механика существует для того, чтобы с помощью научных знаний дать ответ на философский вопрос: «Что останется от вещества, если его много раз поделить?» – то в ту эпоху самые серьёзные попытки предпринял именно он.

Кстати, приведу некоторые данные из личной биографии Лавуазье.

Несмотря на оставленный яркий след в науке, основной профессией был откуп – сбор налогов с населения. Он стал откупщиком до французской революции (1789) – в эпоху абсолютной монархии, потому что был аристократом.

Лавуазье отличался скрупулёзностью, придавал важное значение деталям, поэтому ему, наверное, подходила работа откупщика, связанная с деньгами. Однако больше работы он был увлечён химическими опытами, которые проводил по вечерам и в выходные. Имя Лавуазье быстро стало известно в этой области – он был действительным членом Академии наук, публиковал передовые работы одну за другой. Как вы узнали из манги, «Закон сохранения массы веществ», который мы изучали в средней школе, – это его открытие.

Закон сохранения массы веществ

«Виды химических элементов и массы каждого из них не изменяются в процессе химической реакции»

Фактом является только то, что подтверждается экспериментально

Лавуазье действительно был великим учёным, однако его увлечённость экспериментами казалась просто безумием. Например, он без колебаний сжигал алмазы, чтобы доказать, что «это – кристаллы углерода». Действительно, он был возвышенным человеком, не одержимым духом наживы, но было бы хорошо, если бы он умел немного читать дух времени. В то время когда простой народ во Франции страдал от голода, жечь алмазы даже во имя науки было слишком вызывающе и вполне могло вызвать у окружающих раздражение. И во время революции Лавуазье, который к тому же был «аристократом и откупщиком», стал хорошей мишенью для нападок. Он был арестован и отправлен на гильотину.

Считается, что причиной этому стал врач и химик по имени Жан-Поль Марат. Он был учёным второго сорта, который не ставил экспериментов, а только писал статьи, основанные на своих догадках, чем заслужил критику со стороны Лавуазье. Кстати, в ту эпоху подобных «учёных» было великое множество, поэтому Лавуазье, придававшего эксперименту огромное значение, и стали называть «отцом современной химии». Однако дети часто не любят слишком строгих родителей. Может быть, Марат в душе ненавидел Лавуазье, помня о том, как последний посмеялся над ним при встрече. И, став вождём революции, Марат предлагает казнить Лавуазье. По этому поводу другой учёный, математик Лагранж вздохнул:

> **«Всего мгновение потребовалось им, чтобы срубить эту голову, но, может, и за сто лет Франция не сможет произвести ещё такой».**

Кстати, дурной нрав Марата дорого ему обошёлся – он был убит противниками во время послереволюционной смуты. И произошло это ещё раньше, чем был казнён Лавуазье.

«Целые числа», наполняющие природу

Ещё немного поговорим о событиях XVII–XVIII веков.

Среди заслуг Джона Дальтона, провозгласившего атомистическую теорию, был «Закон кратных отношений». Согласно ему:

> **«Когда два элемента A и B соединяются между собой, образуя несколько соединений, массы одного из этих элементов, например, B, в этих соединениях относятся друг к другу как небольшие целые числа».**

Простейший пример – два соединения, состоящие из углерода и кислорода: окись углерода и двуокись углерода. 28 граммов окиси углерода и 44 грамма двуокиси углерода содержат одинаковую массу углерода – по 12 граммов.

Следовательно, отношение масс углерода и кислорода выглядит следующим образом:

Окись углерода:	12 граммов углерода и 16 граммов кислорода	3:4
Двуокись углерода:	12 граммов углерода и 32 грамма кислорода	3:8

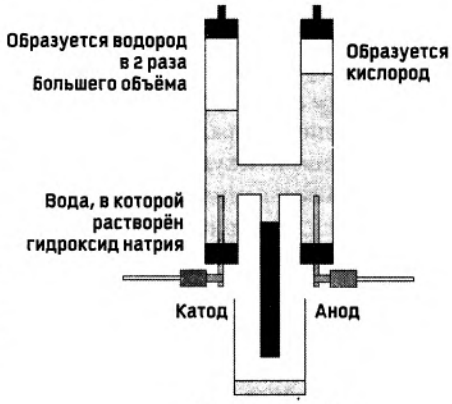
Отношение масс кислорода = 4/3 : 8/3 = 1/2

Взглянув на эти отношения, Дальтон подумал:

«Атомы – неделимые частицы, то есть не может существовать таких соединений, в которых с одним атомом углерода связано нецелое число атомов кислорода. Следовательно, должен выполняться Закон кратных отношений».

И использовал этот факт в качестве весомого доказательства атомистической теории.

Вообще, целые числа – это не только Закон кратных отношений. Ими вообще переполнена природа. Например, при электролизе воды, о котором упоминалось в предыдущей главе, объёмы образующихся водорода и кислорода всегда относятся друг к другу как 2:1, а их массы – всегда как 1:8. Причина в том, что происходит следующая химическая реакция:



Электролиз воды

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

Две молекулы воды	Две молекулы водорода Атомная масса 1,008	Одна молекула кислорода Атомная масса 16,00

Отношение объёмов	2	:	1
Следовательно, отношение масс	1	:	8

Объёмы тоже относятся друг к другу как целые числа, потому что существует Закон Авогадро (опубликован в 1811 году итальянским физиком Амедео Авогадро (1776–1856)):

«В равных объёмах различных газов, взятых при одинаковых температурах и давлениях, содержится одно и то же число молекул».

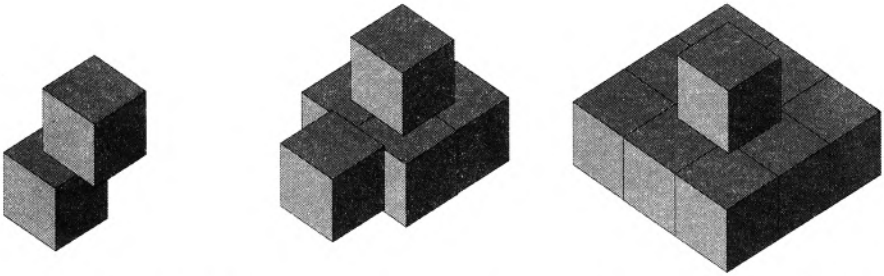
Далее, атомные массы водорода и кислорода равны 1,008 и 16,00 соответственно, значит, отношение масс будет примерно равно 1:8 (так как количества молекул H_2 и O_2 относятся друг к другу как 2:1).

О причине того, что атомная масса водорода не равна строго целому числу, будет рассказываться, начиная со следующей главы.

Правила соединения деталей под названием «атомы»

Эти переполняющие мир целые числа станут ключом, открывшим дверь внутрь атома.

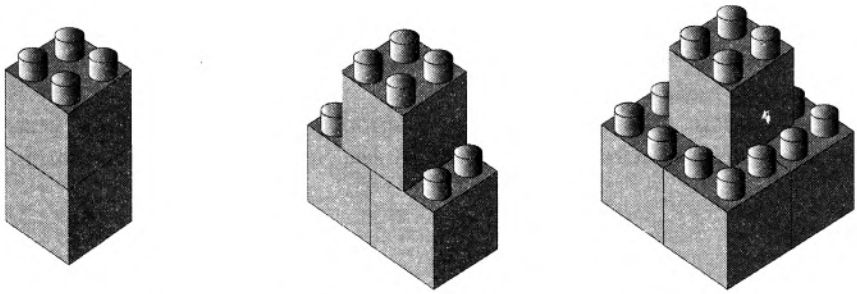
Например, представим, что атомы – это кубики. Если это так, мы можем соединять их друг с другом, как нам захочется. Например, если мы захотим поставить их друг на друга, то это можно сделать самыми разнообразными способами, как показано ниже.



Правил соединения нет, поэтому можно располагать кубики любым способом.

Но если атомы действительно имеют такое строение, то объяснить Закон кратных отношений – непростая задача.

Тогда представим, что атомы похожи на блоки конструкторов LEGO или DiaBlock. Если это так, то способы соединения будут ограничены. При постановке блоков друг на друга их взаимное расположение можно будет выразить отношением небольших целых чисел.



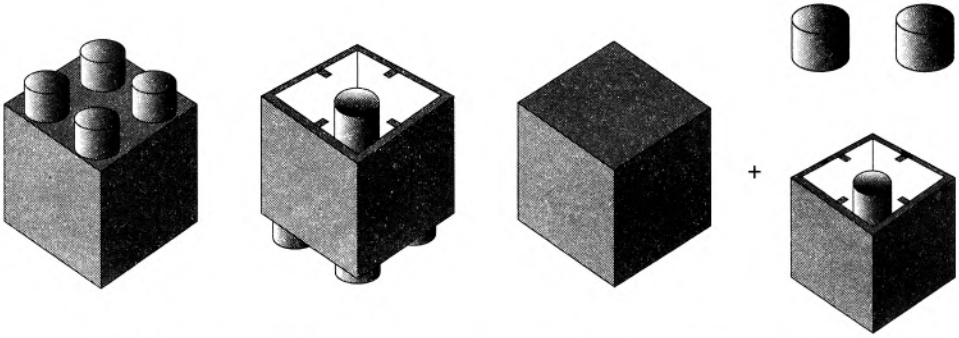
Есть правила, ограничивающие способы соединения

И может быть, что целые числа переполняют мир именно потому, что атомы тоже соединяются по определённым правилам, образуя молекулы и вещества. Но что из этого следует?

Идея о том, что атом – не поддающаяся дальнейшему делению частица, попадает под большое сомнение. Ведь если атомы соединяются по определённым правилам,

как эти игрушечные блоки, значит, они должны обладать какой-то регулярной и общей для всех атомов внутренней структурой.

На верхней стороне кирпичиков LEGO или DiaBlock имеются круглые шипы, а на нижней – отверстия, благодаря чему их можно соединять между собой. И тип кирпичика целиком определяется тем, сколько шипов и отверстий он имеет.



Внутренняя структура кирпичика: кубический корпус + шипы + отверстия

Конечно, один кирпичик конструктора LEGO или DiaBlock нельзя разобрать в реальности, но можно представить у себя в голове его строение: «кубический корпус + шипы + отверстия». Другими словами, это деталь, обладающая внутренней структурой.

Атомы участвуют в химических реакциях – они соединяются между собой по определённым правилам, при этом выполняется Закон кратных отношений. Значит, внутри них, как в кирпичиках этих конструкторов, должны быть какие-то однотипные приспособления. Наверное, во второй половине XIX века были учёные, размышлявшие подобным образом. Однако, к сожалению, метода проверки внутреннего строения атома тогда не существовало.

Таким образом, наука о микромире, с которой началась квантовая механика, с ощущением незавершенности встретила XX век, ставший переломной эпохой.

Вызов технологиям наблюдения маленького мира. Часть 2

Существует микроскоп, позволяющий увидеть атомы!

СТМ, превосходящий электронный микроскоп

«Материя состоит из частиц под названием атомы!» В эпоху Нового времени эта идея постепенно стала распространяться где-то с середины XVIII века. И примерно в 1920-х годах работы по разгадке строения атома стремительно продвинулись, о чём вы узнаете из последующей манги. Однако на протяжении длительного времени учёные не могли быть уверены в том, что атом реально существует в качестве «частицы». Это потому, что атом никто не мог увидеть своими глазами.

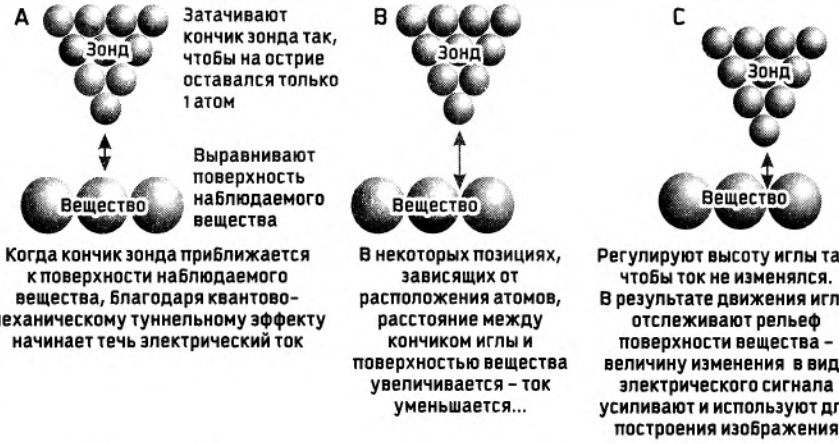
И вот в 1982 году, спустя более чем 200 лет после начала активного изучения атомов, с помощью вновь разработанного устройства – сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) – была получена фотография поверхности золота, на которой были различимы отдельные атомы. За этот успех изобретателям СТМ – Герду Карлу Биннигу и Генриху Рореру – в 1986 году была присуждена Нобелевская премия по физике.

Поищем атомы с помощью острой иглы

Принцип работы СТМ следующий. Для начала необходимо изготовить металлическую «иглу». От этой детали, называемой металлическим зондом, очень сильно зависят характеристики СТМ, поэтому её кончик должен быть заострён до такой степени, чтобы на нём оставался только один атом металла. В качестве материала используют, например, вольфрам. Этот металлический зонд приближают к исследуемой поверхности и двигают влево и вправо, при этом между образцом и иглой создают разность потенциалов, чтобы через маленький промежуток между ними образовалась электрическая цепь. В этом и заключается суть метода.

Принцип дальнейшей обработки достаточно сложен, но, говоря вкратце, сила протекающего в этой цепи тока (туннельного тока) изменяется в зависимости от расстояния между металлическим зондом и поверхностью металлического образца. Следовательно, если поднимать и опускать иглу так, чтобы этот ток был постоянным, то можно будет проследить рельеф поверхности образца. Затем нужно будет провести расчёты на основе полученных данных и построить трёхмерное изображение. При этом разрешающая способность по вертикали составляет 10 пикометров, что позволяет заглянуть в маленький мир, который на один-два порядка меньше, чем мир, доступный с помощью электронного микроскопа. Кроме того, Герд Бинниг в качестве варианта СТМ изобрёл в 1985 году атомно-силовой микроскоп (АСМ), в котором вместо тока в цепи используются силы электромагнитной природы, действующие между молекулами и атомами.

Благодаря АСМ стало возможно наблюдать на атомном уровне образцы, не являющиеся проводящими металлическими поверхностями.



Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)

Сколько это стоит – «посмотреть атом»?

Здесь я немного отвлекусь от основной темы. Знаете ли вы цены на мощные микроскопы? Кстати, цены на оптические микроскопы начинаются с 2000 йен, и даже те из них, которые используют специалисты-исследователи, можно купить где-то за 200 000 йен. Поэтому оптические микроскопы есть даже в начальной и средней школах.

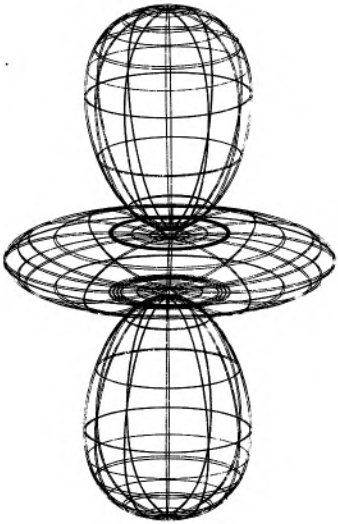
Однако электронные микроскопы гораздо дороже – предназначенные для исследований и разработок приборы стоят в районе 10–30 млн йен (разумеется, есть среди них и приборы высшего класса, стоящие несколько сотен миллионов йен, а есть и подешевле – например, за 5 млн йен). Разумеется, при такой дороговизне даже не все университеты могут их себе позволить. Однако руководство компаний рассуждает так: «Электронный микроскоп совсем не дорогой, ведь, потратив на него несколько десятков миллионов йен, можно в итоге получить прибыль во много сотен миллионов», – поэтому в лабораториях и исследовательских центрах промышленных компаний электронных микроскопов полным-полно. Однажды молодой сотрудник одной из них радостно сказал мне: «Самое лучшее на новой работе – возможность свободно пользоваться электронным микроскопом!»

Итак, наконец, мы поговорим о сканирующих туннельных микроскопах, позволяющих «увидеть» атомы. В приборах подобного класса наблюдениям мешает даже воздух, поэтому они продаются в комплекте с оборудованием сверхвысокого вакуума – их цена зашкаливает за 50 млн йен! При такой дороговизне даже компании вынуждены обращаться с СТМ бережно: держать в запираемой на ключ комнате и тщательно охранять.

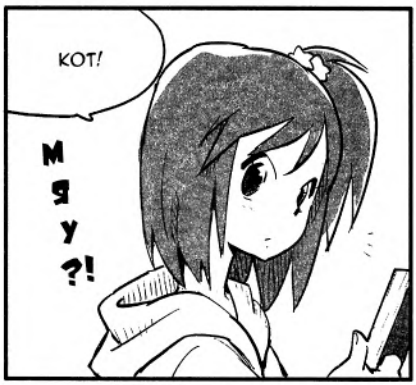
Однако у производителей, занимающихся, например, разработкой новых металлических материалов, они обычно есть, и вы можете бесплатно увидеть атом, если придёте в лабораторию такой компании на день открытых дверей.

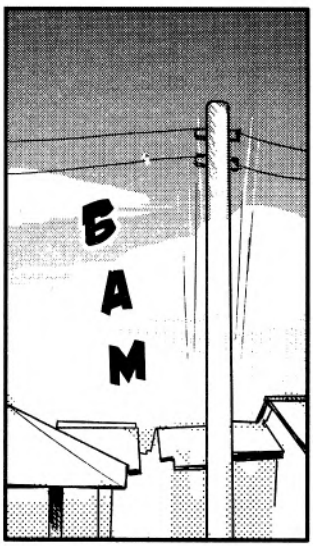
ГЛАВА 3

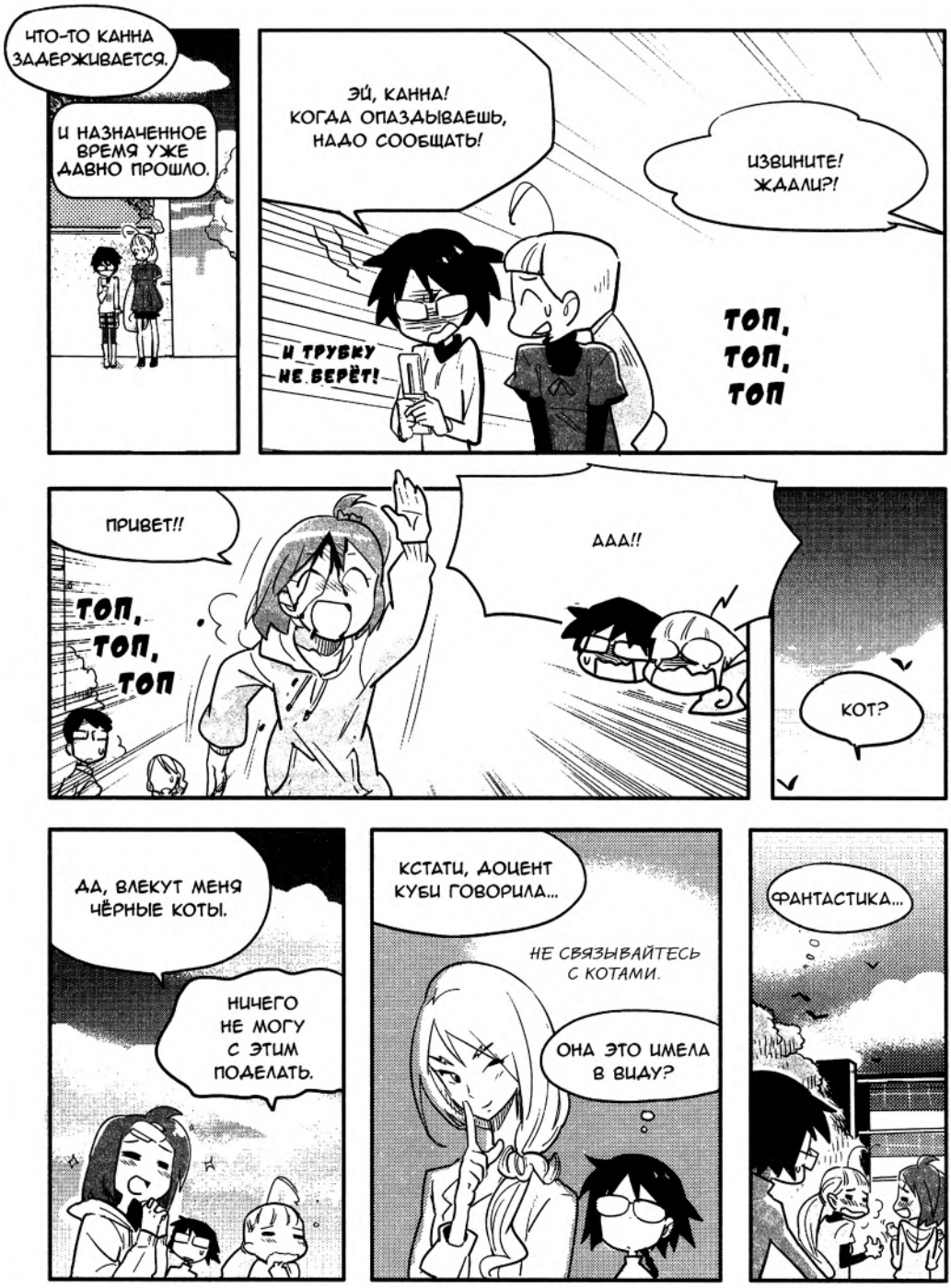
КАК ИЗУЧАТЬ "НУТРО" АТОМА?



3.1. КАК ОТКРЫЛИ ЭЛЕКТРОН – ДИТЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА?



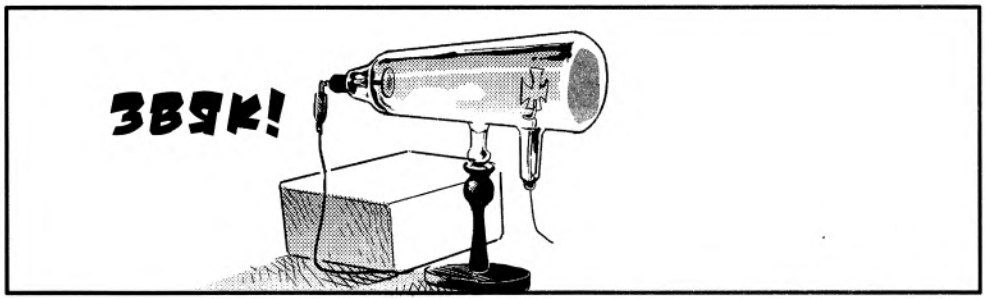



ЧТО-ТО КАННА ЗАДЕРЖИВАЕТСЯ.
И НАЗНАЧЕННОЕ ВРЕМЯ УЖЕ ДАВНО ПРОШЛО.
ЭЙ, КАННА! КОГДА ОПАЗДЫВАЕШЬ, НАДО СООБЩАТЬ!
ИЗВИНИТЕ! ЖДАЛИ?!
И ТРУБКУ НЕ БЕРЁТ!
ТОП, ТОП, ТОП
ПРИВЕТ!!
ТОП, ТОП, ТОП
ААА!!
КОТ?
ДА, ВЛЕКУТ МЕНЯ ЧЁРНЫЕ КОТЫ.
НИЧЕГО НЕ МОГУ С ЭТИМ ПОДЕЛАТЬ.
КСТАТИ, ДОЦЕНТ КУБИ ГОВОРИЛА...
НЕ СВЯЗЫВАЙТЕСЬ С КОТАМИ.
ОНА ЭТО ИМЕЛА В ВИДУ?
ФАНТАСТИКА...

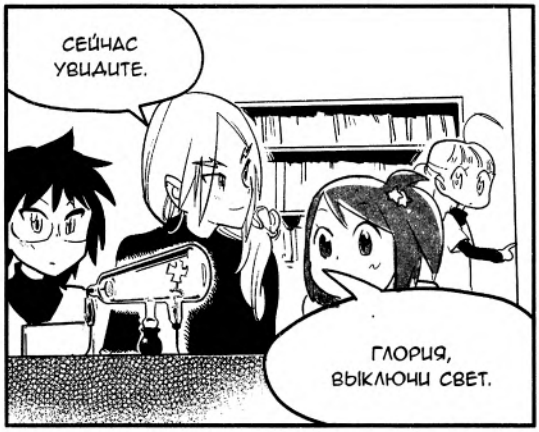
ЛАБОРАТОРИЯ
Куби
ИЗВИНИТЕ, ЧТО СЕГОДНЯ Я ВЫЗВАЛА ВАС В ТАКОЙ ПОЗДНИЙ ЧАС.
ПРОСТО У НАС С КАНТОЙ БЫЛИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАНЯТИЯ.
НУ ЧТО, ПОЧИТАЛИ НЕМНОГО ПРО АТОМ?
ДА.
ДА.
АТОМ СОСТОИТ ИЗ ЯДРА В ЦЕНТРЕ И ОКРУЖАЮЩИХ ЕГО ЭЛЕКТРОНОВ.
АТОМНОЕ ЯДРО ОБРАЗОВАНО ПРОТОНАМИ И НЕЙТРОНАМИ.
ЭТИ ПРОТОНЫ И НЕЙТРОНЫ СОСТОЯТ ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, НАЗЫВАЕМЫХ КВАРКАМИ.
Атомное ядро
Электроны
Протоны
Нейтроны
Кварк

ТЕБЕ ЧТО, ПОНРАВИЛОСЬ УЧИТЬСЯ?
А ЧТО? ПРОСТО В КНИГЕ ТАК НАПИСАНО.

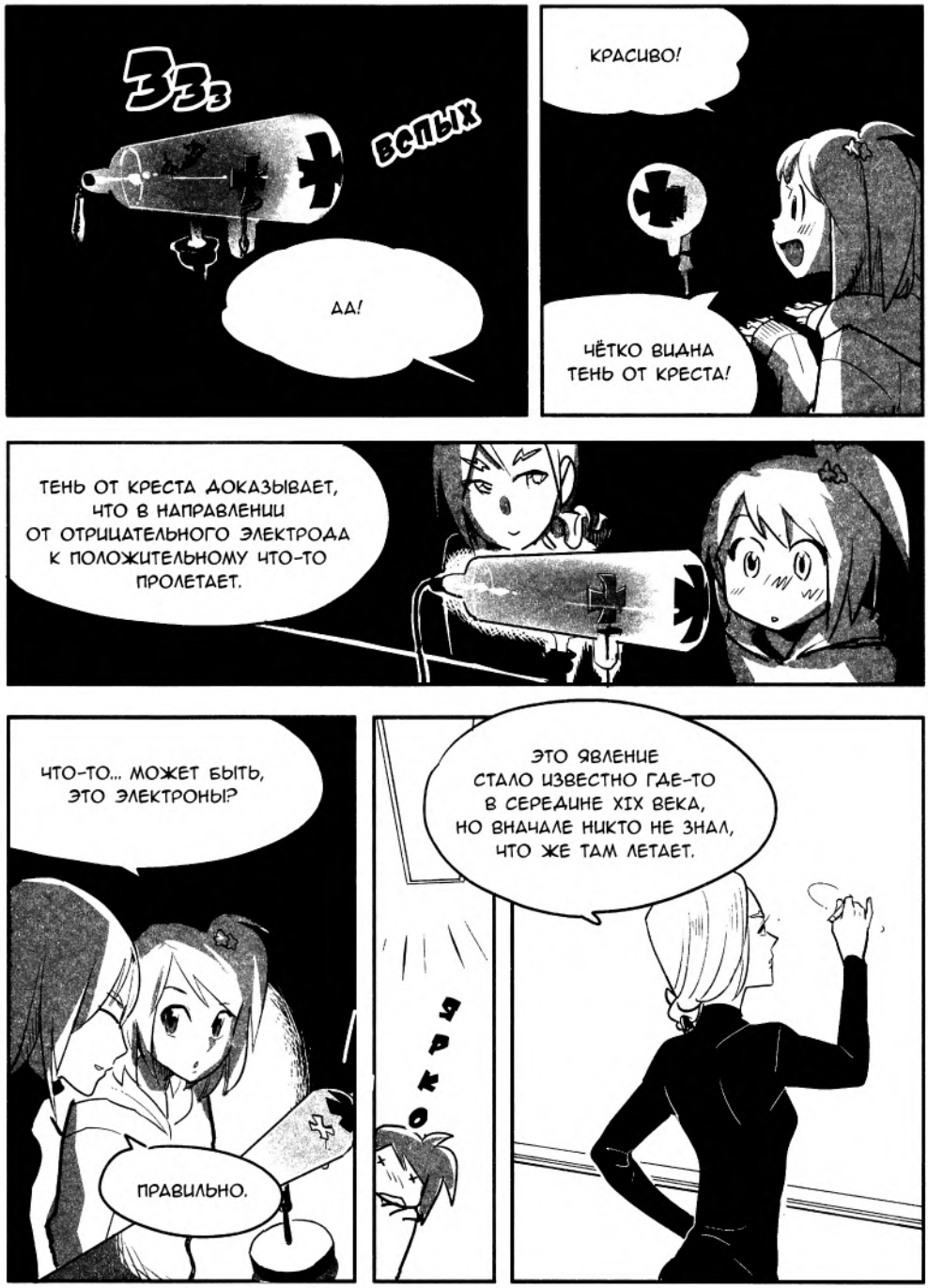
Я РАДА, ЧТО ВЫ СЕРЬЁЗНЫ В УЧЁБЕ.
СЕГОДНЯ, ДЛЯ НАЧАЛА, ИЗУЧИМ ЭЛЕКТРОНЫ И АТОМНОЕ ЯДРО.

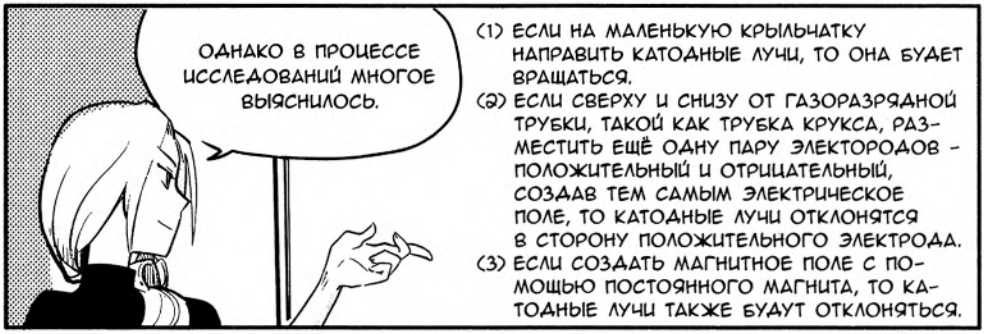

ЗВЯК!

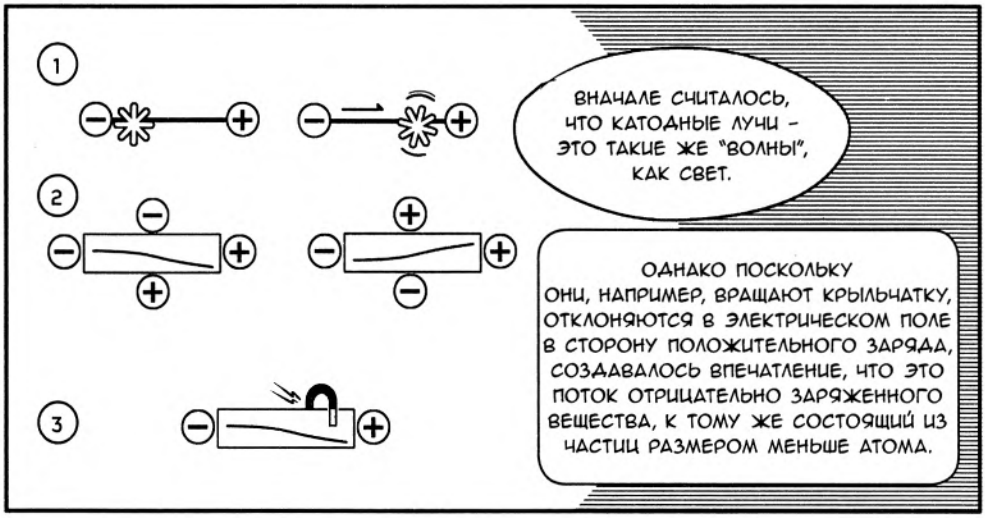
ЭТА ШТУКА НАЗЫВАЕТСЯ ТРУБКОЙ КРУКСА: В СТЕКЛЯННОЙ КОЛБЕ, ИЗ КОТОРОЙ ОТКАЧАН ВОЗДУХ, НАХОДЯТСЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОДЫ, А НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ СТЕКЛА СО СТОРОНЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА НАНЕСЕНО ФЛЮОРЕСЦИРУЮЩЕЕ ВЕЩЕСТВО.
Отрицательный электрод (катод)
Положительный электрод (анод)
Флюоресцирующее вещество
И ЧТО ЭТО ПОМОЖЕТ ПОНЯТЬ?


СЕЙЧАС УВИДИТЕ.
ГЛОРИЯ, ВЫКЛЮЧИ СВЕТ.

ВШ

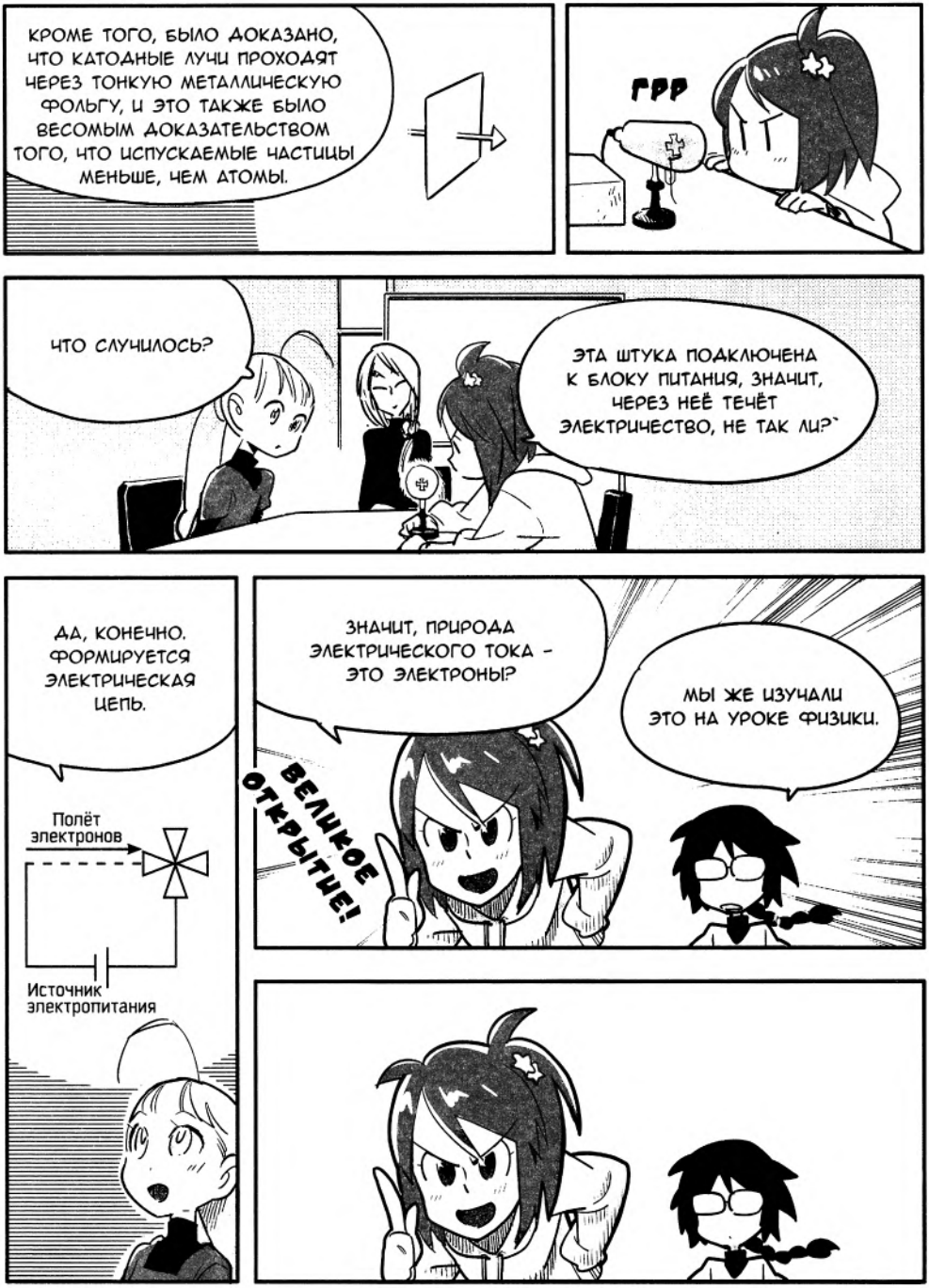

ЗЗЗ
ВСПЫХ
АА!
КРАСИВО!
ЧЁТКО ВИДНА ТЕНЬ ОТ КРЕСТА!
ТЕНЬ ОТ КРЕСТА ДОКАЗЫВАЕТ, ЧТО В НАПРАВЛЕНИИ ОТ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА К ПОЛОЖИТЕЛЬНОМУ ЧТО-ТО ПРОЛЕТАЕТ.
ЧТО-ТО... МОЖЕТ БЫТЬ, ЭТО ЭЛЕКТРОНЫ?
ПРАВИЛЬНО.
ЯРКО
ЭТО ЯВЛЕНИЕ СТАЛО ИЗВЕСТНО ГДЕ-ТО В СЕРЕДИНЕ XIX ВЕКА, НО ВНАЧАЛЕ НИКТО НЕ ЗНАЛ, ЧТО ЖЕ ТАМ ЛЕТАЕТ.


ОДНАКО В ПРОЦЕССЕ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОГОЕ ВЫЯСНИЛОСЬ.
(1) ЕСЛИ НА МАЛЕНЬКУЮ КРЫЛЬЧАТКУ НАПРАВИТЬ КАТОДНЫЕ ЛУЧИ, ТО ОНА БУДЕТ ВРАЩАТЬСЯ.
(2) ЕСЛИ СВЕРХУ И СНИЗУ ОТ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ТРУБКИ, ТАКОЙ КАК ТРУБКА КРУКСА, РАЗМЕСТИТЬ ЕЩЁ ОДНУ ПАРУ ЭЛЕКТОРОДОВ – ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ, СОЗДАВ ТЕМ САМЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ТО КАТОДНЫЕ ЛУЧИ ОТКЛОНЯТСЯ В СТОРОНУ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА.
(3) ЕСЛИ СОЗДАТЬ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ С ПОМОЩЬЮ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА, ТО КАТОДНЫЕ ЛУЧИ ТАКЖЕ БУДУТ ОТКЛОНЯТЬСЯ.


1
2
3
ВНАЧАЛЕ СЧИТАЛОСЬ, ЧТО КАТОДНЫЕ ЛУЧИ – ЭТО ТАКИЕ ЖЕ "ВОЛНЫ", КАК СВЕТ.
ОДНАКО ПОСКОЛЬКУ ОНИ, НАПРИМЕР, ВРАЩАЮТ КРЫЛЬЧАТКУ, ОТКЛОНЯЮТСЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В СТОРОНУ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА, СОЗДАВАЛОСЬ ВПЕЧАТЛЕНИЕ, ЧТО ЭТО ПОТОК ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОГО ВЕЩЕСТВА, К ТОМУ ЖЕ СОСТОЯЩИЙ ИЗ ЧАСТИЦ РАЗМЕРОМ МЕНЬШЕ АТОМА.

А ПОЧЕМУ РЕШИЛИ, ЧТО ОНИ МЕНЬШЕ АТОМА?

СКОЛЬКО НИ ИСПУСКАЛИСЬ КАТОДНЫЕ ЛУЧИ, МЕТАЛЛ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА НЕ УТОНЧАЛСЯ И НЕ ЩЕРБИЛСЯ.
ПОЭТОМУ ЕСТЕСТВЕННО ПРЕДПОЛОЖИТЬ, ЧТО ОТТУДА ИСХОДИТ ЧТО-ТО, НАМНОГО МЕНЬШЕЕ АТОМОВ.

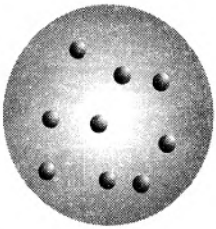

КРОМЕ ТОГО, БЫЛО ДОКАЗАНО, ЧТО КАТОДНЫЕ ЛУЧИ ПРОХОДЯТ ЧЕРЕЗ ТОНКУЮ МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ФОЛЬГУ, И ЭТО ТАКЖЕ БЫЛО ВЕСОМЫМ ДОКАЗАТЕЛЬСТВОМ ТОГО, ЧТО ИСПУСКАЕМЫЕ ЧАСТИЦЫ МЕНЬШЕ, ЧЕМ АТОМЫ.
ГРР
ЧТО СЛУЧИЛОСЬ?
ЭТА ШТУКА ПОДКЛЮЧЕНА К БЛОКУ ПИТАНИЯ, ЗНАЧИТ, ЧЕРЕЗ НЕЁ ТЕЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, НЕ ТАК ЛИ?
ДА, КОНЕЧНО. ФОРМИРУЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ.
Полёт электронов
Источник электропитания
ЗНАЧИТ, ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА – ЭТО ЭЛЕКТРОНЫ?
ВЕЛИКОЕ ОТКРЫТИЕ!
МЫ ЖЕ ИЗУЧАЛИ ЭТО НА УРОКЕ ФИЗИКИ.

ВОТ КАК? А Я НАДЕЯЛАСЬ НА ВЕЛИКОЕ ОТКРЫТИЕ...
АХ...
РАЗМЫШЛЯТЬ ТАК – ЭТО ТОЖЕ ВАЖНО.
АНГЛИЙСКИЙ ФИЗИК ДЖОЗЕФ ДЖОН ТОМСОН...
...ТОЖЕ ПРЕДПОЛОЖИЛ, ЧТО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК – ЭТО ДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВА,
...ИМЕЮЩЕГО ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯД.
ВОТ ПОЭТОМУ ЕГО И НАЗВАЛИ "ЭЛЕКТРОН" – ДИТЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.
ИТАК, ТЕПЕРЬ О ГЛАВНОМ. ЭЛЕКТРОН МЕНЬШЕ АТОМА. КРОМЕ ТОГО, ИНОГДА ОН МОЖЕТ ВЫЛЕТАТЬ ИЗ АТОМА.
НА ОСНОВЕ ЭТИХ ФАКТОВ МНОЖЕСТВО УЧЁНЫХ РАЗМЫШЛЯЛИ О СТРОЕНИИ АТОМА.
СРЕДИ ПЕРВЫХ МОДЕЛЕЙ АТОМА НАИБОЛЕЕ ТИПИЧНЫМИ БЫЛИ МОДЕЛЬ ВЫШЕУПОМЯНУТОГО Д. Д. ТОМСОНА, А ТАКЖЕ МОДЕЛЬ, ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЯПОНСКИМ ФИЗИКОМ НАГАОКА ХАНТАРО.

Первые модели атома

Модель атома Томпсона (другое название – арбузная модель)

Модель, предложенная в 1903 году Джозефом Джоном Томпсоном (Joseph John Thomson) – английским физиком, известным также как первооткрыватель электрона. Исходя из того, что в опытах с катодными лучами электрод не изменяется, хотя испускает электроны, он предположил, что атом представляет собой сферу определённого размера, равномерно заполненную положительно заряженным веществом незернистой природы (чем-то вроде желе?). Внутри этой сферы находятся электроны, число которых таково, что они полностью компенсируют положительный заряд сферы.

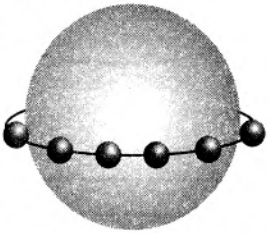


Модель атома Томсона

Эту модель атома за сходство с арбузом с электронами-косточками в Японии иногда называют «арбузной моделью», однако во всём мире распространено название «модель изюмного пудинга». Это традиционное рождественское блюдо в Англии – на родине Томсона, представляющее собой пирог с изюмом и другими сухофруктами. Как я уже говорил, пудинги тоже бывают разные!

Модель атома Нагаока (другое название – сатурнианская модель)

Модель, предложенная в 1904 году японским физиком Нагаока Хантаро. Её сходство с моделью Томсона заключалось в том, что атом представлялся в виде большой частицы, имеющей положительный заряд, а особенностью было то, что вокруг атома по орбитам, подобно кольцам Сатурна, вращались электроны. Другими словами, прогресс здесь заключался в том, что впервые было введено понятие «атомного ядра», хотя и очень несовершенное.



Модель атома Нагаока

Впервые Нагаока представил свою идею в Токийском физико-математическом обществе. Шёл 1904 год – разгар Русско-японской войны, и атмосфера в японском обществе не способствовала популярности науки, поэтому его теория заслужила больше внимания за рубежом, чем в самой Японии. Однако Нагаока не смог чётко объяснить, «почему электрон продолжает вращаться, не теряя энергии», поэтому и в других странах о нём вскоре забыли.

Отец японской физики

Огромные заслуги доктора физических наук Нагаока Хантаро

Нагаока Хантаро (1865–1950)

Нагаока Хантаро, успехи которого в размышлении над ранней моделью атома получили международное признание, был великим человеком, которого называли отцом японской физики.

Он родился за 3 года до Реставрации Мейдзи единственным сыном в семье самурая клана Омура (в настоящее время – город Омура префектуры Нагасаки), начал изучать физику в Токийском университете сразу же после его основания, а после окончания аспирантуры остался в университете, став сначала доцентом, а потом профессором. Прошёл также стажировку в Германии, где изучал атомистическую теорию – самую передовую научную теорию того времени. Он активно проводил исследования не только в области атомной физики, которая тесно связана с квантовой механикой, но также, например, в геофизике, космической физике и ряде других областей. Прожил Нагаока 85 лет, и рассказывают, что до самой смерти перед ним всегда была раскрыта какая-нибудь книга по физике.

Прочитав такую биографию, можно представить себе какого-то необыкновенного человека, но Нагаока Хантаро на самом деле был очень простым и интересным человеком – ничто человеческое было ему не чуждо. В студенческие годы его мучило сомнение: «Присуща ли азиатам оригинальность мышления, не уступающая европейцам?» Однажды он даже взял академический отпуск и хотел поменять специализацию на китайскую классическую литературу. В конце концов, он всё-таки решил остаться физиком, но международный престиж Японии был ещё очень низок, и его долго мучили комплексы. Говорят, что именно по этой причине он не смог активно представить свою оригинальную модель атома зарубежным научным обществам.

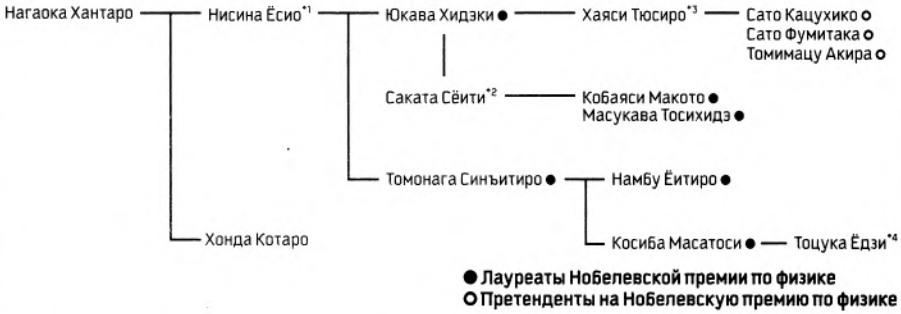
Однако с течением времени он постепенно понял важность международной деятельности и в 1939 году активно рекомендовал Шведскому Нобелевскому Комитету присвоить премию японскому физику Юкава Хидэки. Именно благодаря поддержке Нагаока в 1948 году, после окончания Второй мировой войны, Юкава наконец стал первым в Японии нобелевским лауреатом. А последовавшая за этим Нобелевская премия другому физику из Японии – Томонага Синъитиро – сильно подняла международной престиж японской физики.

Кроме Юкава и Асакава, среди последователей Нагаока было много талантливых физиков – одних только нобелевских лауреатов насчитывается 6 человек. Можно без преувеличения сказать, что ими, включая вероятных претендентов на нобелевские премии, было сформировано большое самостоятельное течение квантовой механики. Вкратце расскажу здесь о них.

Сато Кацухико, предложивший теорию инфляции Вселенной. Сато Фумитака и Томимацу Акира, широко известные за рубежом благодаря исследованию чёрных дыр.

Кроме того, это и мировой авторитет в области исследования металлов Хонда Котаро – наряду с Нисина Ёсио бывший одним из любимых учеников Нагаока. Хонда взрастил множество учёных и инженеров, которые впоследствии поступили на работу во многие компании Японии и занимались там разработками. Не будет преувеличением сказать, что именно их активная деятельность позволила Японии называться «развитой технологической страной».

Поэтому нельзя преуменьшить заслуги Нагаока Хантаро, заложившего фундамент бурного развития Японии в самых разнообразных областях – от физики до машиностроения и электроники.



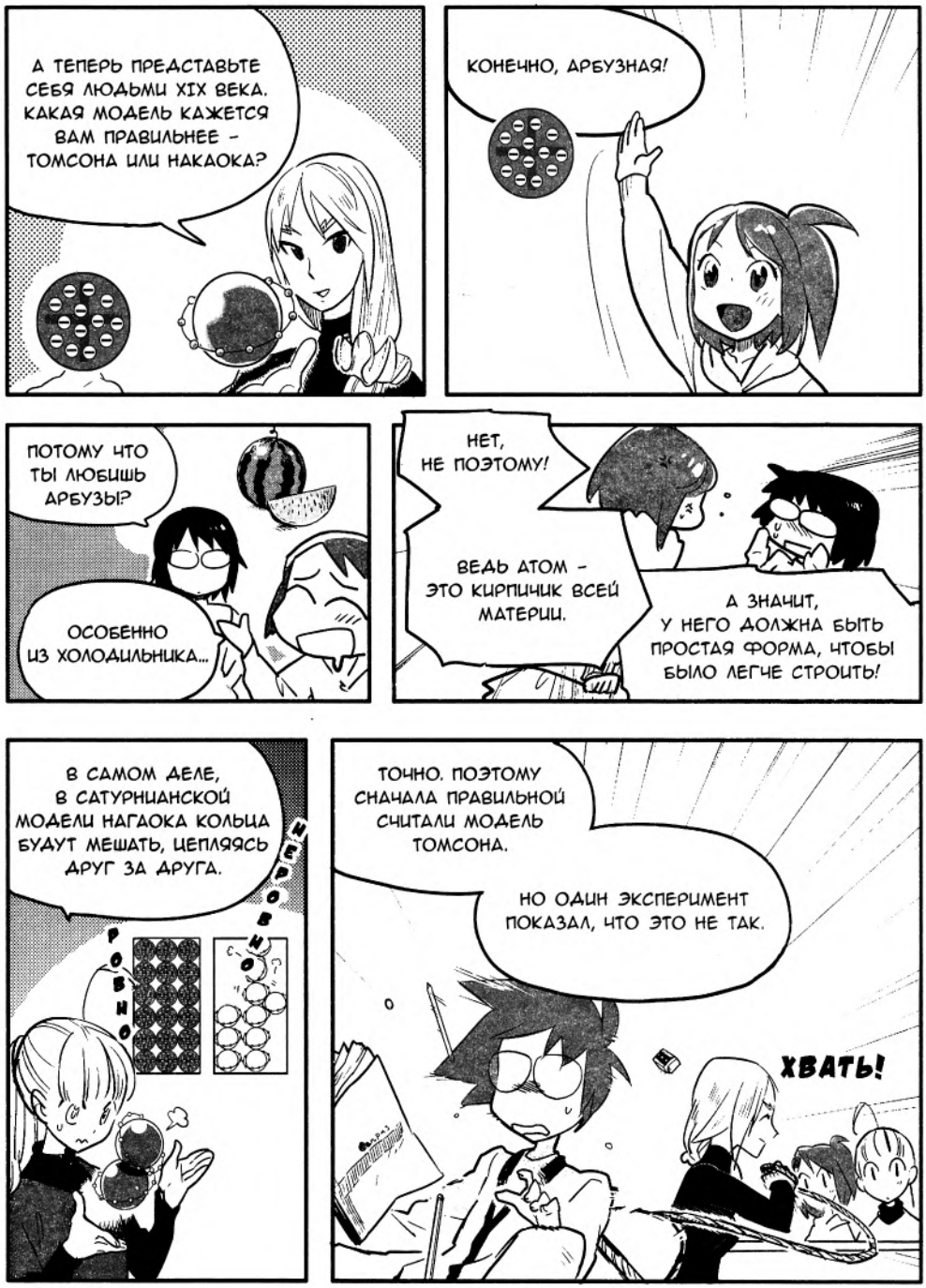
Генеалогия японской физики

*1 Нисина Ёсио: учёный, которого называют «отцом японской современной физики». Прилагая усилия по созданию в Японии исследовательской базы квантовой механики, достиг больших успехов в исследовании космических лучей, исследованиях на ускорителях заряженных частиц и др.

*2 Саката Сёити: соавтор статьи о мезонах, за которую Юкава Хидэки получил Нобелевскую премию. Широко известен в мире благодаря большому количеству передовых исследований в области элементарных частиц.

*3 Хаяси Тюсиро: в качестве астрофизика достиг больших успехов, например, подытожил стандартную модель полного процесса формирования неподвижных звёзд и планетных систем.

*4 Тоцука Ёдзи: за исследования в области космических лучей заслужил медаль Бенджамина Франклина, являющуюся американским вариантом Нобелевской премии. Скончался в 2008 году в возрасте 66 лет. Считают, что если бы он прожил на 2 года дольше, то получил бы и Нобелевскую премию.


А ТЕПЕРЬ ПРЕДСТАВЬТЕ СЕБЯ ЛЮДЬМИ XIX ВЕКА. КАКАЯ МОДЕЛЬ КАЖЕТСЯ ВАМ ПРАВИЛЬНЕЕ – ТОМСОНА ИЛИ НАКАОКА?
КОНЕЧНО, АРБУЗНАЯ!
ПОТОМУ ЧТО ТЫ ЛЮБИШЬ АРБУЗЫ?
ОСОБЕННО ИЗ ХОЛОДИЛЬНИКА...
НЕТ, НЕ ПОЭТОМУ!
ВЕДЬ АТОМ – ЭТО КИРПИЧИК ВСЕЙ МАТЕРИИ.
А ЗНАЧИТ, У НЕГО ДОЛЖНА БЫТЬ ПРОСТАЯ ФОРМА, ЧТОБЫ БЫЛО ЛЕГЧЕ СТРОИТЬ!
В САМОМ ДЕЛЕ, В САТУРНИАНСКОЙ МОДЕЛИ НАГАОКА КОЛЬЦА БУДУТ МЕШАТЬ, ЦЕПЛЯЯСЬ ДРУГ ЗА ДРУГА.
РОВНО
НЕРОВНО
ТОЧНО. ПОЭТОМУ СНАЧАЛА ПРАВИЛЬНОЙ СЧИТАЛИ МОДЕЛЬ ТОМСОНА.
НО ОДИН ЭКСПЕРИМЕНТ ПОКАЗАЛ, ЧТО ЭТО НЕ ТАК.
ХВАТЬ!

КАНТА, СМОЖЕШЬ РАССКАЗАТЬ ПРО РЕЗЕРФОРДОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ, КОТОРОЕ МЫ ТОЛЬКО ЧТО С ТОБОЙ ИЗУЧИЛИ?
ДА...

ЭРНЕСТ РЕЗЕРФОРД (1871–1937 ГГ.)
АНГЛИЙСКИЙ ФИЗИК, РОДИВШИЙСЯ В НОВОЙ ЗЕЛАНДИИ. ИСТОРИЧЕСКОМУ ЭКСПЕРИМЕНТУ 1911 ГОДА ПРИСВОЕНО ИМЯ РЕЗЕРФОРДА, ОДНАКО ГОВОРЯТ, ЧТО В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ ВСЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНУЮ ЧАСТЬ СДЕЛАЛИ ЕГО ПОМОЩНИКИ ГАНС ГЕЙГЕР И ЭРНСТ МАРСДЕН, А САМ РЕЗЕРФОРД ТОЛЬКО ОБДУМЫВАЛ РЕЗУЛЬТАТЫ.

ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА С АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ ВЫГЛЯДЕЛ ТАК.
РЕЗЕРФОРД НАПРАВЛЯЛ ПОТОК АЛЬФА-ЧАСТИЦ НА ЗОЛОТУЮ ФОЛЬГУ И ИССЛЕДОВАЛ ИХ РАССЕЯНИЕ.
Флюоресцирующий экран
Золотая фольга
Поток альфа-частиц

РАДИАЦИЯ, ИЛИ ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, – ЭТО ИСПУСКАЕМЫЕ НЕКОТОРЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ – РАДИОАКТИВНЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ, ТАКИМИ КАК УРАН, РАДИЙ И ДР., ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ ИЛИ ПОТОКИ ЧАСТИЦ С ВЫСОКИМИ ЭНЕРГИЯМИ. СРЕДИ НИХ ЕСТЬ, НАПРИМЕР, АЛЬФА-, БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ. АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПОТОК АЛЬФА-ЧАСТИЦ – ЯДЕР АТОМОВ ГЕЛИЯ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ДВУХ ПРОТОНОВ И ДВУХ НЕЙТРОНОВ.
НИЧЕГО НЕ ПОНИМАЮ!

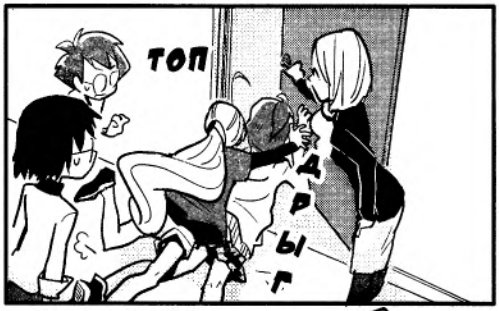
ЭТО НЕСЛОЖНО.
ПРОСТО ПРЕДСТАВЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ, ЛЕТЯЩИЕ КАК ПУЛИ.

ЗНАЯ, ЧТО ПОТОК АЛЬФА-ЧАСТИЦ ПРОХОДИТ СКВОЗЬ МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ФОЛЬГУ, Я РЕШИЛ ПРОВЕРИТЬ, ЧТО С НИМИ ПРИ ЭТОМ ПРОИСХОДИТ.
КАК ВЫ ДУМАЕТЕ, КАКОЙ ПОЛУЧИЛСЯ РЕЗУЛЬТАТ?
?
НАВЕРНОЕ, ОНИ РАССЕЯЛИСЬ?
БАМ!
ПОДАВЛЯЮЩЕЕ БОЛЬШИНСТВО АЛЬФА-ЧАСТИЦ, ПОПАВШИХ В ЗОЛОТУЮ ФОЛЬГУ, РАССЕЯЛИСЬ ВПЕРЁД, ОДНАКО ПРИМЕРНО 1 ЧАСТИЦА ИЗ 8000 ОТРАЖАЛАСЬ В СОВЕРШЕННО ПРОТИВОПОЛОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ – НАЗАД.
НЕУЖЕЛИ? НО ПОЧЕМУ?
АГА.
ГЛОРИЯ, ПОХОЖЕ, ПОНЯЛА.
ТЕПЕРЬ ДАВАЙТЕ ПОУЧИМСЯ В ДРУГОМ МЕСТЕ.
ХИ-ХИ

ТА-ДАМ
Особая лаборатория
Посторонним
Не входить, опасно!

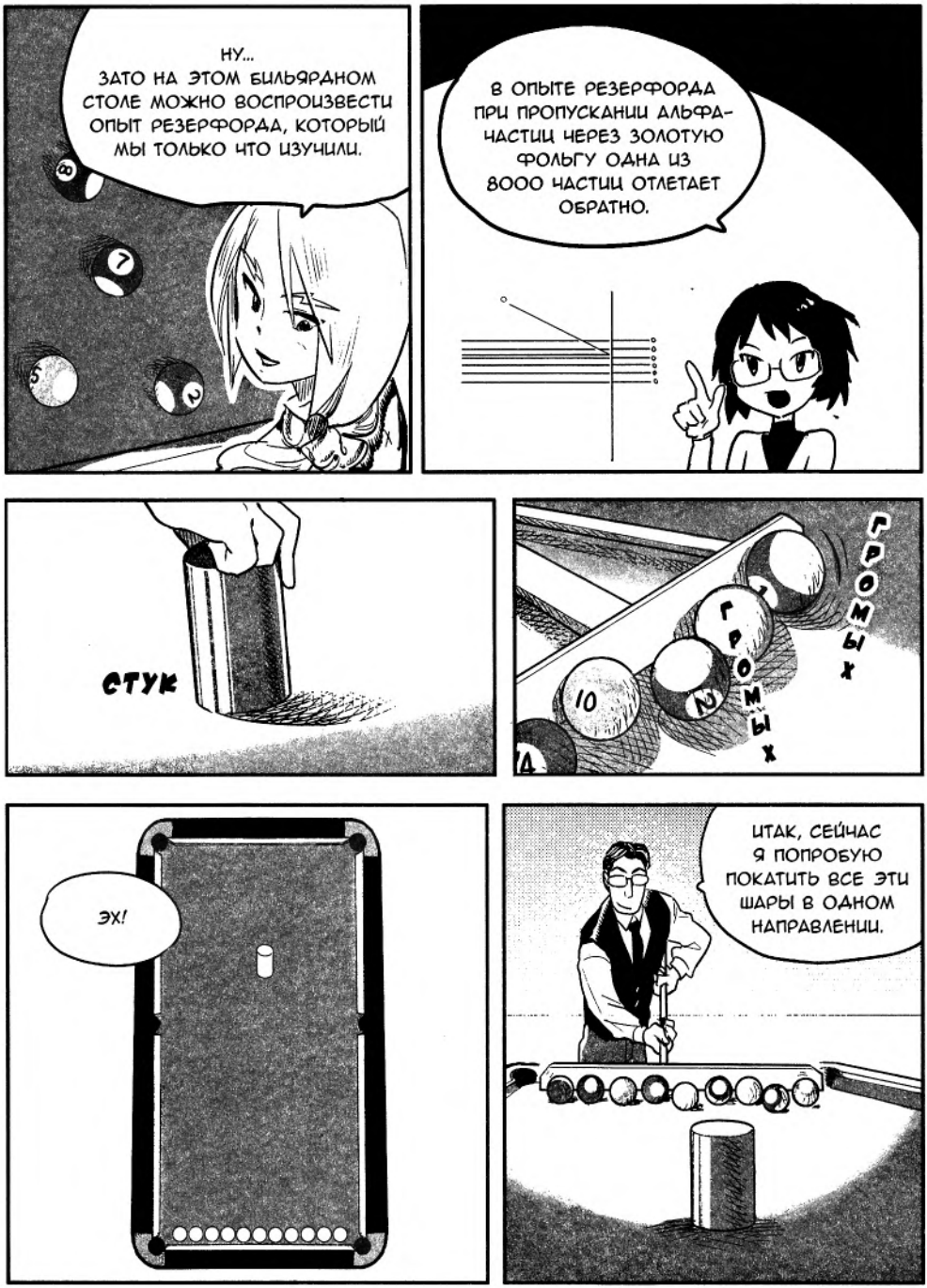
ЭТО – "ОСОБАЯ ЛАБОРАТОРИЯ", КУДА СТУДЕНТАМ ВХОДИТЬ НЕЛЬЗЯ..!
ДА.
КАК СТРАШНО...

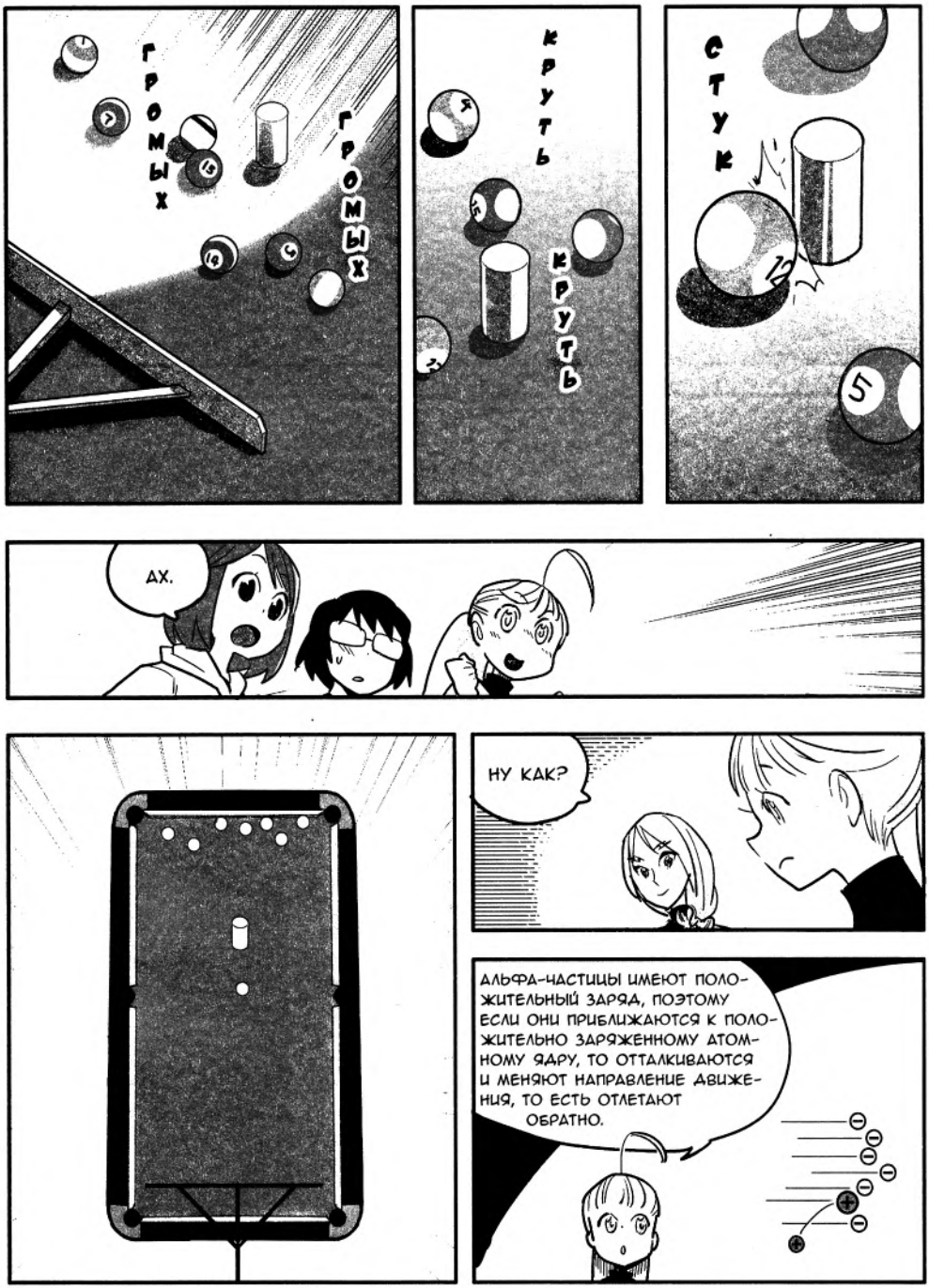
А ЧТО ЭТО ЗА ЗВУКИ ИЗНУТРИ?
ЩЁЛК


ТОП
ДРЫГ

БОЛЬНО-О!
БОЛЬНО...
ДА!

А ВОТ И ВЫ.
ПРОФЕССОР САНУКИ!
СЭНСЭЙ! ВЫ УЖЕ ВЕРНУЛИСЬ?!
КАК МНЕ БЫЛО ТРУДНО БЕЗ ВАС!
ТИСК
А ЧЕМ Я ХУЖЕ?
СОВСЕМ НЕДАВНО. Я ЖДАЛ ВАС ЗДЕСЬ, ЗНАЯ, ЧТО ВЫ ПРИДЁТЕ.
ОДНАКО...
ЗАЧЕМ ЗДЕСЬ ЭТОТ ШИКАРНЫЙ БИЛЬЯРДНЫЙ СТОЛ?
МЫ ЕГО КУПИЛИ НА "ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАСХОДЫ". ЭТО БЫЛО НЕПРОСТО. ♥
ТОЛЬКО ОБ ЭТОМ – НИКОМУ!
ЧТО ЭТО С НИМИ?


НУ...
ЗАТО НА ЭТОМ БИЛЬЯРДНОМ СТОЛЕ МОЖНО ВОСПРОИЗВЕСТИ ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА, КОТОРЫЙ МЫ ТОЛЬКО ЧТО ИЗУЧИЛИ.
В ОПЫТЕ РЕЗЕРФОРДА ПРИ ПРОПУСКАНИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ЗОЛОТУЮ ФОЛЬГУ ОДНА ИЗ 8000 ЧАСТИЦ ОТЛЕТАЕТ ОБРАТНО.
СТУК
ГРОМЫХ
ГРОМЫХ
ГРОМЫХ
ЭХ!
ИТАК, СЕЙЧАС Я ПОПРОБУЮ ПОКАТИТЬ ВСЕ ЭТИ ШАРЫ В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ.


ГРОМЫХ
ГРОМЫХ
КРУТЬ
КРУТЬ
СТУК
ДХ.
НУ КАК?
АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ ИМЕЮТ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯД, ПОЭТОМУ ЕСЛИ ОНИ ПРИБЛИЖАЮТСЯ К ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОМУ АТОМНОМУ ЯДРУ, ТО ОТТАЛКИВАЮТСЯ И МЕНЯЮТ НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ, ТО ЕСТЬ ОТЛЕТАЮТ ОБРАТНО.

ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ТЫСЯЧ ЧАСТИЦ ОТЛЕТАЕТ ТОЛЬКО ОДНА...
АГА!

ЗНАЧИТ, АТОМНОЕ ЯДРО – ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКОЕ?

ПРАВИЛЬНО!
БОЛЬНО...

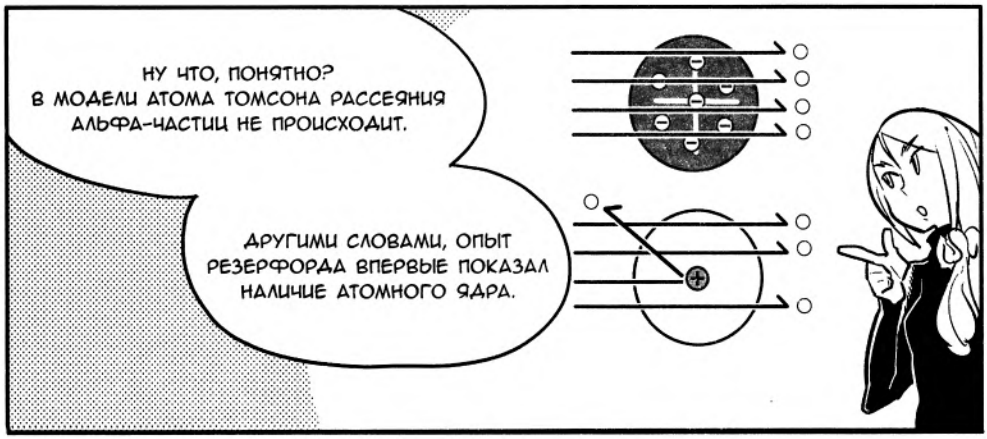
А ТЕПЕРЬ ИСПЫТАЕМ НА ОПЫТЕ МОДЕЛЬ ТОМСОНА...
ВОТ

ВОЙЛОК?
ДА. ВЕДЬ В МОДЕЛИ ТОМСОНА ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЗАРЯДЫ РАЗМАЗАНЫ ПО АТОМУ, ПОЭТОМУ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ НЕ ДОЛЖНЫ ИСПЫТЫВАТЬ БОЛЬШОГО ВЛИЯНИЯ.

ИТАК, НАЧНЁМ.
ГРОМЫХ

КРУТЬ
КРУТЬ

ОГО!
ОНИ НЕМНОГО ОТКЛОНИЛИСЬ, НО ВСЕ ДОСТИГЛИ ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ СТОРОНЫ!

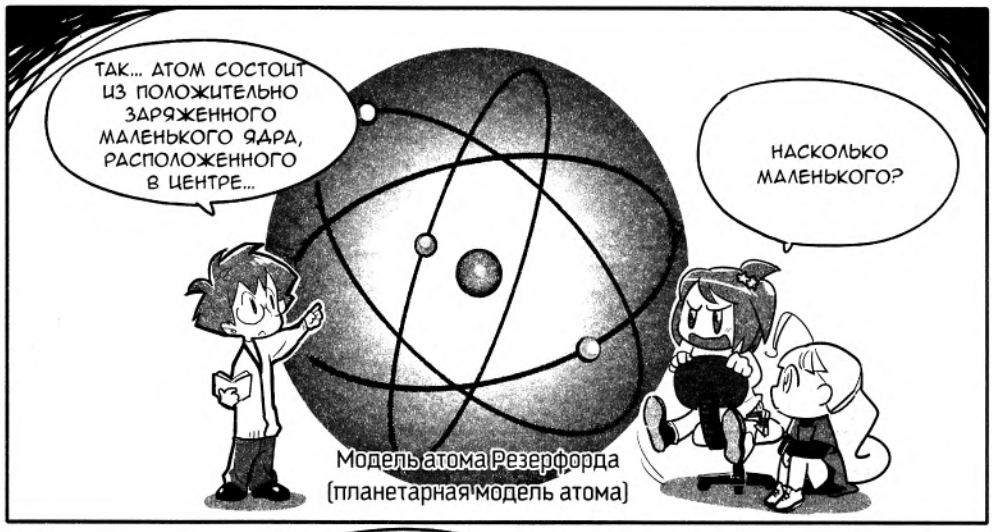

НУ ЧТО, ПОНЯТНО? В МОДЕЛИ АТОМА ТОМСОНА РАССЕЯНИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ НЕ ПРОИСХОДИТ.
ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА ВПЕРВЫЕ ПОКАЗАЛ НАЛИЧИЕ АТОМНОГО ЯДРА.

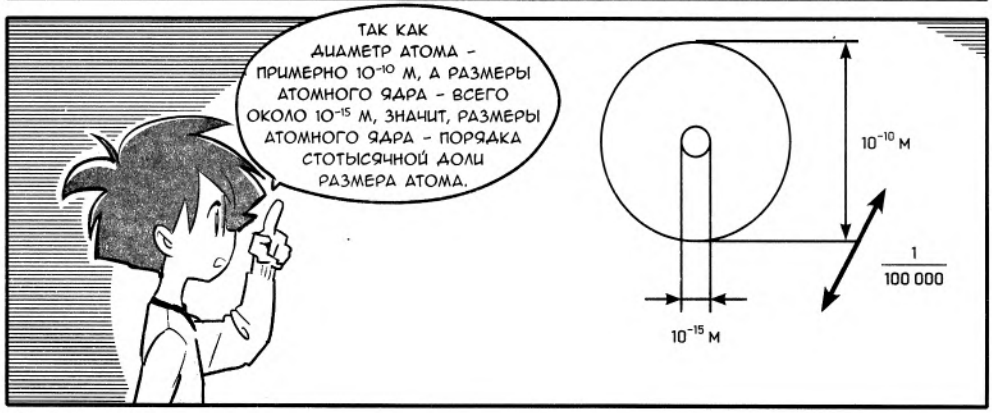
СЧИТАЕТСЯ, ЧТО ЭТО ЗАСТАВИЛО РЕЗЕРФОРДА ВСПОМНИТЬ ОБ АТОМНОЙ МОДЕЛИ НАГАОКА ХАНТАРО.

В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЛУЧИЛАСЬ МОДЕЛЬ АТОМА РЕЗЕРФОРДА, ИЛИ ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ.
НЕ ТАК ЛИ, КУБИ-СЭНС...?

САНУКИ-СЭНСЭЙ, ДАВАЙТЕ ПРОДОЛЖИМ ПАРТИЮ, КОТОРУЮ МЫ НАЧАЛИ ДО ВАШЕГО ОТЪЕЗДА.
ХОРОШО, ДАВАЙТЕ.
СЭ...

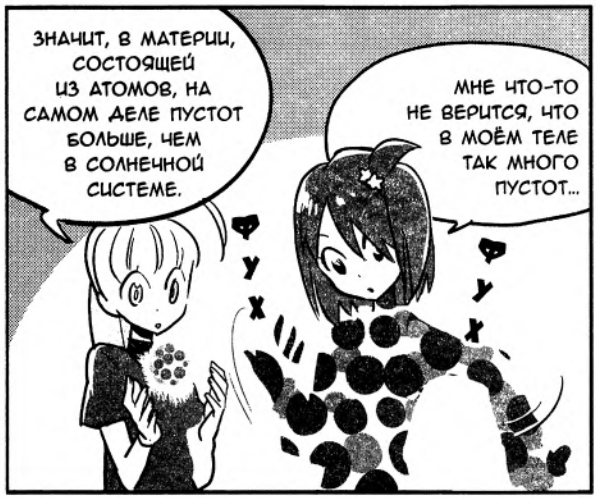
КАНТА, ПОУЧИ ИХ ВМЕСТО МЕНЯ.
ЧТО?


ТАК... АТОМ СОСТОИТ ИЗ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОГО МАЛЕНЬКОГО ЯДРА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ЦЕНТРЕ...
НАСКОЛЬКО МАЛЕНЬКОГО?
Модель атома Резерфорда
(планетарная модель атома)

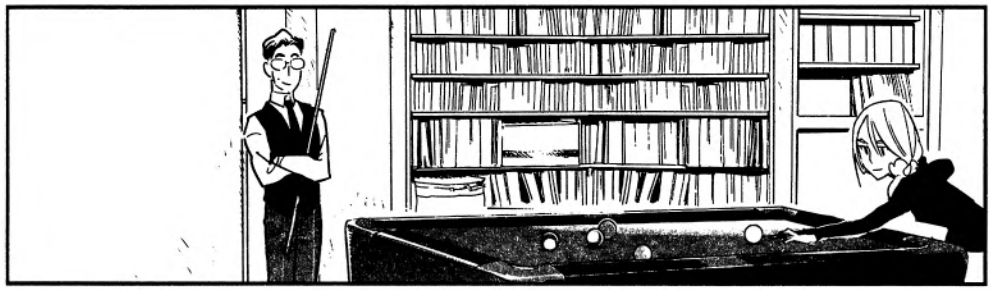

ТАК КАК ДИАМЕТР АТОМА – ПРИМЕРНО 10^{-10} М, А РАЗМЕРЫ АТОМНОГО ЯДРА – ВСЕГО ОКОЛО 10^{-15} М, ЗНАЧИТ, РАЗМЕРЫ АТОМНОГО ЯДРА – ПОРЯДКА СТОТЫСЯЧНОЙ ДОЛИ РАЗМЕРА АТОМА.
10^{-10} М
$\frac{1}{100\,000}$
10^{-15} М

ЭТО УЖЕ НЕ САТУРНИАНСКАЯ МОДЕЛЬ. БОЛЬШЕ НАПОМИНАЕТ СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ.

ДИАМЕТР СОЛНЦА СОСТАВЛЯЕТ ПРИМЕРНО 1/200 ДИАМЕТРА ОРБИТЫ ЗЕМЛИ.
И ДАЖЕ ДЛЯ ОРБИТЫ ПЛУТОНА, САМОЙ ДАЛЬНЕЙ ПЛАНЕТЫ, ЭТО ОТНОШЕНИЕ НИКАК НЕ МЕНЬШЕ 1/6500. ТО ЕСТЬ ПРОПОРЦИИ ЗДЕСЬ СОВЕРШЕННО ДРУГИЕ.
ВЫХОДИТ, ЧТО И ЭТО СРАВНЕНИЕ НЕУМЕСТНО
ТА-ДАМ


ЗНАЧИТ, В МАТЕРИИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ АТОМОВ, НА САМОМ ДЕЛЕ ПУСТОТ БОЛЬШЕ, ЧЕМ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ.
МНЕ ЧТО-ТО НЕ ВЕРИТСЯ, ЧТО В МОЁМ ТЕЛЕ ТАК МНОГО ПУСТОТ...
ФУХ
ФУХ

ОДНАКО, БРАТ КАНТА, О КОСМОСЕ ТЫ ГОВОРИШЬ НАМНОГО УВЕРЕННЕЕ...
ЗАТКНИСЬ! Я И ТАК УСТАЛ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ! И ДОЦЕНТ КУБИ ТАКАЯ СТРОГАЯ...



СЭНСЭЙ.
ЧТО, ЯМАНЭ?
ЧТО ТАМ С НАШИМ СПЕКТАКЛЕМ?
А ТЫ РАССМОТРЕЛА КАК СЛЕДУЕТ ТОТ МОЛОТОЧЕК?
АХ, ДА.
НА НЁМ БЫЛ РЫЧАЖОК "СТАТЬ МЕНЬШЕ", "СТАТЬ ЕЩЁ МЕНЬШЕ".
ДА, ЭТО БЫЛ МИР, В КОТОРОМ МОЖНО "СТАТЬ МЕНЬШЕ".
?
МИР, В КОТОРОМ МОЖНО "СТАТЬ МЕНЬШЕ"?

А ТЕПЕРЬ – ГЛАВНАЯ ЧАСТЬ ИСТОРИИ.
"СТАТЬ ЕЩЁ МЕНЬШЕ"!
ТО ЕСТЬ МЕНЬШЕ АТОМА? Я... Я НЕ ОЧЕНЬ ХОРОШО ПОНИМАЮ... НО ЧТО МОГУ СДЕЛАТЬ ЛИЧНО Я?
НЕ ВОЛНУЙСЯ. ВСЕ РОЛИ УЖЕ НАЗНАЧЕНЫ.
КРУТЬ
КАК?
ЧТО, Я?
ДАДА!
ЧТО ПРОИСХОДИТ?!

Протон тоже был открыт Эрнестом Резерфордом.

В манге я рассказал, как открытие электрона привело к разгадке строения атома. Но как шли исследования атомного ядра?

Одна из частиц, составляющих атомное ядро, была открыта Резерфордом, построившим новую модель атома на основе результатов опыта по рассеянию альфа-частиц. И после этого Резерфорд продолжил обстреливать альфа-частицами разные вещества, изучая происходящие при этом реакции. Наконец, когда он облучал альфа-частицами сосуд с газообразным азотом, там появились ядра атомов водорода, хотя сосуд был герметично закрыт. В то время про ядро водорода было известно следующее:

1. Имеет положительный электрический заряд, который, по всей видимости, является элементарным, то есть минимальной порцией положительного электрического заряда материи.
2. Похоже, является одной из наименьших частиц, не поддающихся дальнейшему делению.

Эти частицы, возникшие внутри газообразного азота, несомненно, были частью ядра атома азота. Кстати, атомный номер азота равен 7, а его атомная масса – 14,0.

Обнаружив, что эта частица является не только ядром атома водорода, но и «строительным блоком» ядра другого атома – азота, Резерфорд назвал её «протоном», от греческого слова protos (первичный).

А открыл протон Резерфорд в 1919 году, через 8 лет после публикации своей модели атома.

Открытие нейтрона, или Упущенная победа

Вторая частица, составляющая атомное ядро, была открыта немного позднее. Хотя её открывателем считается английский физик Джеймс Чедвик, на самом деле весомый вклад в это внесли и другие учёные.

Ближе всего к открытию нейтрона приблизилась дочь супругов Кюри (Марии Склодовской-Кюри и Пьера Кюри) – Ирен Жолио-Кюри.

До этого уже было известно, что при бомбардировке бериллия (атомный номер 4, атомная масса 9,0) альфа-частицами возникает сильное радиоактивное излучение. К тому же эти лучи обладали очень высокой проникающей способностью – они проходили сквозь почти любое вещество, их не задерживали ни бетонные плиты, ни металлические пластины.

Если речь зашла о высокой проникающей способности, то на ум сразу приходит рентгеновское излучение, открытое в 1895 году Вильгельмом Конрадом Рентгеном. Естественно, вначале подозревали, что это излучение сродни рентгеновскому и, может быть, является γ(гамма)-излучением, тоже имеющим электромагнитную природу и близким к рентгеновскому по длине волны.

Супруги Жолио-Кюри, решив проверить это, продолжили эксперименты: направив загадочное излучение на такое водородосодержащее вещество, как парафин, они обнаружили испускание протонов с высокими энергиями.

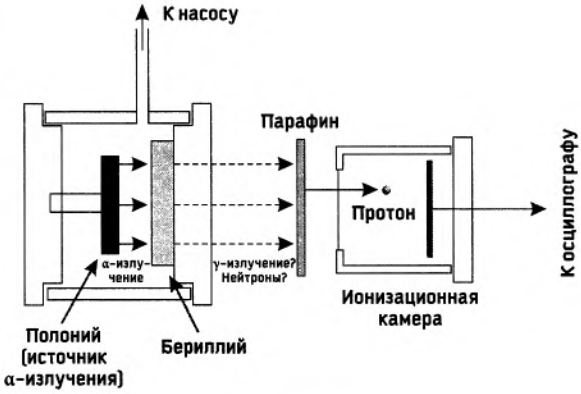


Схема опыта, в котором были обнаружены нейтроны

Раз протоны отскакивают, любитель бильярда на их месте подумал бы: «Наверное, это частицы, по массе равные протонам или тяжелее их», но супруги Жолио-Кюри допустили большую ошибку. Они не смогли полностью отмести версию γ-излучения и опубликовали доклад: «Возможно, это частицы γ-излучения с высокими энергиями».

В будущей главе я остановлюсь на этом подробнее, но в 1920-х годах в физике была очень популярна квантовая теория фотоэффекта Альберта Эйнштейна, согласно которой свет (электромагнитная волна) обладает также корпускулярными свойствами. И похоже, что супруги Жолио-Кюри тоже слишком увлеклись этой теорией, но, к сожалению, она привела их к ошибочным выводам. Рассуждай они проще – и лавры открытия нейтрона достались бы им. Это можно сравнить с футбольным нападающим, который подводит мяч почти вплотную к воротам, но в итоге промахивается.

Пролетевший мимо ворот мяч был сразу же подхвачен Чедвиком. Он внимательно изучил работы супругов Жолио-Кюри и поставил такой же эксперимент. Заново рассмотрев результаты, он заключил: «Это не γ-излучение, а нейтральная частица, по массе примерно равная протону», и дал ей имя «нейтрон». Это произошло в 1932 году, через год после открытия супругами Жолио-Кюри данного явления.

Однако хотя супруги Жолио-Кюри, Ирен и Фредерик, не смогли победить в гонке преследования нейтрона, их исследования искусственных радиоактивных изотопов были отмечены Нобелевской премией, полученной ими вдвоём в 1935 году. Кроме того, Ирен была статс-секретарём по научно-исследовательским делам в правительстве, профессором Парижского университета, членом Коммисариата по атомной энергии – словом, получила достаточное признание как учёный. И хотя многолетние исследования радиоактивности подорвали её здоровье (она умерла от лейкемии), невозможно переоценить вклад, который она внесла в науку благодаря исследовательскому энтузиазму, унаследованному ей от матери.

Что было раньше – атомный номер или атомная масса?

В 1930-х годах наконец-то были открыты все составные части атома – электрон, протон и нейтрон, хотя открытие подобных «кирпичиков», составляющих все атомы,

прогнозировалось уже начиная с 1869 года, когда Дмитрий Иванович Менделеев опубликовал периодическую систему.

Химические элементы в периодической системе Менделеева расположены в порядке возрастания их атомных номеров – водород, гелий, литий, бериллий и т. д. Однако в действительности атомные номера были присвоены элементам уже потом – первоначальным критерием выстраивания были атомные массы. И в работе, опубликованной Менделеевым, говорилось следующее: «Если выстроить химические элементы в порядке возрастания атомных масс, то в их свойствах почему-то прослеживается периодичность».

Атомная масса (относительная атомная масса) – это значение массы атома, выраженное в относительных единицах массы.

В настоящее время в качестве эталона атомной массы является углерод (^{12}C), но в давние времена использовался водород, а затем – кислород (^{16}O).

Атомную массу химического элемента можно узнать, например, измерив массу химического соединения, состоящего из измеряемого и эталонного веществ. Однако на заре открытия химических элементов значения атомных масс иногда приводили учёных в замешательство.

Это в меньшей степени касалось элементов, расположенных в начале периодической системы, – водорода, углерода, азота, кислорода, так как их атомные массы были целыми числами: 1, 12, 14 и 16 соответственно. И хотя в действительности они не целые, в ту эпоху погрешности техники измерения позволяли считать их таковыми. Можно представить себе такой диалог в лаборатории того времени:

– Измерил массу азота?

– Да, получилось ровно 14.

– Красивый результат!

Однако наконец стали обнаруживаться какие-то странные элементы. Например, атомную массу хлора, равную примерно 35,453, уже невозможно подогнать под целое число никакими ухищрениями.

Дальнейшие исследования показали, что атомные массы большинства химических элементов целыми числами не являются.

Подобные результаты как-то «портили» основную концепцию периодического закона: «При выстраивании по атомным массам проявляется периодичность свойств». Ведь сам критерий выстраивания – атомная масса – оказался нецелым, то есть каким-то «некрасивым».

Беспокойство вызывала также неравномерность увеличения атомных масс: например, в последовательности «углерод → азот → кислород» массы увеличиваются как «12 → 14 → 16», но почему оказываются пропущенными числа 13 и 15? В этом, несомненно, была какая-то загадка. Но делать было нечего – элементы расположили в порядке увеличения их атомных масс и присвоили им порядковые номера для наглядности. Эти порядковые номера впоследствии и станут атомными номерами.

Другими словами, первой была атомная масса*, а атомный номер был присвоен каждому элементу позднее, согласно его расположению в периодической системе. О том, что атомный номер равен количеству протонов или электронов данного атома, узнали только потом.

Причина нецелости многих атомных масс заключается в существовании изотопов, о которых вам, наверное, рассказывали на уроках химии. Например, в ядре атома хлора, атомный номер которого равен 17, содержится 17 протонов, однако число нейтронов может быть равным 18, 19 или 20, то есть существует три вида ядер. Кстати, сумму протонов и нейтронов, содержащихся в атомном ядре, называют его «массовым числом», которое записывают сверху слева от буквенного обозначения элемента. Например, изотопы хлора записываются как ^{35}Cl, ^{36}Cl, ^{37}Cl.

Из них ^{35}Cl, ^{37}Cl являются устойчивыми – в природе содержится 75,77% ^{35}Cl и 24,23% ^{37}Cl. Что касается ^{36}Cl, его доля в изотопном отношении равна 0%, так как он быстро распадается.

Именно по этой причине атомная масса хлора оказывается нецелым числом, ведь это средневзвешенное значение массовых чисел двух стабильных изотопов: ^{35}Cl и ^{37}Cl.

Это трудное определение – элементарная частица

Так как наш рассказ достиг уже электрона, протона и нейтрона, остановлюсь вкратце и на элементарной частице.

Элементарная частица – это минимальная составляющая материи. Не стоит и говорить, что целью исследований атома был поиск элементарной частицы.

Однако потом выяснилось, что атом не является неделимым. С тех пор продолжается неразбериха, когда частицы, считавшиеся элементарными, одна за другой исключаются из кандидатов на это звание.

Элементарные частицы, переносящие взаимодействия

Бозе-частицы (бозоны)	**Калибровочные бозоны** Частицы, переносящие взаимодействия (силы), существующие между элементарными частицами	**Фотон** Переносит электромагнитное взаимодействие
		Промежуточные векторые бозоны (3 типа) Переносят слабое взаимодействие*1
		Глюоны (8 типов) Переносят сильное взаимодействие*2
		Гравитон (неоткрытая частица) Переносит гравитационное взаимодействие
	Бозон Хиггса	Неоткрытная частица. Придаёт элементарным частицам инертную массу

*1 Слабое взаимодействие – отвечает за распад элементарных частиц. Типичным примером является бета-распад, при котором атомное ядро испускает бета-частицу (электрон или позитрон).

*2 Сильное взаимодействие – связывает нуклоны в атомном ядре, участвует в процессах образования и рассеяния элементарных частиц.

* «Атомная масса» и «массовое число» – почти аналогичные понятия. Стандартная атомная масса является средневзвешенным значением, при расчёте которого в качестве весовых коэффициентов используют изотопное отношение.

Элементарные частицы, составляющие материю

			Поколения	Электрический заряд
Фермионы	Лептоны	Электрон (e)	Первое	–1
		Мюон (μ)	Второе	–1
		Тау-лептон (τ)	Третье	–1
		Электронное нейтрино (ν_e)	Первое	0
		Мюонное нейтрино (ν_μ)	Второе	0
		Тау-нейтрино (ν_τ)	Третье	0
	Кварки	Верхний кварк (u)	Первое	2/3
		Очарованный кварк (c)	Второе	2/3
		Истинный кварк (t)	Третье	2/3
		Нижний кварк (d)	Первое	–1/3
		Странный кварк (s)	Второе	–1/3
		Прелестный кварк (b)	Третье	–1/3

И в настоящее время «поиск истинной элементарной частицы» продолжает оставаться горячей темой, и поскольку эту тему мне было трудно осветить в манге, вкратце опишу её здесь.

В современной квантовой механике считается, что «силы»: внутриатомные, электромагнитные, гравитационные – возникают в результате обмена элементарными частицами, которые называются бозе-частицами (бозонами).

Электрон в настоящее время считается элементарной частицей, однако о протоне и нейтроне известно, что у них есть внутренняя структура, поэтому, если быть точным, элементарными частицами они не являются. Правда, из-за некоторой расплывчатости понятий в некоторых книгах протон и нейтрон могут относиться к элементарным частицам.

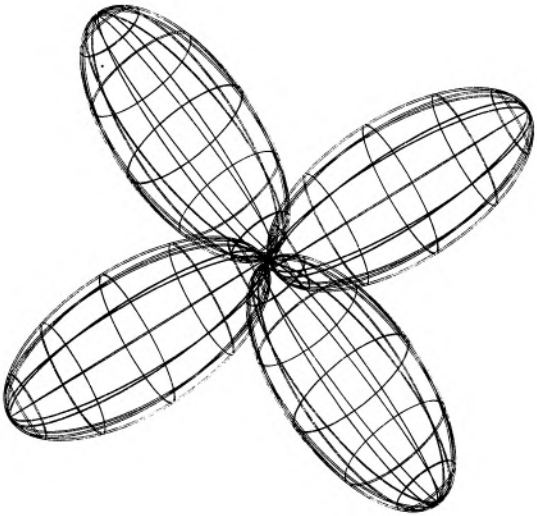
В настоящее время многие физики считают, что «составляющими материю частицами» являются кварки и лептоны (их общее название – фермионы), приведённые в таблице.

При взгляде на эти таблицы бозонов и фермионов у меня создаётся впечатление, что частиц стало слишком много, по сравнению с эпохой «электрона, протона и нейтрона», поэтому изучать их стало слишком утомительно. Но похоже, что такое разнообразие помогает лучше описать строение атома и в особенности процесс образования материи.

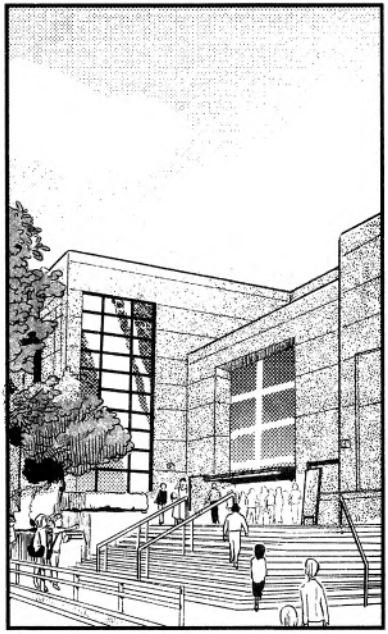
Кроме того, в последнее время популярна «Теория суперструн» (стр. 211), в которой все эти частицы рассматриваются как колебания «струн» конечной длины. Другими словами, окончательный вывод о том, что является элементарной частицей, ещё не сделан.

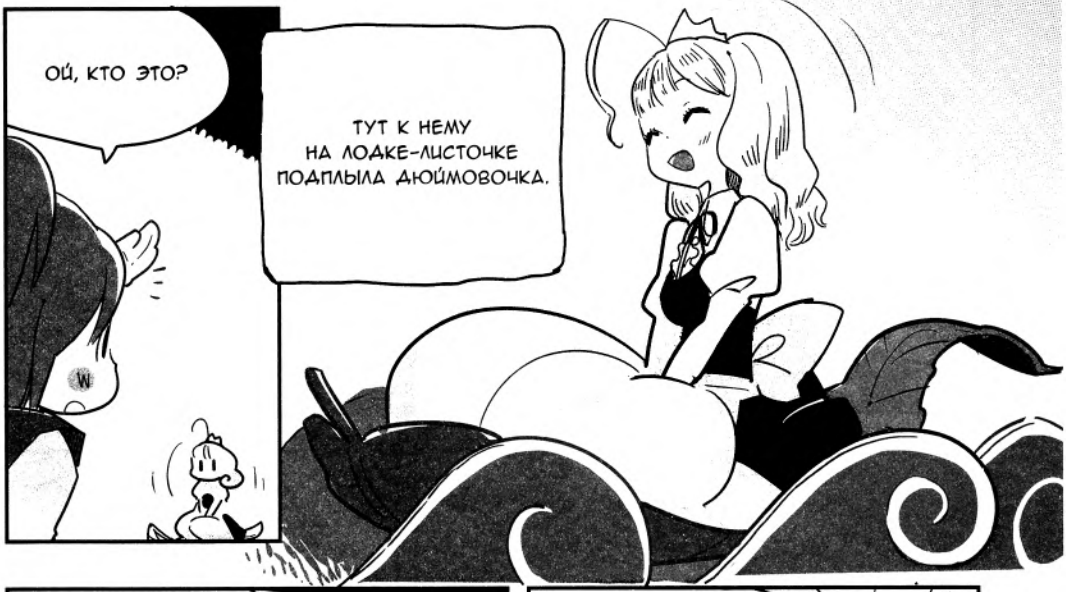
ГЛАВА 4

БЕЗ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ АТОМЫ СЛОМАЛИСЬ БЫ

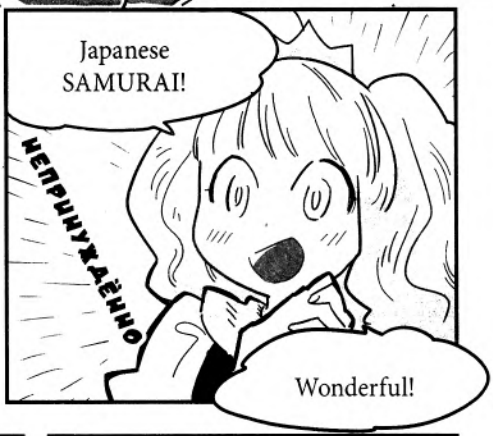


4.1. СТРОЕНИЕ АТОМОВ И ВРАЩЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ – РАЗНЫЕ ВЕЩИ



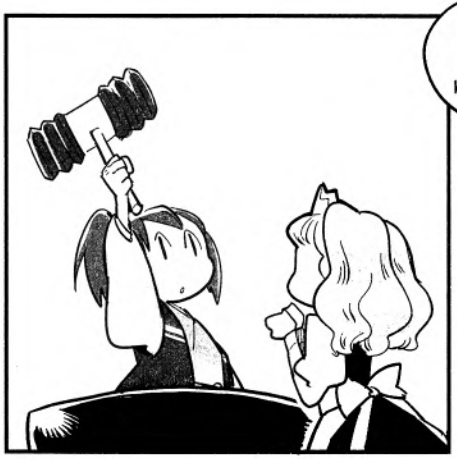

ОЙ, КТО ЭТО?
ТУТ К НЕМУ НА ЛОДКЕ-ЛИСТОЧКЕ ПОДПЛЫЛА ДЮЙМОВОЧКА.

ВАШ РОСТ МНЕ ПО ДУШЕ. КАК ВАШЕ ИМЯ? Я ИССУМБОСИ.
ФШ...


Japanese SAMURAI!
НЕПРИЧУХДЁННО
Wonderful!

АХ, ВЫ ИНОСТРАНКА? ПОДОЖДИТЕ НЕМНОГО.
Я ПРИНЕСУ ЭЛЕКТРОННЫЙ ПЕРЕВОДЧИК...

ТА-ДАМ!

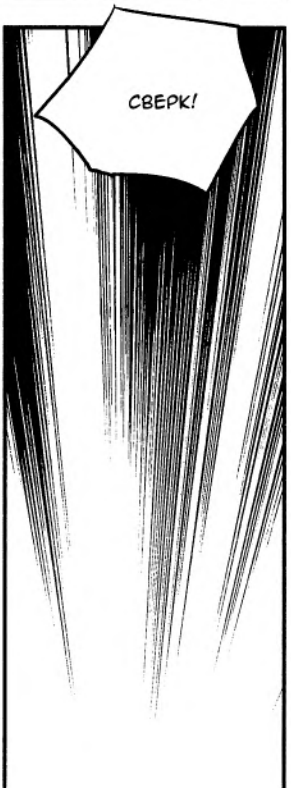


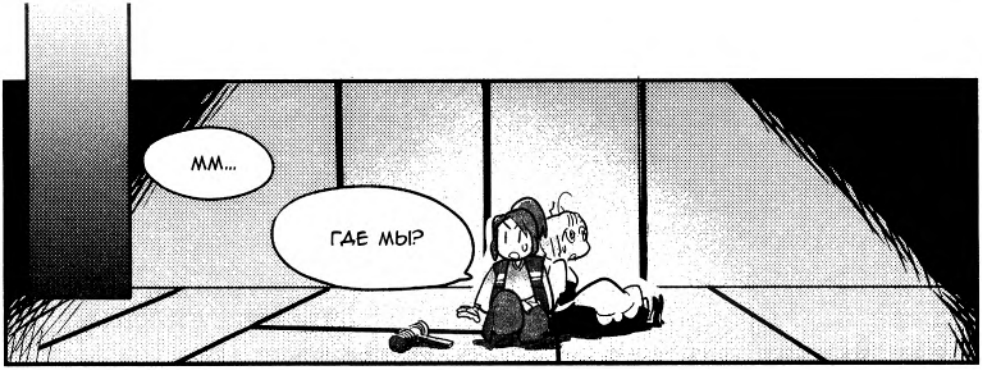
НЕТ, ЭТОТ МОЛОТОЧЕК Я ОТНЯЛ У ДЕМОНА, КОТОРОГО ТОЛЬКО ЧТО ОДОЛЕЛ.
ОГО! ЭТО ТРАДИЦИОННЫЙ ЯПОНСКИЙ МОЛОТОЧЕК?

ХОЧЕШЬ, Я ВЗМАХНУ ИМ? ДЛЯ МЕНЯ ЭТО ПАРА ПУСТЯКОВ.

ВОТ!

НУЖНО СКАЗАТЬ, ЧТО НА МОЛОТОЧКЕ ИССУМБОСИ БЫЛА НАДПИСЬ "СТАТЬ МЕНЬШЕ".
К СОЖАЛЕНИЮ, ОН БЫЛ НЕ ИЗ ТЕХ, КТО ОБРАЩАЕТ ВНИМАНИЕ НА ТАКИЕ МЕЛОЧИ!


СВЕРК!


ММ...
ГДЕ МЫ?

ТУТ ЧТО-ТО СТРАННОЕ?
ЭТО ДЕМОН!
КЛАЦ!

НЕТ, ЭТО НЕ ДЕМОН.

СОГЛАСНО МОДЕЛИ АТОМА, НЕДАВНО ОПУБЛИКОВАННОЙ АНГЛИЙСКИМ ФИЗИКОМ РЕЗЕРФОРДОМ,
ВСЕ ВЕЩИ В МИРЕ СОСТОЯТ ИЗ ТАКИХ ЧАСТЕЙ.
Полевая мышь

ДА? А КАКАЯ СЕЙЧАС ЭПОХА?
СЕЙЧАС 1911 ГОД. ПО ЯПОНСКОМУ СТИЛЮ – 44 ГОД ЭПОХИ МЭЙДЗИ.

ЗНАЧИТ, ЭТОТ МОЛОТОЧЕК – ЕЩЁ И МАШИНА ВРЕМЕНИ? К ТОМУ ЖЕ Я СТАЛ ПОНИМАТЬ ЭТУ ДЕВУШКУ, ХОТЯ ОНА ИНОСТРАНКА.

ЭТОТ МИСТЕР АТОМ КАКОЙ-ТО СТРАННЫЙ?
СТРАННЫЙ?
ЯДРО СОСТОИТ ИЗ 6 ПРОТОНОВ И 6 НЕЙТРОНОВ, ЗНАЧИТ, ЭТО – УГЛЕРОД.
А ЕСЛИ ТАК, ТО ДОЛЖНО БЫТЬ ЕЩЁ 6 ЭЛЕКТРОНОВ.
В САМОМ ДЕЛЕ, ЕСЛИ ЕСТЬ 6 ПРОТОНОВ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЗАРЯДОМ, ТО ДОЛЖНО БЫТЬ СТОЛЬКО ЖЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ. ИНАЧЕ НЕ БУДЕТ БАЛАНСА.
ТЫ ТОЖЕ БУДЕШЬ ПОМОГАТЬ КРУТИТЬ ЭЛЕКТРОНЫ.
ВОТ ТЕПЕРЬ АТОМ ГОТОВ!
ВДВОЁМ МЫ СПРАВИМСЯ!
ШШУУ...
ПОДОЖДИТЕ!
КТО ТЫ?!

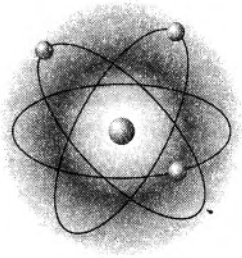
[Для сведения: считается, что кремовый пудинг пришёл в Японию в середине эпохи Мэйдзи (1868–1912 гг.)]

НО НА САМОМ ДЕЛЕ ЭТО НЕ ТАК!
ЧТО?!!
НЕ ВРИ! В БОЛЬШИНСТВЕ КНИГ АТОМ ИЗОБРАЖАЕТСЯ ИМЕННО ТАК!
ВОТ!
СМОТРИ!
ЭТО – ЗАБЛУЖДЕНИЕ! ЭЛЕКТРОНЫ В АТОМЕ ДВИЖУТСЯ СОВСЕМ НЕ ТАК, КАК ПЛАНЕТЫ ВОКРУГ СОЛНЦА.
ЧТОБЫ ЛУЧШЕ ПОНЯТЬ, ПОСЛУШАЙТЕ ЭТОГО ЧЕЛОВЕКА.
ТА-ДАМ!

Ч.2. ЭЛЕКТРОН НЕ ПАДАЕТ КАК МЯЧИК

Лекция профессора Сануки, часть 1

Модель атома Резерфорда, в которой электроны крутятся вокруг маленького ядра, сразу же приобрела популярность, наверное, потому, что напоминала привычные астрономические схемы. Она широко используется для наглядного описания даже в современной литературе, из-за чего многие люди ошибаются: «Вот как на самом деле выглядит атом!»



Модель атома Резерфорда

Для начала расскажу вам про вращение небесных тел.

Рассмотрим, например, Солнечную систему. Если бы исчезли силы, действующие между расположенным в центре Солнцем (неподвижной звездой) и вращающимися вокруг него планетами, то все планеты прекратили бы вращение, начав двигаться равномерно и прямолинейно. Однако силой гравитации планеты притягиваются к Солнцу и продолжают вращение по определённым орбитам.

Вращение планеты

Однако это равновесие не является слишком устойчивым. Конечно, это не значит, что наша Земля может в любой момент сойти со своей орбиты, однако во Вселенной нарушение равновесия – довольно распространённое явление. Например, часты случаи, когда малые небесные тела, поддавшись гравитации, падают на неподвижные звёзды или на планеты.

Можно привести и более близкий пример.

Брошенный мячик на картинке слева вначале летит параллельно земной поверхности, как и искусственные спутники Земли. Однако скорость мячика меньше скорости спутников (первой космической, или круговой, скорости – около 7,9 км/с относительно поверхности Земли), поэтому он быстро падает вниз. Правда, даже если вы придадите мячику первую космическую скорость, вблизи поверхности Земли он сразу же замедлится из-за сопротивления воздуха.

Полёт мячика

Итак, продолжим изучать модель атома Резерфорда. Он считал, что структура атома поддерживается благодаря равновесию следующих двух сил:

1) **электростатическое притяжение между отрицательно заряженным электроном и положительно заряженным ядром;**
2) **центробежная сила, возникающая в результате вращения электрона вокруг ядра.**

Подобная модель, на первый взгляд, выглядит правильной, так как напоминает принцип вращения планет. Однако оставалось одно сомнение.

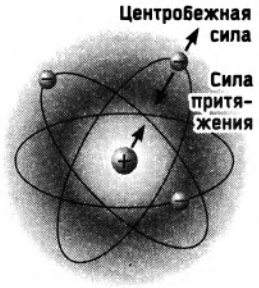
Как я уже отметил, иногда вращение планет прекращается из-за нарушения равновесия между силой притяжения и центробежной силой. О частоте такого явления говорит, например, большое число кратеров на Луне – следов падения на неё небесных тел, потерявших равновесие.

Однако для атомов, которых во Вселенной громадное количество, подобное явление не наблюдалось ни в далёком прошлом, ни сейчас.

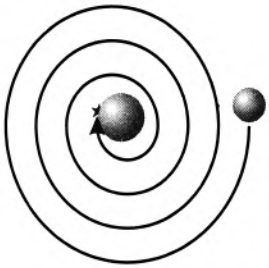
Если бы электроны в атомах сталкивались с ядрами, то атомы теряли бы форму и ломались – могло бы происходить саморазрушение материи, состоящей из атомов.

Однако окружающие нас вещества сохраняют устойчивость долгое время. Нет никаких наблюдений, указывающих на столкновения электронов с ядрами, не удаётся найти «мёртвые атомы».

Модель атома Резерфорда, отражающая экспериментально определённые размеры атомного ядра, должна быть достаточно близка к истине. Однако почему же атомы не ломаются? Это было самой большой проблемой, мучившей физиков той эпохи.

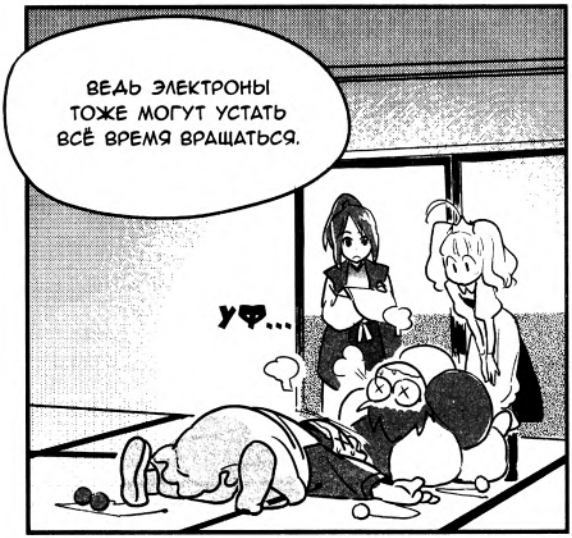


Идея Резерфорда



Столкновение электрона с ядром в атоме

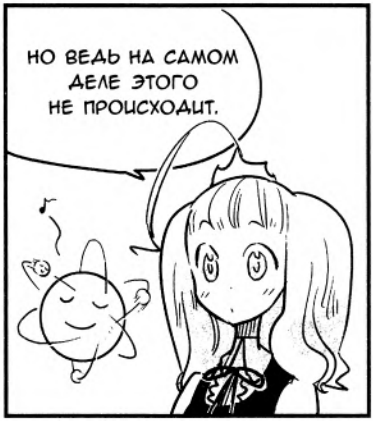
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МОДЕЛИ РЕЗЕРФОРДА НЕВОЗМОЖНО ОБЪЯСНИТЬ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ.
ДА, ПОХОЖЕ.


ВЕДЬ ЭЛЕКТРОНЫ ТОЖЕ МОГУТ УСТАТЬ ВСЁ ВРЕМЯ ВРАЩАТЬСЯ.
УФ...

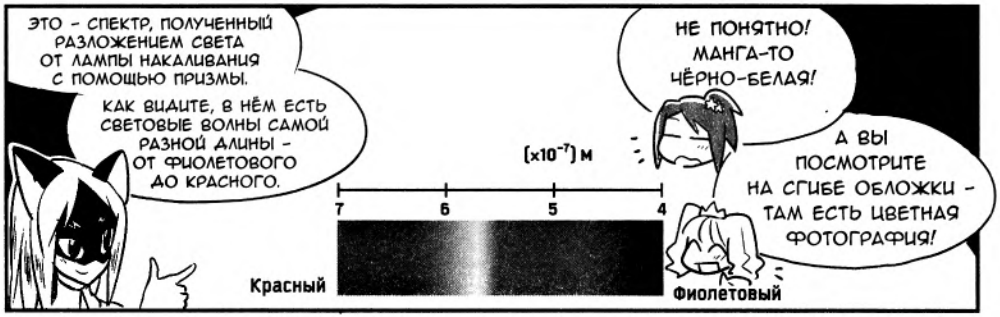
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, СОГЛАСНО ПРЕЖНЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ, ЭЛЕКТРОНЫ ДОЛЖНЫ УСТАВАТЬ ОЧЕНЬ БЫСТРО.

ЧТО?!
А У ТЕБЯ НА ГУБАХ СОУС КАРРИ!
ЧЕГО ОНИ ОБЩАЛИСЬ? Я ЖЕ ПРОСТО ПОМУТИЛА.

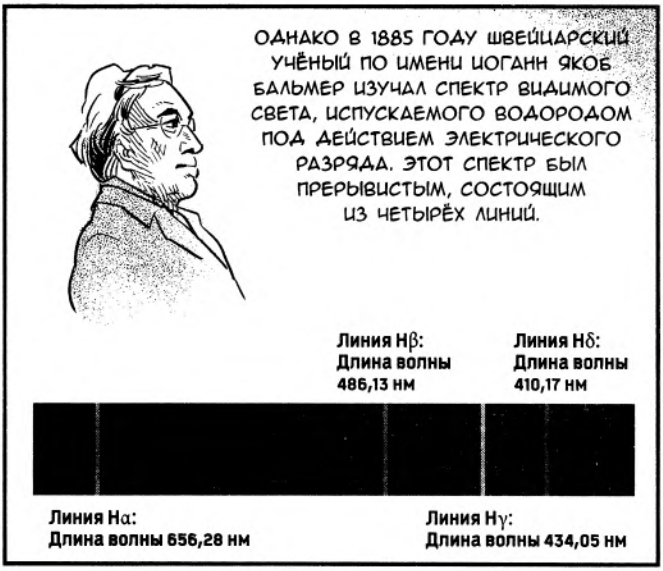
СОГЛАСНО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ – ОДНОМУ ИЗ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ФИЗИКИ, КОЛЕБЛЮЩАЯСЯ ЗАРЯЖЕННАЯ ЧАСТИЦА ИЗЛУЧАЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ТАК КАК ВРАЩЕНИЕ – ЭТО ТОЖЕ КОЛЕБАНИЕ, ТО ВРАЩАЮЩИЙСЯ ЭЛЕКТРОН ДОЛЖЕН ВСЁ ВРЕМЯ ИЗЛУЧАТЬ СВЕТ И ДРУГИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ, ТЕРЯЯ ПРИ ЭТОМ ЭНЕРГИЮ ДВИЖЕНИЯ.
ЗНАЧИТ, ЭЛЕКТРОН НАЧНЁТ ПРИБЛИЖАТЬСЯ К ЯДРУ И ОЧЕНЬ СКОРО (ПРИМЕРНО ЗА СТОМИЛЛИАРДНУЮ ДОЛЮ СЕКУНДЫ) УПАДЁТ НА НЕГО.


НО ВЕДЬ НА САМОМ ДЕЛЕ ЭТОГО НЕ ПРОИСХОДИТ.

ДА, ВИДИМО, ЭЛЕКТРОНЫ БОЛЕЕ ВЫНОСЛИВЫ, ЧЕМ ЭТИ ДВОЕ.
ТЕПЕРЬ ВЗГЛЯНИТЕ ВОТ НА ЭТО...
УФ...
ГРР...


ЭТО – СПЕКТР, ПОЛУЧЕННЫЙ РАЗЛОЖЕНИЕМ СВЕТА ОТ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИЗМЫ.
КАК ВИДИТЕ, В НЁМ ЕСТЬ СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ САМОЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ – ОТ ФИОЛЕТОВОГО ДО КРАСНОГО.
НЕ ПОНЯТНО! МАНГА-ТО ЧЁРНО-БЕЛАЯ!
А ВЫ ПОСМОТРИТЕ НА СГИБЕ ОБЛОЖКИ – ТАМ ЕСТЬ ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ!
(×10⁻⁷) м
7
6
5
4
Красный
Фиолетовый

ХОТЯ ГОВОРЯТ, ЧТО РАДУГА СОСТОИТ ИЗ СЕМИ ЦВЕТОВ, НО НА САМОМ ДЕЛЕ ДЛИНЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН В НЕЙ ИЗМЕНЯЮТСЯ НЕПРЕРЫВНО.


ОДНАКО В 1885 ГОДУ ШВЕЙЦАРСКИЙ УЧЁНЫЙ ПО ИМЕНИ ИОГАНН ЯКОБ БАЛЬМЕР ИЗУЧАЛ СПЕКТР ВИДИМОГО СВЕТА, ИСПУСКАЕМОГО ВОДОРОДОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА. ЭТОТ СПЕКТР БЫЛ ПРЕРЫВИСТЫМ, СОСТОЯЩИМ ИЗ ЧЕТЫРЁХ ЛИНИЙ.
Линия Hβ: Длина волны 486,13 нм
Линия Hδ: Длина волны 410,17 нм
Линия Hα: Длина волны 656,28 нм
Линия Hγ: Длина волны 434,05 нм

ЗНАЧИТ, ИЗЛУЧАЮТСЯ ТОЛЬКО ОПРЕДЕЛЁННЫЕ ДЛИНЫ ВОЛН?
К ТОМУ ЖЕ В ИХ РАСПОЛОЖЕНИИ, ПОХОЖЕ, ЕСТЬ КАКАЯ-ТО ЗАКОНОМЕРНОСТЬ.
ДА, ТЫ ХОРОШО ЗАМЕТИЛА. БАЛЬМЕР БЫЛ УЧИТЕЛЕМ МАТЕМАТИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ, ПОЭТОМУ ОН ИЗО ВСЕХ СИЛ ПЫТАЛСЯ НАЙТИ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ, СВЯЗЫВАЮЩУЮ ЭТИ 4 ДЛИНЫ ВОЛНЫ.
И У НЕГО ПОЛУЧИЛАСЬ СЛЕДУЮЩАЯ ФОРМУЛА.
$$\lambda = f \times \frac{n^2}{n^2 - 4}$$
λ: длина волны линии спектра f: 364,56 нм (постоянная)
n: целые числа 3, 4, 5, 6
Например, при n = 3 мы получим $364{,}56 \times \frac{9}{5}$ = 656,2 нм,
что соответствует экспериментально полученной длине волны 656,28 нм
ДА, КРАСИВАЯ ФОРМУЛА.
КАК ХОРОШО, ЧТО БАЛЬМЕР БЫЛ СИЛЁН В МАТЕМАТИКЕ.
ОДНАКО БАЛЬМЕРУ ПОТРЕБОВАЛОСЬ ЦЕЛЫХ 10 ЛЕТ, ЧТОБЫ НАЙТИ ЭТУ ФОРМУЛУ, – ОН НАЧАЛ В 50 ЛЕТ, А ЗАКОНЧИЛ В 60.
ВОТ ЭТО ДА!
ДЁРГ!
ЭТО ДОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ПРОГРЕСС В НАУКЕ ЗАВИСИТ ТАКЖЕ ОТ ЛЮДЕЙ, УМЕЮЩИХ ТЕРПЕЛИВО РАБОТАТЬ.

* В оригинале идет непереводимая игра слов.

Лекция профессора Сануки, часть 2

Первым делом Бор предположил, что орбиты электронов могут находиться только в местах атома, соответствующих определённым энергетическим состояниям. Эти орбиты можно представить как систему концентрических окружностей с атомным ядром в центре. Чем ближе орбита к центру, тем энергия ниже, а на внешних орбитах она, наоборот, выше. При этом для радиусов концентрических окружностей выполняется отношение:

$$\frac{r_n}{r_1} = n^2 \quad (n = 1, 2, 3 \ldots, r_1 = 0.529\times10^{-10}\ [\text{м}]).$$

Как видно из формулы, это отношение может принимать только дискретные значения, равные квадрату целого числа. Кроме того, каждой орбите соответствует энергия E_n электрона, имеющая отрицательный знак и обратно пропорциональная радиусу орбиты по величине. Так как эта энергия обратно пропорциональна также и n^2, это называют дискретностью энергетических уровней электрона. Дискретность означает прерывистость, то есть наличие промежутков между значениями.

Бор пришёл к этой идее под действием одной подсказки. Этой подсказкой была формула Планка, описывающая спектр «излучения абсолютно чёрного тела», которую Макс Планк опубликовал в 1900 году. Абсолютно чёрное тело – это гипотетическое тело, поверхность которого поглощает всю падающую на неё энергию электромагнитного излучения, ничего при этом не отражая, и может повторно излучать 100% поглощённой энергии в окружающее пространство. Спектр излучаемой абсолютно чёрным телом энергии имеет особую форму, зависящую от его температуры. Таким телом можно считать маленькое отверстие, проделанное в доменной печи. Во-первых, свет (тепловая энергия) свободно проходит через него в обоих направлениях, не отражаясь. Во-вторых, исходящее из этого отверстия излучение, так называемое «излучение полости», имеет спектр абсолютно чёрного тела. Вывод формулы, верно описывающей спектр этого «излучения полости», был в то время одной из главных задач физики, за которую брались многие исследователи, но никто из них не добился результата. Решить эту непростую задачу удалось только Планку.

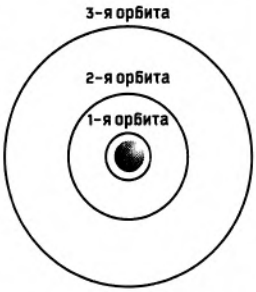
Он предположил, что энергия излучения волны с частотой ν («ню») – одной из электромагнитных волн, заполняющих полость (доменную печь), – может принимать лишь кратные $h\nu$ значения*. То есть:

$$E_n = nh\nu \quad (n = 0, 1, 2, 3 \ldots).$$

(Энергия излучения) = (Целое число) × (Постоянная Планка) × (Частота колебания).

* Это называется «Квантовой гипотезой Планка».

Естественно было предположить, что для больших значений n количество мод (стоячих электромагнитных волн, существующих внутри доменной печи) должно быть меньше.



Модель атома Бора 1

Планк предположил, что это количество мод подчиняется распределению Больцмана $Ke^{-nh\nu/k_BT}$, (где K – константа), которое используется, например, для поиска распределения молекул газа по скоростям. Далее он просуммировал все члены $Ke^{-nh\nu/k_BT}$ от $n = 0$ до $n = \infty$ и определил, что на частоте ν с единичной площадки абсолютно чёрного тела (например, с поверхности отверстия в доменной печи) в единицу времени излучается следующая тепловая энергия:

$$F_\nu = \frac{2\pi}{c^2}\frac{h\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_BT}} - 1}.$$

где e – основание натурального логарифма; k_B – постоянная Больцмана; c – скорость света; h – постоянная Планка; T – абсолютная температура внутри полости или на поверхности абсолютно чёрного тела.

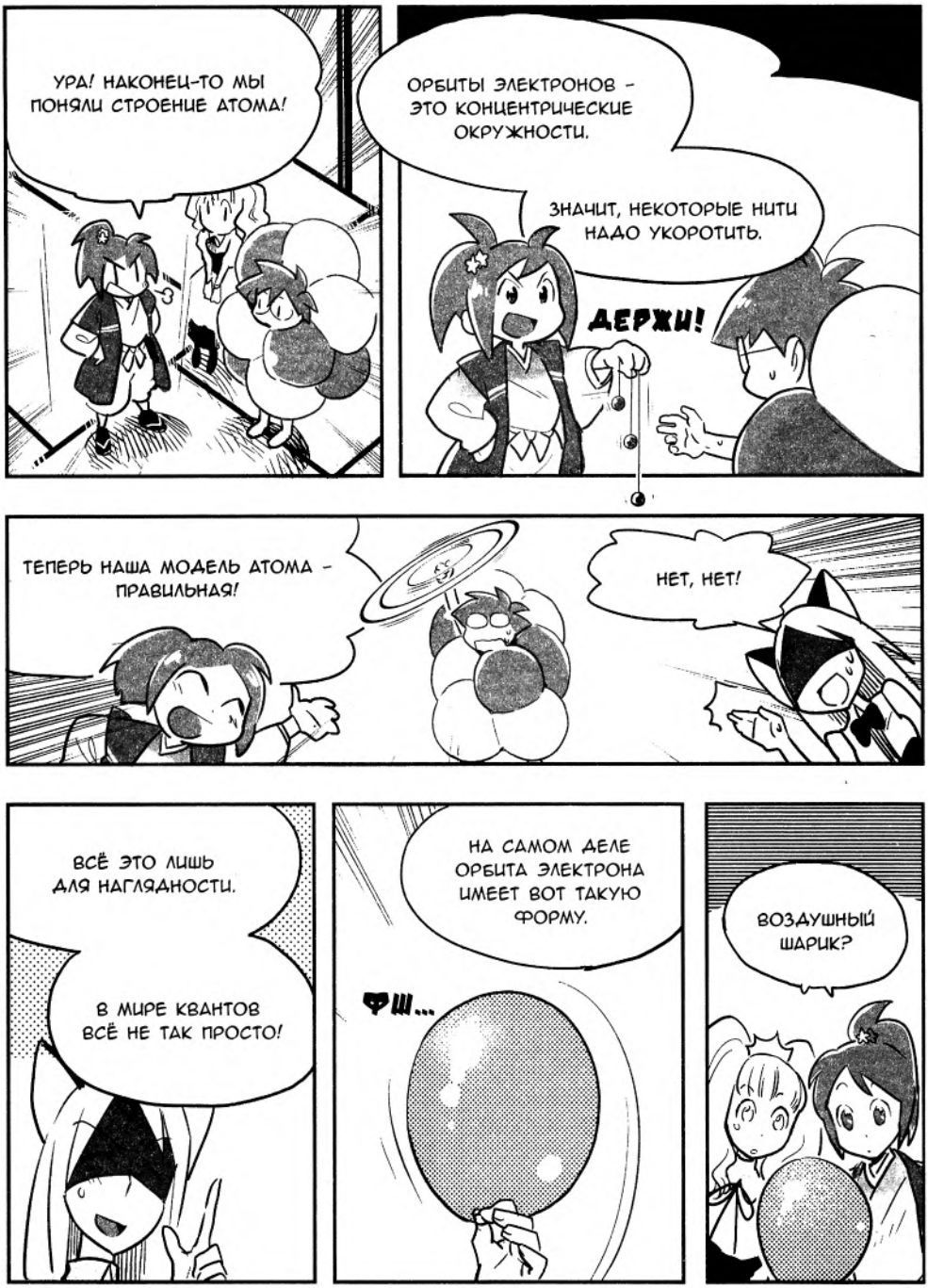
Оказалось, что эта формула очень точно описывает наблюдаемый спектр абсолютно чёрного тела. Сейчас это выражение называют формулой Планка (график приведён на стр. 139).

Говорят, что свою формулу Планк написал «интуитивно», а затем вывел её вышеописанным способом. Однако хорошее соответствие с полученными в эксперименте значениями говорило о приемлемости квантовой гипотезы – обмен энергией излучения происходит минимальными порциями $h\nu$ (квантами). И эта его идея стала важным прологом к появлению квантовой механики.

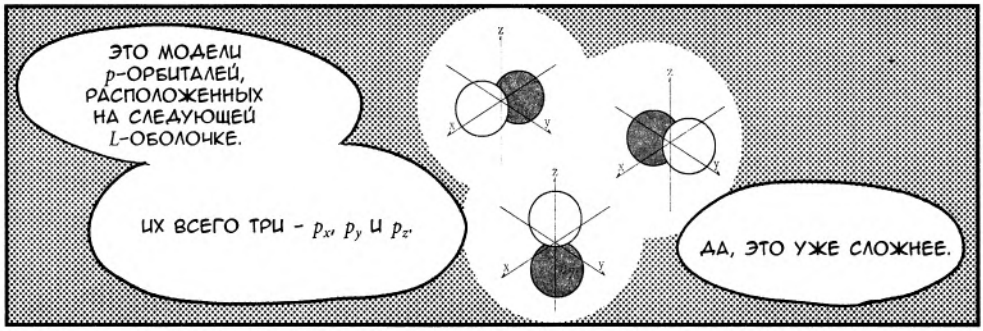
Идея Планка навела Нильса Бора на мысль – а что, если электроны тоже обладают подобными свойствами? Ведь это, может быть, позволит разгадать загадку целых чисел формулы Бальмера... На основе подобных размышлений Бор предложил модель атома с электронными орбитами, соответствующими дискретным энергетическим уровням $n = 1$, $n = 2$ и т. д. Когда атом получает энергию извне, электрон переходит на более высокий энергетический уровень, а при возврате в прежнее состояние лишняя энергия излучается.

Энергия, которую электрон излучает или испускает при переходе с орбиты на орбиту, соответствует разности этих дискретных энергетических уровней, выражаемых целыми числами. Следовательно, электрон должен поглощать и излучать энергию дискретными порциями, которые также можно выразить целыми числами. И это прекрасно объясняет закономерность для спектральных линий водорода, открытую Бальмером. Именно в этом заключалась замечательная идея Бора, открывшая новую страницу истории.

Модель атома Бора 2


УРА! НАКОНЕЦ-ТО МЫ ПОНЯЛИ СТРОЕНИЕ АТОМА!
ОРБИТЫ ЭЛЕКТРОНОВ – ЭТО КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ ОКРУЖНОСТИ.
ЗНАЧИТ, НЕКОТОРЫЕ НИТИ НАДО УКОРОТИТЬ.
ДЕРЖИ!
ТЕПЕРЬ НАША МОДЕЛЬ АТОМА – ПРАВИЛЬНАЯ!
НЕТ, НЕТ!
ВСЁ ЭТО ЛИШЬ ДЛЯ НАГЛЯДНОСТИ.
В МИРЕ КВАНТОВ ВСЁ НЕ ТАК ПРОСТО!
НА САМОМ ДЕЛЕ ОРБИТА ЭЛЕКТРОНА ИМЕЕТ ВОТ ТАКУЮ ФОРМУ.
ФШ...
ВОЗДУШНЫЙ ШАРИК?

ЭТО s-ОРБИТАЛЬ K-ОБОЛОЧКИ – САМЫЙ НИЗКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ.
Z
X
Y
ЕГО МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ КАК ШАРИК.


ЭТО МОДЕЛИ p-ОРБИТАЛЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА СЛЕДУЮЩЕЙ L-ОБОЛОЧКЕ.
ИХ ВСЕГО ТРИ – p_x, p_y И p_z.
ДА, ЭТО УЖЕ СЛОЖНЕЕ.

А ЭТО МОДЕЛИ d-ОРБИТАЛЕЙ, ПОЯВЛЯЮЩИХСЯ НА ТРЕТЬЕЙ M-ОБОЛОЧКЕ:
d_{xy}, d_{yx}, d_{zx}, $d_{x^2y^2}$, d_{x^2}
ВСЕГО ИХ ПЯТЬ.

В КНИЖКАХ НАПИСАНО СОВСЕМ ПО-ДРУГОМУ.

ХНЫК...

ДА!
ПОЛЕВАЯ МЫШЬ
ФШШ
Мышь Полевая
ФШШ
ФШШ

ПОСТОЙ... КАНТА, МОЖЕТ, УЖЕ ХВАТИТ?
ФЕЕЕ
ФХ
НЕТ, Я ЕЩЁ НЕ ВСЕ ШАРИКИ НАДУЛ!

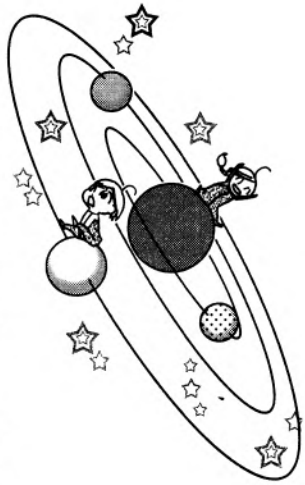
БЕЗ ПАНИКИ! ЧТОБЫ ПРИБЛИЗИТЬСЯ К ИСТИНЕ, НАДО БЫТЬ УПОРНЫМ, КАК БАЛЬМЕР!
ФШШШШШШ

ЗНАЧИТ, ОРБИТЫ ЭЛЕКТРОНА ИМЕЮТ ТАКИЕ СТРАННЫЕ ФОРМЫ?
ДА.

ОБ ЭТИХ ФОРМАХ ВЫ УЗНАЕТЕ ВО ВТОРОМ ДЕЙСТВИИ СПЕКТАКЛЯ ПОД НАЗВАНИЕМ "КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА".
ДА!

ЛАСТОЧКА, СПАСИ МЕНЯ!
ФШ...

Давайте не думать о плохом



Один из столпов физики XX века – теория относительности – была создана Эйнштейном в одиночку (хотя на самом деле были несколько человек, помогших Эйнштейну выполнить сложные математические вычисления), однако квантовая механика – это плод совместной работы множества учёных. Невозможность указать имя одного «человека-символа» квантовой механики – одна из причин её невысокой популярности. Однако если вас всё же спросят: «Кого можно назвать лидером команды исследователей квантовой механики?» – ничего не остаётся, как ответить: «Нильса Бора».

Читая работы Бора, очень трудно понять, в чём же заключается его величие. Иногда даже кажется, что его «младшие коллеги», такие как Шрёдингер и Гейзенберг, более велики, чем он сам (да и имена у них звучат посолиднее).

Если так, давайте здесь подытожим заслуги Бора. В то время когда он решил всерьёз взяться за изучение внутреннего строения атома, уже существовали следующие теории и гипотезы:

- закономерность линейчатого спектра излучения атома водорода, открытая Бальмером (серия Бальмера);
- квантовые свойства энергии, описанные Планком;
- планетарная модель атома Резерфорда, который был учителем Бора во время его стажировки в Англии.

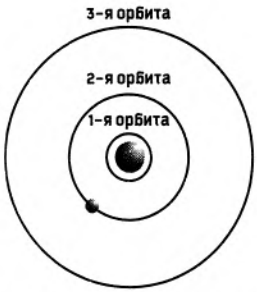
На основе этих трёх предпосылок Бор начал размышлять над моделью атома, которая была бы более убедительной. Это было в его манере – ценить размышления больше, чем даже эксперимент. Наконец, после глубокого обдумывания, в 1913 году он опубликовал «Модель атома Бора» в виде концентрических окружностей.

Однако эта модель, в определённом смысле, была просто ужасна. Ведь она так и не разрешила самую большую проблему модели Резерфорда – возможность «смерти» атомов в результате падения электронов на ядра. Кроме того, начав размышлять о механизме возникновения серии Бальмера, Бор так и не отвечает на вопрос, почему она возникает. Его позиция проста – игнорировать то, что в настоящий момент непонятно. Довольно хитрая позиция.

Однако критиковать его за это, наверное, не стоит.

Ведь новые гипотезы потому и являются новыми, что содержат идеи, которые невозможно объяснить в рамках существующих физических теорий. Новую гипотезу принимают, когда доказана её правильность: если она, например, позволяет единообразно описать более широкий круг явлений, чем существующие теории, или способна предсказывать какие-либо новые явления. В этом смысле модель атома Бора вовсе не была такой уж иррациональной.

Не великое открытие, а великая гипотеза



Модель атома Бора

Основных идей в модели атома Бора всего две.

Во-первых, это квантовое условие, выражаемое формулой:

$$2\pi r \times mv = nh,$$

где r – радиус орбиты электрона; m – масса электрона; v («вэ») – скорость электрона; n – целое число; h («ха») – постоянная Планка.

Эта формула выражает утверждение Бора о том, что в не излучающем свет атоме (водорода) импульс электрона, вращающегося по орбите длиной $2\pi r$, должен быть равен строго определённому значению, а произведение импульса на длину орбиты может принимать только значения из дискретного набора чисел, кратных постоянной Планка – современнейшему для той эпохи понятию.

Во-вторых, это частотное условие, выражаемое формулой:

$$\nu = \frac{E_b - E_a}{h} \quad (E_b > E_a),$$

где ν («ню») – частота света, излучаемого электроном; E_a – энергия электрона, когда он находится на орбите $n = a$; E_b – энергия электрона, когда он находится на орбите $n = b$; h – постоянная Планка.

Эта формула означает следующее. Свет, излучаемый электроном атома водорода при переходе с одной орбиты на другую, имеет линейчатый спектр; энергия электрона на каждой из орбит имеет строго определённые значения; частота излучения зависит от постоянной Планка – минимальной порции физической величины.

Другими словами, если бы электроны в атоме удовлетворяли этим двум правилам, то удалось бы и решить проблему «смерти» атомов, и объяснить серию Бальмера (при этом электрон должен переходить на более низкую орбиту самопроизвольно за время порядка $t = 10^{-8}$ с).

Кстати, радиус орбиты электрона при $n = 1$ называется Боровским радиусом, и равен он примерно пяти миллиардным долям сантиметра ($5{,}29 \times 10^{-9}$ см). Согласно теории Бора, это – минимальное расстояние, на которое электрон способен приблизиться к атомному ядру.

Кстати, в качестве причины «смерти» атома в модели Резерфорда приводилось следующее утверждение: «Согласно электродинамике, колеблющаяся заряженная частица (в нашем случае вращающийся электрон) должна излучать электромагнитные волны (свет), теряя при этом энергию, – центробежная сила исчезнет, и электрон упадёт на ядро».

Однако Бор отвечает просто: «Внутри атома этого не происходит». Особой причины нет. Электрон излучает свет только при переходе на орбиту другого энергетического уровня. Сколько бы ни вращался электрон по одной и той же орбите, свет излучаться не будет. Другими словами, его утверждение сводится к тому, что атом – это особый мир, в котором свои законы.

Главное – свести концы с концами

Другой большой проблемой была неприменимость теории (гипотезы) Бора к отличным от водорода атомам, имеющим более сложное строение. То есть она не могла объяснить линейчатый спектр девяноста одного из девяноста двух природных химических элементов – от гелия до урана.

Несмотря ни на что, Нильс Бор был великим человеком. Его очень уважали в его родном городе Копенгагене. Рассказывают про такой случай. Однажды Бор заметил своего знакомого учёного в автобусе, который должен был вот-вот отправиться. Бор входит в автобус и заводит пространную научную дискуссию. Отправление автобуса из-за этого задерживается, но все пассажиры терпеливо ждут: «Ничего не поделаешь – великий Бор пытается создать новую теорию».

На самом деле величие Бора заключается в том, что он мог позволить непонятному оставаться непонятным и смеяться при этом: «Ведь это такой особый мир!» В действительности я не знаю, смеялся он или нет. Скорее всего, Бор надеялся, что в будущем либо он сам, либо кто-то другой сможет разгадать это непонятное.

Например, по поводу неприменимости своей теории к отличным от водорода атомам он верил, что, так как суть теории верна, при небольшом усложнении она сможет объяснить и поведение других атомов. Другими словами, Бор обладал способностью «зрить в корень». Об этом говорит и Альберт Эйнштейн, впоследствии неоднократно споривший с Бором о положениях квантовой теории: «Интуиция и талант Бора – это высшая музыка, наполняющая Вселенную».

В действительности в модели атома Бора было много ошибок, как, например, представление об электронах, вращающихся по орбитам, подобно планетам и спутникам, однако его основная идея, то есть квантовое и частотное условия, оказалась верной. Поэтому развитие его идеи позволило квантовой механике достичь современного уровня. И хотя на этапе её становления большую роль сыграли вышеупомянутые Шрёдингер и Гейзенберг, всё-таки «отцом квантовой механики» называют именно Нильса Бора.

Энергия волны неизбежно превратится в «кванты»

В истории физики можно выделить «эпоху ранней квантовой теории», продолжавшуюся до начала деятельности Нильса Бора, и начавшуюся с Бора «эпоху поздней квантовой теории», когда на основе квантовой теории шло активное формирование «механики». Именно поэтому Нильса Бора, ставшего «мостом» между квантовой теорией и квантовой механикой, называют отцом квантовой механики. А как же насчёт Макса Планка, о котором только что шла речь в лекции профессора Сануки?

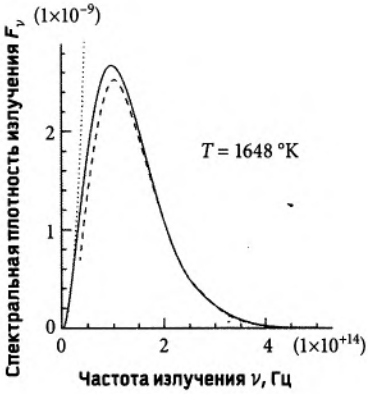
Изучение истории науки позволяет мне считать, что впервые понятие кванта ввёл именно Планк.

Продолжу здесь разговор, начатый на стр. 131.

В XIX веке в Европе начался расцвет металлургии, и все государства соревновались между собой в производстве высококачественного железа. Козырем должен был

стать метод точного измерения температуры внутри доменной печи. Ведь температура плавления железа составляет примерно 1500 °С, и её нельзя померить обычным термометром. Значит, нужно было заглянуть в доменную печь и определить температуру по цвету внутри неё, но на это были способны лишь очень опытные технологи. Для производства железа стабильного качества нужна была формула, связывающая цвет (длину волны излучения) и температуру (которая пропорциональна мощности излучения).

Попытки многих учёных решить эту задачу были безуспешны. Кстати, график на основе экспериментальных данных выглядел как платье, правая пола которого волочится по земле, однако приходилось использовать разные формулы для коротковолновой (от фиолетового до красного) и длинноволновой (начиная с красного цвета по инфракрасный диапазон) частей спектра. Другими словами, это явление оставалось не описанным с научной точки зрения.



Приведённые здесь графики F_ν выражают данную ситуацию – точками показан график, соответствующий закону Рэлея-Джинса, штрихами – второму закону Вина и, наконец, сплошной линией – закону Планка, формула которого приведена на стр. 132. Во время работы Макс Планк пристально разглядывал формулы первых двух законов, пока, наконец, не сделал следующие выводы:

1) короткая световая волна имеет много гребней и впадин (= больше частота), поэтому её энергия излучается большими порциями;
2) длинная световая волна имеет мало гребней и впадин (= меньше частота), поэтому её энергия излучается малыми порциями.

На основе этого он и создал свою формулу, график которой показан сплошной линией.

Важным здесь является использование в отношении энергии слова «порция». Имеется в виду энергия, приходящаяся на «одну волнистость», то есть на ~, поэтому свет определённой длины волны может обладать лишь энергией, кратной его частоте. Формула на стр. 131 выражает именно эту идею.

$E_n = nh\nu$ (n = 0, 1, 2, 3 …).
(Энергия излучения на частоте ν («ню»)) = (Целое число) × (Постоянная Планка) × (Частота колебания).

Это была поистине передовая идея. Однако необходимо помнить о том, что используемое здесь целое число n отличается по смыслу от n, используемого для радиусов орбит в модели атома Бора. Таким образом, вычислив распределение стоячих электромагнитных волн (мод) по энергиям $nh\nu$, Планк смог получить общее выражение для световой энергии.

Очевидно, что из формулы для F_ν на стр. 132 для малых значений $h\nu/k_BT$ выводится закон Рэлея-Джинса, а для больших значений – второй закон излучения Вина.

Имя Планка узнают даже инопланетяне

Полученная с помощью идеи Планка формула, описывающая состояние доменной печи, почти совпадает с данными наблюдений. Это стало доказательством следующего:

«У энергии есть минимально возможные порции – кванты».

К сожалению, у самого Планка немного не хватило интуиции, чтобы добраться до сути. Он ошибочно посчитал, что причина квантовых свойств света кроется в том, что источники излучения – атомы и молекулы – изменяют свою энергию скачкообразно. Так он уступил Альберту Эйнштейну самую вкусную часть пирога.

Эйнштейн, изучив квантовую гипотезу Планка, предположил:

«Раз у света есть минимально возможные порции – кванты, может быть, сам свет – это частицы, соответствующие этим квантам?»

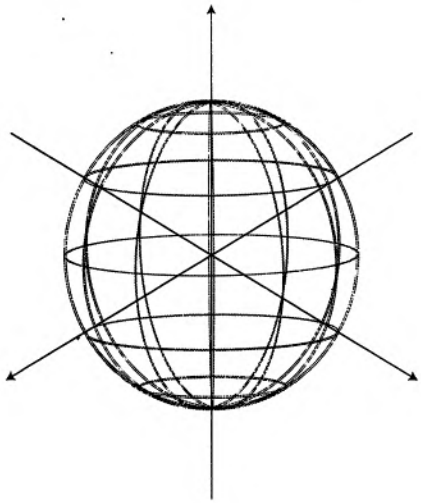
На основе этой идеи Эйнштейн в 1905 году опубликовал работу «Квантовая теория фотоэффекта» (кстати, именно за неё, а не за теорию относительности, он получил Нобелевскую премию по физике). О её содержании я подробнее расскажу в следующей главе. Но в действительности само понятие кванта было предложено Максом Планком ещё за 5 лет до этого, и если бы Планк умело использовал это преимущество, то все лавры достались бы ему. Правда, Планк сам пригласил Эйнштейна, который никак не мог найти себе поле деятельности, в Берлинский университет и дал ему возможность заниматься исследованиями.

Постоянная Планка в качестве основной физической константы квантовой механики входит почти во все формулы и уравнения. Кроме того, основанная на ней «система естественных единиц измерения» – планковское время, планковская длина, планковская масса, планковский заряд, планковская температура, – основана на фундаментальных физических постоянных, в отличие от метрической системы, основанной на таком чисто земном понятии, как «длина меридиана». Поэтому считается даже, что если удастся наладить контакты с внеземным разумом, то общей системой измерения станет именно система планковских единиц.

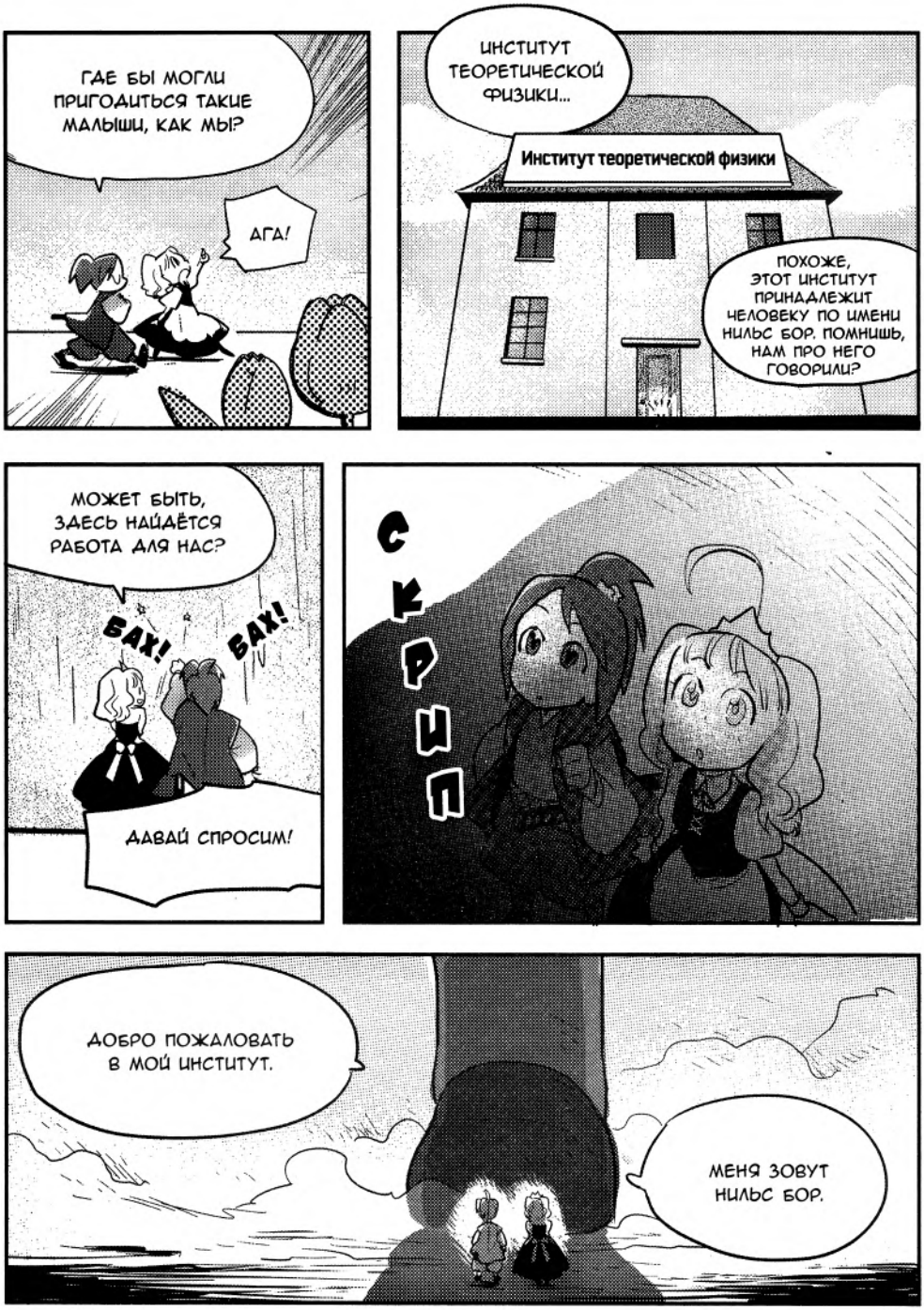
В этом смысле Макс Планк – действительно выдающийся, и на родине в Германии он – один из самых уважаемых учёных. Поэтому, чтобы не умалять заслуги двух великих учёных, Нильса Бора называют «отцом квантовой механики», а Макса Планка – «отцом квантовой теории».

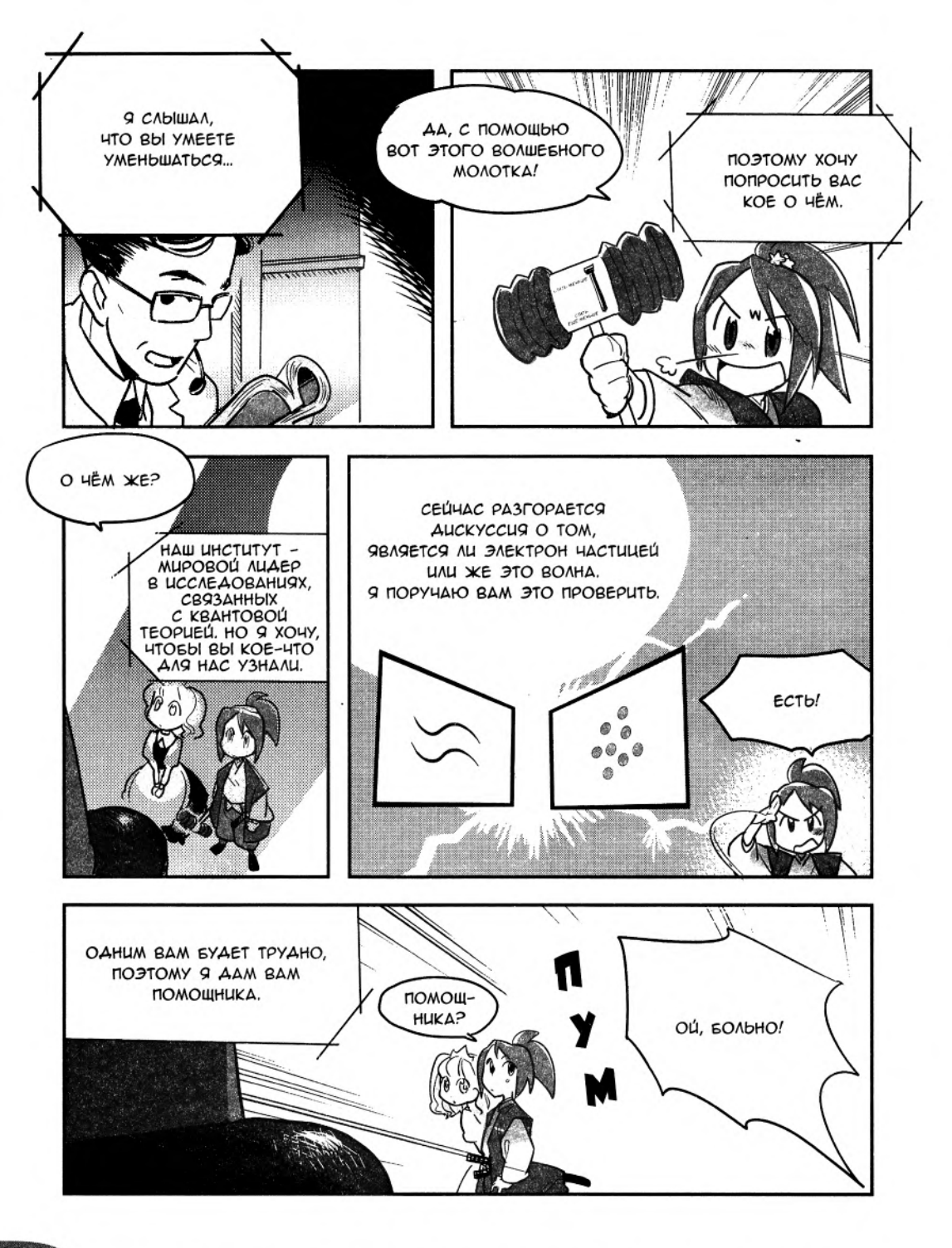
ГЛАВА 5

СТАНЕТ ЛИ ПРИВИДЕНИЕМ ТОТ, КТО ПОСМЕЕТ ИССЛЕДОВАТЬ СУЩНОСТЬ МАТЕРИИ?

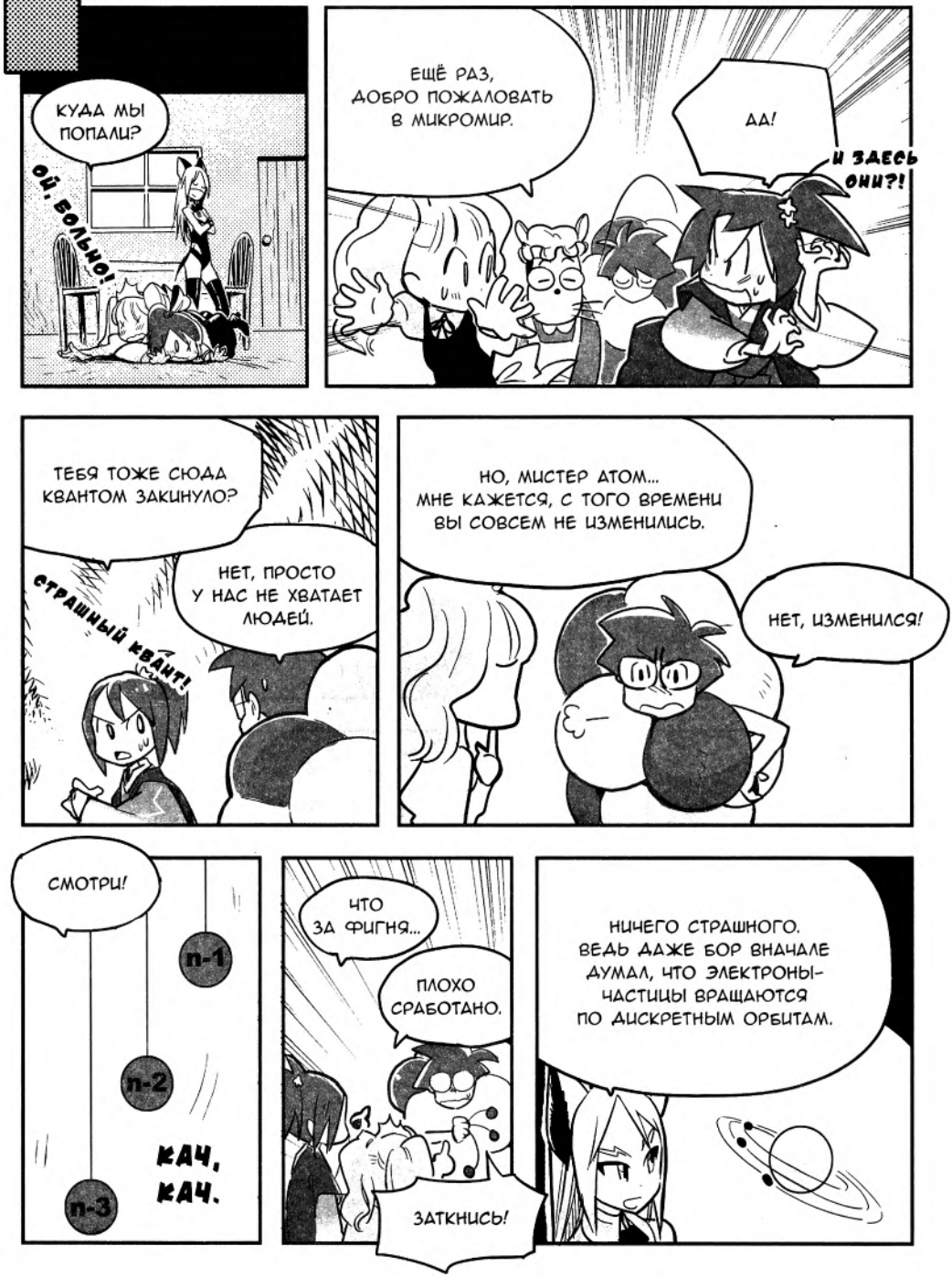


[Мини-информация] Первая статуя Русалочки появилась в Копенгагене в 1913 году.


ГДЕ БЫ МОГЛИ ПРИГОДИТЬСЯ ТАКИЕ МАЛЫШИ, КАК МЫ?
АГА!
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ...
Институт теоретической физики
ПОХОЖЕ, ЭТОТ ИНСТИТУТ ПРИНАДЛЕЖИТ ЧЕЛОВЕКУ ПО ИМЕНИ НИЛЬС БОР. ПОМНИШЬ, НАМ ПРО НЕГО ГОВОРИЛИ?
МОЖЕТ БЫТЬ, ЗДЕСЬ НАЙДЁТСЯ РАБОТА ДЛЯ НАС?
БАХ!
БАХ!
ДАВАЙ СПРОСИМ!
СКРИП
ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В МОЙ ИНСТИТУТ.
МЕНЯ ЗОВУТ НИЛЬС БОР.


Я СЛЫШАЛ, ЧТО ВЫ УМЕЕТЕ УМЕНЬШАТЬСЯ...
ДА, С ПОМОЩЬЮ ВОТ ЭТОГО ВОЛШЕБНОГО МОЛОТКА!
ПОЭТОМУ ХОЧУ ПОПРОСИТЬ ВАС КОЕ О ЧЁМ.
О ЧЁМ ЖЕ?
НАШ ИНСТИТУТ – МИРОВОЙ ЛИДЕР В ИССЛЕДОВАНИЯХ, СВЯЗАННЫХ С КВАНТОВОЙ ТЕОРИЕЙ. НО Я ХОЧУ, ЧТОБЫ ВЫ КОЕ-ЧТО ДЛЯ НАС УЗНАЛИ.
СЕЙЧАС РАЗГОРАЕТСЯ ДИСКУССИЯ О ТОМ, ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ЭЛЕКТРОН ЧАСТИЦЕЙ ИЛИ ЖЕ ЭТО ВОЛНА. Я ПОРУЧАЮ ВАМ ЭТО ПРОВЕРИТЬ.
ЕСТЬ!
ОДНИМ ВАМ БУДЕТ ТРУДНО, ПОЭТОМУ Я ДАМ ВАМ ПОМОЩНИКА.
ПОМОЩ-НИКА?
ПУМ
ОЙ, БОЛЬНО!

ОЛЬНО...
?
КАК Я УДАРИЛАСЬ!
Я – КВАНТОВАЯ МАСКА!
А ЧТО ТЫ ЗДЕСЬ ДЕЛАЕШЬ?
АППЕТИТНЫЙ СЫРОК... Я ХАВАЛА ЗДЕСЬ НА КУХНЕ, НО МЕНЯ ЗАСТУКАЛИ.
НЕЖДАННО-НЕГАДАННО... ХЛОП, ХЛОП.
ТЫ И ЗДЕСЬ ЭТИМ ЗАНИМАЕШЬСЯ?
Я ВЕДЬ КВАНТ. И МОГУ ПЕРЕМЕЩАТЬСЯ СВОБОДНО.
?
ВЫ О МОЁМ ПОРУЧЕНИИ НЕ ЗАБЫЛИ?
А, ТОЧНО!
ВОТ! КРУТЬ, КРУТЬ.
ДАВАЙ!
АБРА-КАДАБРА!
ПИК!


КУДА МЫ ПОПАЛИ?
ОЙ, БОЛЬНО!
ЕЩЁ РАЗ, ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В МИКРОМИР.
АА!
И ЗДЕСЬ ОНИ?!
ТЕБЯ ТОЖЕ СЮДА КВАНТОМ ЗАКИНУЛО?
НЕТ, ПРОСТО У НАС НЕ ХВАТАЕТ ЛЮДЕЙ.
СТРАШНЫЙ КВАНТ!
НО, МИСТЕР АТОМ... МНЕ КАЖЕТСЯ, С ТОГО ВРЕМЕНИ ВЫ СОВСЕМ НЕ ИЗМЕНИЛИСЬ.
НЕТ, ИЗМЕНИЛСЯ!
СМОТРИ!
n-1
n-2
n-3
КАЧ, КАЧ.
ЧТО ЗА ФИГНЯ...
ПЛОХО СРАБОТАНО.
ЗАТКНИСЬ!
НИЧЕГО СТРАШНОГО. ВЕДЬ ДАЖЕ БОР ВНАЧАЛЕ ДУМАЛ, ЧТО ЭЛЕКТРОНЫ-ЧАСТИЦЫ ВРАЩАЮТСЯ ПО ДИСКРЕТНЫМ ОРБИТАМ.

ОДНАКО ЭТО НЕ ОБЪЯСНЯЕТ, ПОЧЕМУ ЭЛЕКТРОНЫ НЕ ПАДАЮТ НА ЯДРО.
А ТАКЖЕ ТО, ПОЧЕМУ ОРБИТЫ ДИСКРЕТНЫЕ.
БОР БЫЛ ФИЗИКОМ-ТЕОРЕТИКОМ, И НА КРИТИКУ СВОЕЙ ГИПОТЕЗЫ ОН МОГ ОТВЕТИТЬ ТОЛЬКО: "ЛОГИЧЕСКИЕ РАССУЖДЕНИЯ ПРИВОДЯТ К ПОДОБНЫМ ВЫВОДАМ!"
ЕСЛИ ТАК, ТО ВРЯД ЛИ МНОГИЕ С ЭТИМ СОГЛАСЯТСЯ.
И ЗДЕСЬ ЕМУ НА ПОМОЩЬ ПРИХОДИТ ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ – ФРАНЦУЗСКИЙ ФИЗИК.
"ПРЕДСТАВИМ, ЧТО ЭЛЕКТРОН – ВОЛНА, И НЕТ ПРОБЛЕМ".
ОН НАЧАЛ УТВЕРЖДАТЬ ЭТО В 1923 ГОДУ.
А ЧЕМ ЧАСТИЦА ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ВОЛНЫ?
ХОРОШИЙ ВОПРОС.
СКРИП
СТУК, СТУК

Как всегда в таких случаях, сначала заглянем в толковый словарь. Тут написано, что такое «волна»:

Волна:

1. Явление распространения волнистостей (гребней и впадин) по поверхности воды, возникшее под действием ветра и других факторов.
2. Явление последовательного распространения звуковых или электромагнитных колебаний.

(Толковый словарь Shinmeikai, 5-й выпуск, изд. Сансэйдо.)

Более понятно написано про «волновое движение»:

Волновое движение:

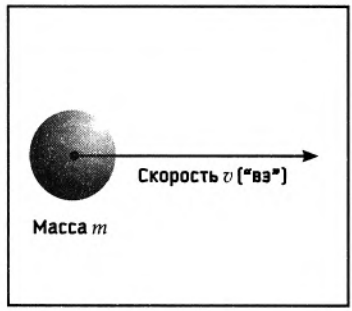
1. Явление, при котором изменение состояния в точках пространства последовательно передаётся в близлежащие точки с конечной скоростью.

(Толковый словарь Iwanami, 5-й выпуск.)

Теперь смотрим частицу.

Частица:

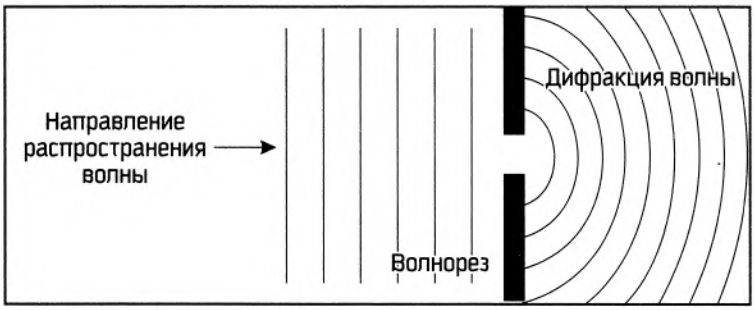
мельчайшая часть, составляющая данное вещество.



Я, кажется, поняла.

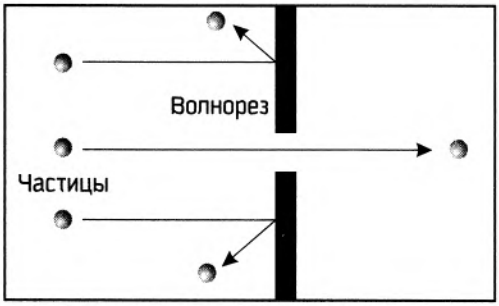
Ну, и чем отличаются свойства волны и частицы?

Одно из особых свойств волны – дифракция. Это явление огибания волной препятствий. Если на её пути возникает препятствие, она огибает его и продолжает распространяться, расширяясь в разные стороны. Это легко увидеть в порту, окружённом волнорезами.



А с частицами этого не происходит?

Нет. Только частицы, попавшие в щель, продолжают лететь по прямой. Дифракции не происходит.



Ну и хорошо, что не происходит. Иначе было бы опасно.

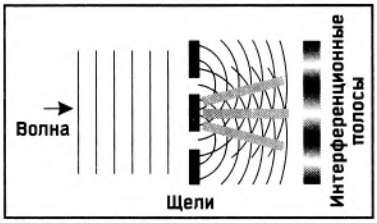
Понятно.

Ещё одна особенность волн – интерференция.

Интерференция:
явление взаимного ослабления или усиления волн одной природы, происходящее при их взаимном наложении в одной точке.

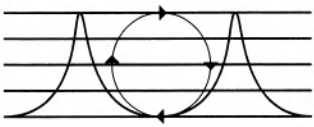
Как на рисунке ниже, это такое явление, когда две волны накладываются друг на друга, образуя новую волну. Обычно в опытах для создания интерференционных полос используют две щели.

А я видела этот опыт.



И я попробую в следующий раз, дома в ванной.

Нужно помнить о том, что при распространении волны само вещество не перемещается вместе с ней. Например, морские волны – это явление, при котором в горизонтальном направлении распространяются гребни и впадины, а вода для них – лишь среда распространения.



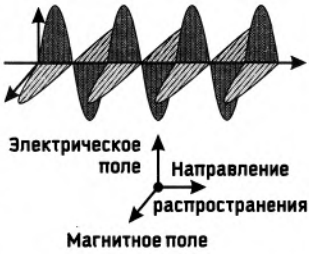
Среда – вещество, в котором передаются волны. В случае звука средой служит, например, воздух, поэтому в вакууме звук не распространяется.

Да, воздух играет для звука роль среды.

В случае звука в виде волн передаются не гребни и впадины, а сжатия и разрежения, то есть изменения плотности воздуха.

А как же свет?

Электромагнитные волны – это немного сложнее. Среда для них не нужна – они распространяются и в вакууме. Это изменения электрического и магнитного полей, формирующие волну в пространстве. Впрочем, если вы как следует не изучали физику, то представить их будет нелегко.



ИТАК, ЕСЛИ ЭЛЕКТРОН – ЭТО ВОЛНА, ТО ЧТО ЖЕ ИЗ ЭТОГО СЛЕДУЕТ?
ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ ПОДУМАЛ, ЧТО ЕСЛИ БЫ ЭЛЕКТРОН БЫЛ ВОЛНОЙ, ТО МОЖНО ИЗБЕЖАТЬ ТАКОЙ "КОРПУСКУЛЯРНОЙ" ПРОБЛЕМЫ, КАК ПАДЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЯДРО.
ЩЁЛК!
"ЕСЛИ БЫ ЭЛЕКТРОН БЫЛ ВОЛНОЙ..." С НЕПРИВЫЧКИ ТАКОЕ УТВЕРЖДЕНИЕ МОЖЕТ ПОКАЗАТЬСЯ СТРАННЫМ, ПОЭТОМУ ЗДЕСЬ Я НЕМНОГО ПОЯСНЮ ОСНОВНУЮ ИДЕЮ ЛУИ ДЕ БРОЙЛЯ.

Лекция профессора Сануки. Часть 3

Перед публикацией работы де Бройля в мире физики был актуален вопрос: «Свет – это волна или частицы?» Как вам известно, цвет света меняется от фиолетового до красного с увеличением длины волны, а если увеличить её ещё больше, то можно получить даже радиоволны. Так как свет – это электромагнитные волны, значит, он обладает волновыми свойствами.

Это было известно уже в начале XIX века. До того времени было установлено, что свет участвует в таких волновых явлениях, как отражение, преломление, дифракция и интерференция.

Однако свет, который должен был являться волной, проявлял и другие свойства, которые нельзя было объяснить в рамках волновой теории.

Вы когда-нибудь отдыхали у моря? Под действием ультрафиолетовых лучей цвет кожи становится красновато-коричневым – появляется загар. Люди, которым это не нравится, используют специальные зонтики от солнца или противозагарные кремы, не пропускающие ультрафиолетовое излучение.

Но не кажется ли вам это странным? Летом на пляже загар появляется меньше чем за час. Действительно, солнечный свет очень ярок, однако солнечная освещённость превышает освещённость в комнате всего примерно в 100 раз.

Если так, то мы должны были бы загореть, пробыв около 100 часов в комнате под светом лампы накаливания или люминесцентной лампы, но этого не происходит. Кроме того, окружающие нас радиоволны вообще не оказывают на кожу никакого воздействия, хотя являются, как и свет, электромагнитными волнами.

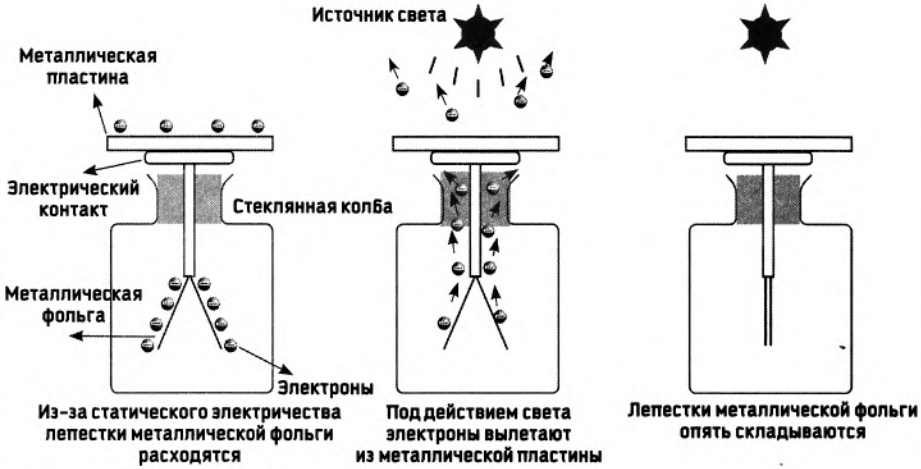
Понятно, что загар – это явление, связанное с ультрафиолетовым излучением, которое отличается определёнными длинами волн.

Это нельзя объяснить с точки зрения волновой теории света. Энергия волны является функцией размаха колебаний (амплитуды) и времени – она не зависит ни от длины волны, ни от частоты колебаний. Значит, если свет – это волна, то можно получить загар даже от комнатной люстры, если находиться под ней достаточно долгое время.

То же самое можно сказать и про «фотоэлектрический эффект» (фотоэффект). Некоторые металлы при падении на них света испускают электроны. Это явление используется, например, в солнечных батареях, в оптических датчиках.

Однако фотоэффект тоже возникает только под действием коротковолнового (то есть высокочастотного) светового излучения. С помощью электроскопа можно проверить, что длинноволновый свет даже большой мощности не вызывает испускания электронов из металла.

Долгое время это считалось одной из загадок физики.



Фотоэлектрический эффект

И здесь на сцену выходит Альберт Эйнштейн. Он знаменит как создатель теории относительности, однако Нобелевскую премию по физике 1921 года он получил именно за то, что с помощью квантовой теории фотоэффекта смог объяснить фотоэлектрический эффект. В этой своей работе он утверждает, что свет, являясь волной, одновременно с этим обладает свойствами частицы (корпускулярными свойствами).

Фотоэффект легко объяснить, если представить, что свет – это частицы.

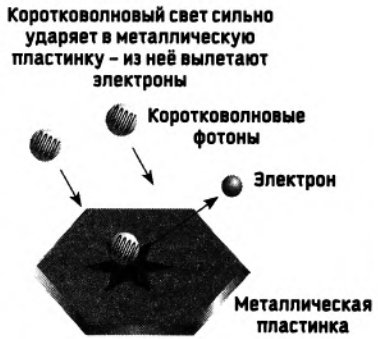
Можно представить это следующим образом.

Если свет – это частицы, то короткие световые волны можно представить как твёрдые стальные шарики, а длинные – как мягкие шарики из поролона. При этом освещённость можно считать количеством шариков, ударяющих в пластинку в единицу времени.

Разумеется, удары твёрдых и мягких шариков будут иметь совершенно разные последствия.

Сколько бы поролоновых шариков ни попадало в поверхность, следов на ней не останется.

Напротив, стальные шарики хорошо передают свою энергию поверхности, выбивая

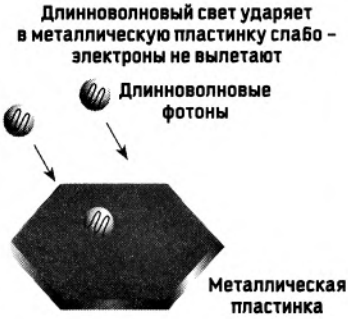


Коротковолновый свет

из неё электроны. Именно здесь кроется ключ к пониманию загара или фотоэффекта.

Эйнштейн назвал эту частицу света «световым квантом», основываясь на квантах Планка. Сейчас её называют «фотоном», что на языке Древней Греции означает «принадлежащий свету».

Свет является одновременно и волной, и частицами. Оригинальная идея Эйнштейна вызвала шок среди физиков той эпохи. Затем Луи де Бройль, высоко ценивший Эйнштейна, подумал так:



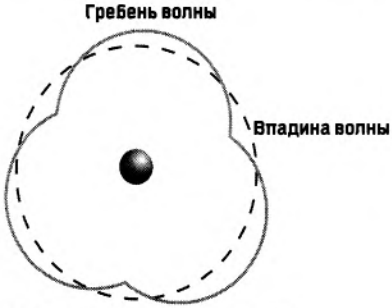
Длинноволновый свет

«Если свет, считающийся волной, имеет свойства частицы, почему нельзя предположить, что электрон, считающийся частицей, имеет свойства волны?»

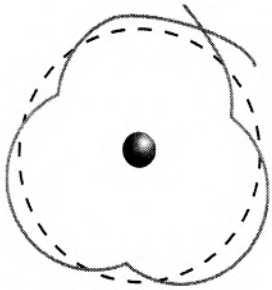
Если электрон – это волна, то модель атома Бора с «дискретными энергетическими уровнями» можно худо-бедно объяснить. Если ущипнуть струну гитары, то на ней останутся волны только определённых длин, которые получаются делением длины струны на 1, 2, 3, 4 и т. д. На самом деле сразу же после щипка на струне возникнут также волны «лишних» длин (частот колебаний), но так как оба конца струны закреплены, они быстро угаснут. Сочетание таких звуковых волн приятно человеческому уху, поэтому в мире музыки его называют гармоническим звукорядом.

Кстати, длина волны связана с частотой колебаний нижеприведённым соотношением, поэтому звуковые частоты для вышеописанного случая можно найти умножением самой низкой, то есть основной, частоты на 2, 3, 4 и т. д.

$$\text{Длина волны } \lambda \text{ («лямбда»)} = \frac{\text{Скорость распространения волны } v \text{ («вэ»)}}{\text{Частота колебаний } \nu \text{ («ню»)}}.$$



Волна, длина которой укладывается на длине орбиты целое число раз – гребни и впадины всё время совпадают



Если длина волны не отвечает этому требованию, то волна затухает

Итак, теперь попробуем применить похожую идею для орбиты электрона в модели атома Бора. Если электронная волна бегает вокруг атомного ядра, то её длина, как в случае гитарной струны, должна получаться делением длины орбиты на целое число. В этом случае, сколько бы волна ни бегала вокруг ядра, гребни и впадины волны будут оставаться на одном месте. В противном случае в процессе огибания волной ядра произойдёт интерференция, которая приведёт к уменьшению амплитуды. В результате волна сразу же затухнет – электрон не сможет существовать.

Но если на длине орбиты электрона будет укладываться целое число длин волн, то движение волны по кругу будет продолжаться постоянно.

Нижеприведённый материал будет немного сложнее, но вывод формул на основе идеи де Бройля просто завораживает.

Итак, мы решили, что допустимы только такие длины волн электрона, которые укладываются на орбите целое число раз. Если принять длину волны электрона за λ (лямбда), а радиус его орбиты – за r, то наше утверждение можно записать в виде формулы:

$$2\pi r = n\lambda, \qquad \text{(A)}$$

где n – натуральное (положительное целое) число.

С другой стороны, длина волны и импульс электрона связаны следующими соотношениями, основанными на специальной теории относительности и квантовой гипотезе (здесь примем $v \simeq c$):

$$pc = E = h\nu = h\frac{c}{\lambda},$$

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

где p – импульс; h («ха») – постоянная Планка.

Связывающее их отношение было выведено в процессе работы над квантовой теорией фотоэффекта. Так как в физике импульс тела (в нашем случае – частицы) равен произведению массы на скорость, то есть $p = mv$, значит, можно записать:

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \qquad \text{(B)}$$

где m – масса электрона; v («вэ») – скорость электрона.

Итак, теперь подставим выражение (B) в формулу (A).

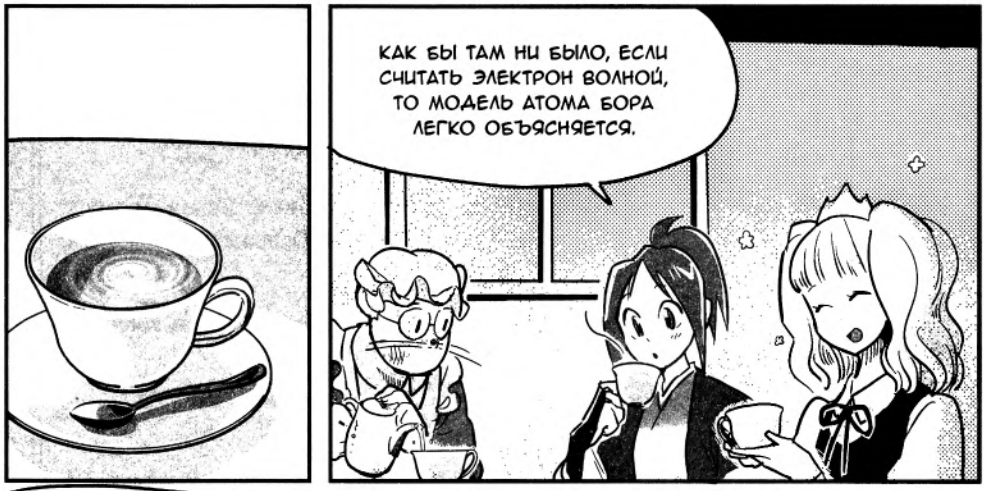
$$2\pi r = n \times \frac{h}{mv}$$

$$\downarrow$$

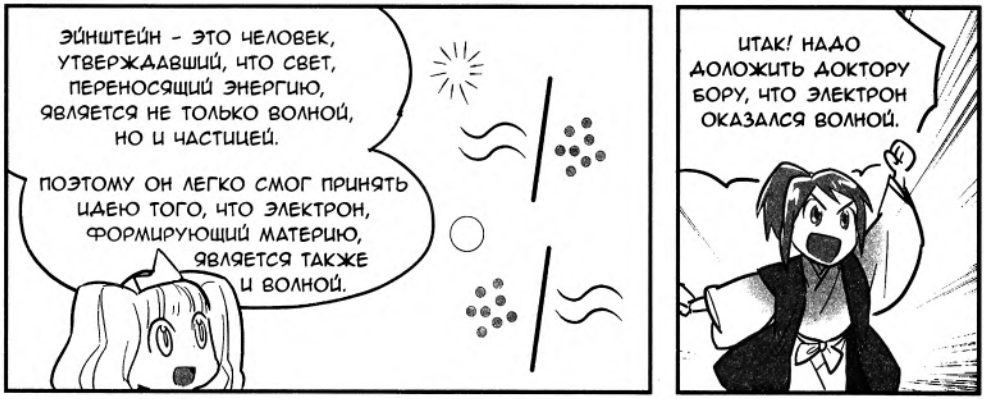
$$2\pi r \times mv = nh.$$

Это удивительно – получается формула, совершенно аналогичная формуле квантового условия (см. стр. 137), предложенной Бором. Основываясь на этом, де Бройль утверждает:

> **«Если считать электрон волной, то можно теоретически объяснить квантовое условие».**


КАК БЫ ТАМ НИ БЫЛО, ЕСЛИ СЧИТАТЬ ЭЛЕКТРОН ВОЛНОЙ, ТО МОДЕЛЬ АТОМА БОРА ЛЕГКО ОБЪЯСНЯЕТСЯ.

ОДНАКО ДО ЭТОГО ВСЕ СЧИТАЛИ ЭЛЕКТРОН ЧАСТИЦЕЙ, ПОЭТОМУ ВНАЧАЛЕ УТВЕРЖДЕНИЕ ДЕ БРОЙЛЯ ПОСЧИТАЛИ ПРОТИВОРЕЧАЩИМ ЗДРАВОМУ СМЫСЛУ – С НИМ ПОЧТИ НИКТО НЕ СОГЛАСИЛСЯ.
ВОТ ТЕ НА...
ОДНАКО ОДНОМУ УЧЁНОМУ РАБОТА ДЕ БРОЙЛЯ ПОКАЗАЛАСЬ ИНТЕРЕСНОЙ, И ОН РЕШИЛ ПОКАЗАТЬ ЕЁ ЭЙНШТЕЙНУ.
К СЧАСТЬЮ, ЭЙНШТЕЙН, КОТОРЫЙ К ТОМУ ВРЕМЕНИ УЖЕ БЫЛ ЗНАМЕНИТ, ОЧЕНЬ ВЫСОКО ОЦЕНИЛ ЕЁ. ИМЕННО БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ ИДЕЯ ДЕ БРОЙЛЯ ПОЛУЧИЛА ИЗВЕСТНОСТЬ.


ЭЙНШТЕЙН – ЭТО ЧЕЛОВЕК, УТВЕРЖДАВШИЙ, ЧТО СВЕТ, ПЕРЕНОСЯЩИЙ ЭНЕРГИЮ, ЯВЛЯЕТСЯ НЕ ТОЛЬКО ВОЛНОЙ, НО И ЧАСТИЦЕЙ.
ПОЭТОМУ ОН ЛЕГКО СМОГ ПРИНЯТЬ ИДЕЮ ТОГО, ЧТО ЭЛЕКТРОН, ФОРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИЮ, ЯВЛЯЕТСЯ ТАКЖЕ И ВОЛНОЙ.
ИТАК! НАДО ДОЛОЖИТЬ ДОКТОРУ БОРУ, ЧТО ЭЛЕКТРОН ОКАЗАЛСЯ ВОЛНОЙ.

ПОДОЖДИТЕ!

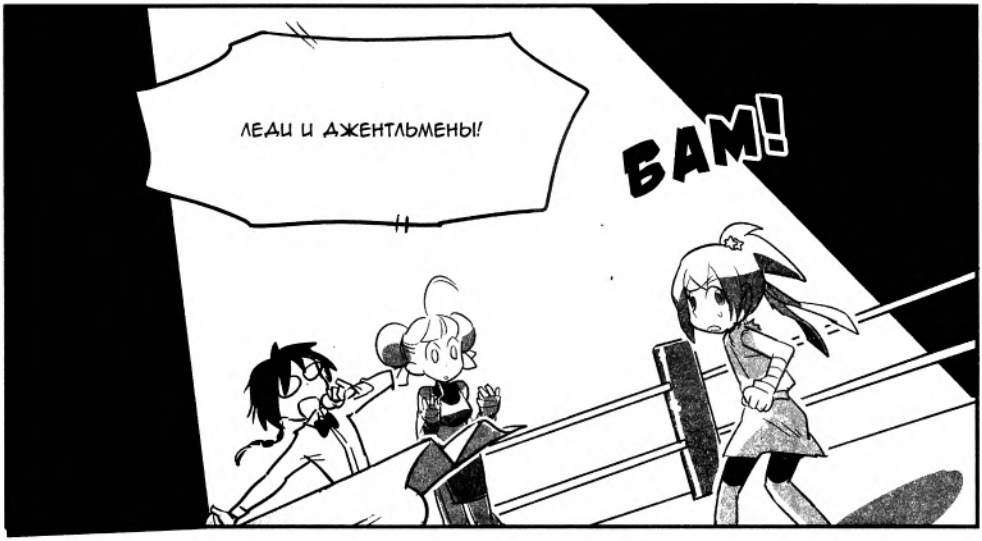
КТО ТАМ ЕЩЁ К НАМ ПОЖАЛОВАЛ?!

Я КВАНТОВАЯ ГЕЙША!
БАМ!
РАЗ ВЫ СКАЗАЛИ "ДЕ БРОЙЛЬ", НЕ ЗАБЫВАЙТЕ И "ШРЁДИНГЕР"!

ЗНАЧИТ, ТЕБЯ ЗОВУТ ШРЁДИНГЕР?
НЕТ, МЕНЯ ЗОВУТ КВАНТОВАЯ ГЕЙША! ШРЁДИНГЕР – ЭТО ДРУГОЕ!
ДА, НЕПОДХОДЯЩЕЕ ИМЯ...

ОДНАКО, ИССУМБОСИ!
ТЫ ПРО МЕНЯ ЗАБЫЛ?!

АХ!
ДА ЭТО ЖЕ КВАНТОВАЯ ГЕЙША!
А Я ПРО ЧТО ГОВОРЮ!
А Я ВСЁ ЖДАЛА ТЕБЯ ТАМ, В СТОЛИЦЕ. А ТЫ, ОКАЗЫВАЕТСЯ, ЗАВЁЛ СЕБЕ ЕВРОПЕЙКУ И ПОЕХАЛ РАЗВЛЕКАТЬСЯ ЗА ГРАНИЦУ...
МММ...
НУ, КАК СКАЗАТЬ...
ЗНАЧИТ, ТЫ ОТНЯЛА ЕГО У МЕНЯ?! ВЫЗЫВАЮ ТЕБЯ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЕДИНОК!
ТЫ ЧТО, СЧИТАЕШЬ МЕНЯ СОПЕРНИЦЕЙ?
ДА!
ТЕПЕРЬ РАЗГОВОР ПОЙДЁТ О ДВУХ СОПЕРНИКАХ, БЛАГОДАРЯ КОТОРЫМ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА СОВЕРШИЛА СТРЕМИТЕЛЬНЫЙ РЫВОК!


ЛЕДИ И ДЖЕНТЛЬМЕНЫ!
БАМ!

ДО ЭТОГО МЫ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ИЗБЕГАЛИ СЛОЖНЫХ ФОРМУЛ, НО ВОТ, НАКОНЕЦ, НАСТАЛ МОМЕНТ, КОГДА ВАМ ПРИДЁТСЯ НАБЛЮДАТЬ ПОЕДИНОК ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ ШРЁДИНГЕРА С УРАВНЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ГЕЙЗЕНБЕРГА!
БУДЕМ НАДЕЯТЬСЯ, ЧТО ОБА СОПЕРНИКА ПОКАЖУТ, НА ЧТО ОНИ СПОСОБНЫ!

ТАК ВЕДЬ ДРАТЬСЯ С ДЮЙМОВОЧКОЙ ДОЛЖНА ТЫ!
НЕТ, Я КАК СЦЕНАРИСТ ДОЛЖНА УПРАВЛЯТЬ РАЗВИТИЕМ СЮЖЕТА.
СТРАННО КАК-ТО...

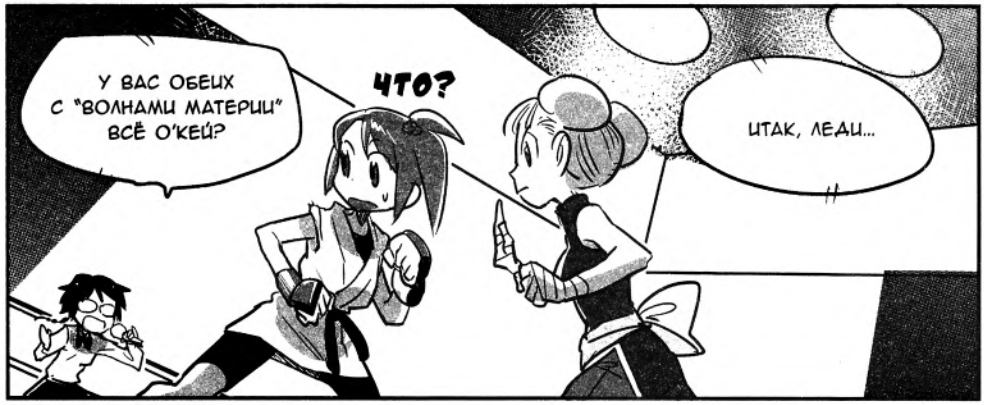
В СИНЕМ УГЛУ РИНГА – ИССУМБОСИ ИЗ КОМАНДЫ ШРЁДИНГЕРА!
В КРАСНОМ УГЛУ РИНГА – ДЮЙМОВОЧКА ИЗ КОМАНДЫ ГЕЙЗЕНБЕРГА!

ЗДРАВСТВУЙТЕ, Я КВАНТОВАЯ МАСКА – СПОРТИВНЫЙ КОММЕНТАТОР.
СЕГОДНЯ Я ПРИГЛАСИЛА В СТУДИЮ ПРОФЕССОРА САНУКИ ИЗ ЯПОНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ЗДРАВСТВУЙТЕ!
ИТАК, НЕДАВНО ВЫ УСЛЫШАЛИ ДВА НОВЫХ ИМЕНИ – ШРЁДИНГЕР И ГЕЙЗЕНБЕРГ.
УЖЕ ПОЛУЧИЛИ ИЗВЕСТНОСТЬ МОДЕЛЬ АТОМА БОРА С ДИСКРЕТНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УРОВНЯМИ, А ТАКЖЕ ВЫВЕДЕННАЯ ИЗ НЕЁ ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОНА ДЕ БРОЙЛЯ.
ПРИШЛО ВРЕМЯ ДЛЯ СТРЕМИТЕЛЬНОГО РЫВКА КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ, ОДНАКО ОН БЫЛ БЫ НЕВОЗМОЖЕН БЕЗ ЭТИХ ДВОИХ УЧЁНЫХ.
ВПОСЛЕДСТВИИ Я РАССКАЖУ ВАМ О РАЗЛИЧНЫХ ДРАМАТИЧЕСКИХ МОМЕНТАХ.
КАК ИНТЕРЕСНО!

Эрвин Шрёдингер
(1887–1961)
Австрийский физик-теоретик.
Впоследствии
по некоторым
причинам отдалился
от квантовой механики
и занялся
молекулярной
биологией.

Вернер Гейзенберг
(1901–1976)
Немецкий физик-теоретик.
Известен как один
из самых способных
учеников
Нильса Бора.

ЭЛЕКТРОН В ВИДЕ ВОЛНЫ, ПРЕДЛОЖЕННЫЙ ДЕ БРОЙЛЕМ В 1923 ГОДУ, ТЕПЕРЬ ИНОГДА НАЗЫВАЮТ "ЭЛЕКТРОННОЙ ВОЛНОЙ", ИЛИ "ВОЛНОЙ ДЕ БРОЙЛЯ".
НО ЭЛЕКТРОН – ЭТО ТОЛЬКО ОДНА ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, СОСТАВЛЯЮЩИХ МАТЕРИЮ. У ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ТАКЖЕ БЫЛИ ОБНАРУЖЕНЫ ПОХОЖИЕ ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА, ПОЭТОМУ ИХ ТЕПЕРЬ НАЗЫВАЮТ "ВОЛНАМИ МАТЕРИИ".


У ВАС ОБЕИХ С "ВОЛНАМИ МАТЕРИИ" ВСЁ О'КЕЙ?
ЧТО?
ИТАК, ЛЕДИ...

БО!
ЧТО?
С "ВОЛНАМИ МАТЕРИИ"?
ДА!
ХЛОП!
ХХА
А ЧТО ТАКОЕ В...ВОЛНЫ МАТЕРИИ?
ХРУСТЬ
ХРУСТЬ
ХРУСТЬ
ВОЛНЫ МАТЕРИИ - ЭТО ВОЛНЫ МАТЕРИИ. ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ЛЮБАЯ МАТЕРИЯ ОБЛАДАЕТ ВОЛНОВЫМИ СВОЙСТВАМИ.
И Я ТОЖЕ?

ЩЕЛЬ В ТВОЕЙ ЗАЩИТЕ!
ДА!
ИППОН!
КАП
ЭТО ЧТО, И ЕСТЬ ВОЛНЫ МАТЕРИИ?
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, ЛЮБАЯ МАТЕРИЯ ОБЛАДАЕТ ВОЛНОВЫМИ СВОЙСТВАМИ. ОДНАКО ЭТИ ВОЛНЫ ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКИЕ – НА УРОВНЕ АТОМОВ, ПОЭТОМУ НЕ ОКАЗЫВАЮТ НА НАС ПРЯМОГО ВЛИЯНИЯ.
ДА, ИССУМБОСИ НЕМНОГО ПОГОРЯЧИЛСЯ.
НО В МИРЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ДАЖЕ ТАКИЕ МАЛЕНЬКИЕ ВОЛНЫ ИГРАЮТ ОГРОМНУЮ РОЛЬ.
ЭТО – ВАЖНЫЙ МОМЕНТ, КОТОРЫЙ МОЖЕТ РЕШИТЬ ИСХОД СЕГОДНЯШНЕГО ПОЕДИНКА.

НЕ ОЖИДАЛ, ЧТО ДЮЙМОВОЧКА ТАКАЯ СИЛЬНАЯ...
КАННА!
ВРЯД ЛИ Я С НЕЙ СПРАВЛЮСЬ...

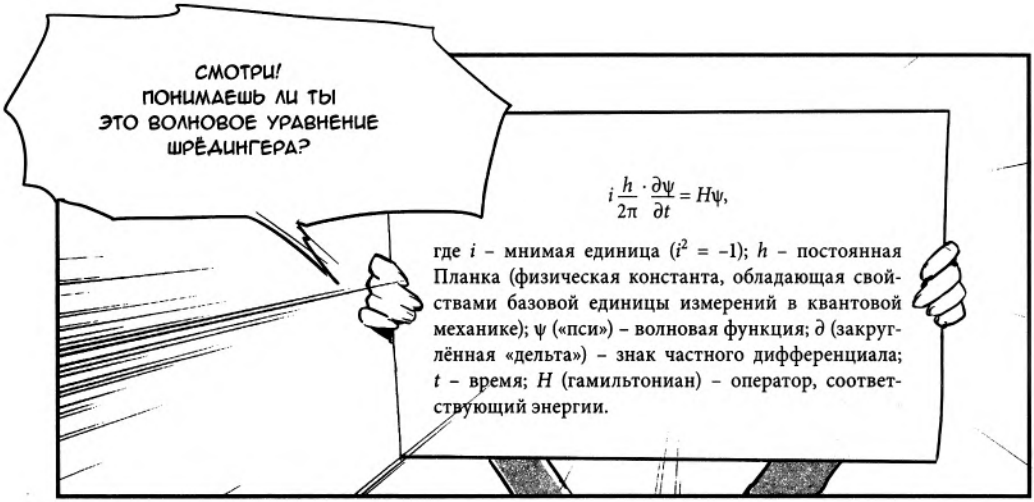
ЧТО, КАНТА?
ВОСПОЛЬЗУЙСЯ ВОТ ЭТИМ!

ИТАК, ПРОДОЛЖАЕМ ПОЕДИНОК!

ПОХОЖЕ, У ИССУМБОСИ ПОЯВИЛАСЬ КАКАЯ-ТО СТРАТЕГИЯ...

ШУРХ ШУРХ
ХЕ-ХЕ...
ХИ-ХИ-ХИ...

ГРР...


СМОТРИ! ПОНИМАЕШЬ ЛИ ТЫ ЭТО ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА?
$i\frac{h}{2\pi}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial t}=H\psi,$
где i – мнимая единица ($i^2 = -1$); h – постоянная Планка (физическая константа, обладающая свойствами базовой единицы измерений в квантовой механике); ψ («пси») – волновая функция; ∂ (закруглённая «дельта») – знак частного дифференциала; t – время; H (гамильтониан) – оператор, соответствующий энергии.

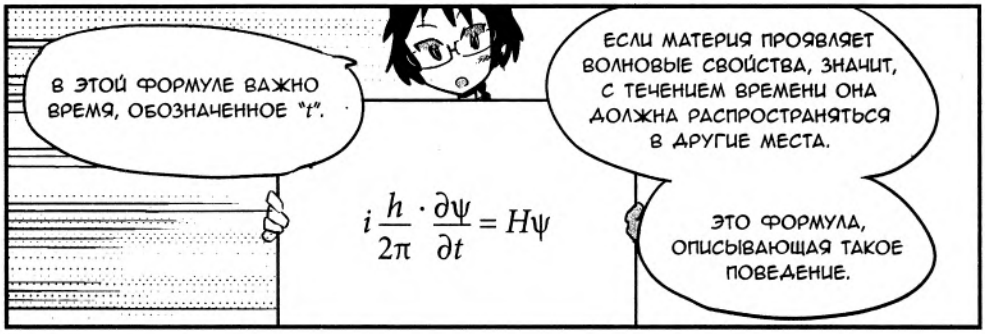
ЧЕЛОВЕКОМ, КОТОРЫЙ ЗАИНТЕРЕСОВАЛСЯ ВОЛНАМИ МАТЕРИИ ДЕ БРОЙЛЯ И ОФОРМИЛ ИХ В ВИДЕ ТЕОРИИ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ, БЫЛ ШРЁДИНГЕР.
УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА, ОПУБЛИКОВАННОЕ В 1926 ГОДУ, СТАЛО ОДНИМ ИЗ УРАВНЕНИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ. ОНО ТАКЖЕ ЗНАМЕНИТО СВОЕЙ СЛОЖНОСТЬЮ.

НУ ЧТО, ДЮЙМОВОЧКА? ЧТО ТЫ СКАЖЕШЬ НА ЭТО?

МНИМАЯ ЕДИНИЦА (i) В КВАДРАТЕ ДАЁТ –1...
π – ЭТО КОНСТАНТА: ОТНОШЕНИЕ ДЛИНЫ ОКРУЖНОСТИ К ЕЁ ДИАМЕТРУ.
НО ЧТО ТАКОЕ ЭТА ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ, ИЛИ ЭТОТ ГАМИЛЬТОНИАН?

Я НЕ ПОНИМАЮ!
БАМ!

ДА, ТУТ УЖ НИЧЕГО НЕ ПОДЕЛАЕШЬ.
СЕЙЧАС КОММЕНТАТОР ПОЕДИНКА РАССКАЖЕТ ПРО УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА.


В ЭТОЙ ФОРМУЛЕ ВАЖНО ВРЕМЯ, ОБОЗНАЧЕННОЕ "t".
ЕСЛИ МАТЕРИЯ ПРОЯВЛЯЕТ ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА, ЗНАЧИТ, С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ ОНА ДОЛЖНА РАСПРОСТРАНЯТЬСЯ В ДРУГИЕ МЕСТА.
$i\frac{h}{2\pi}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial t}=H\psi$
ЭТО ФОРМУЛА, ОПИСЫВАЮЩАЯ ТАКОЕ ПОВЕДЕНИЕ.

ПОЭТОМУ С ЕЁ ПОМОЩЬЮ МОЖНО НАЙТИ ТАКЖЕ ФОРМУ ОРБИТЫ ЭЛЕКТРОНА.
БЛАГОДАРЯ ЕЙ УДАЛОСЬ УСТАНОВИТЬ ТИПЫ ОРБИТ ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМЕ – ОРБИТАЛЕЙ. ОНИ НАЗЫВАЮТСЯ s-, p-, d- И f-ОРБИТАЛЯМИ.

ЗНАНИЯ ИЗ ШКОЛЬНОГО КУРСА МАТЕМАТИКИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ПОНЯТЬ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА

Да, всё резко усложнилось.

Уравнение Шрёдингера – это основа основ квантовой механики. На нём ломается большинство начинающих.

В Интернете я прочитала, что почти все книги по квантовой механике для начинающих стараются закрыть глаза на уравнение Шрёдингера. Наверное, автор этой манги тоже хотел бы так поступить.

Давайте сначала повторим знания из курсов математики и физики старшей школы, которые нам здесь пригодятся.

Читатели, сведущие в математике и физике, могут сразу перейти на стр. 176. А если вас больше интересует сюжет манги, перескочите отсюда на стр. 184.

(1) Комплексные числа и тригонометрические функции

$z = a + ib$,

где a и b – действительные числа; i – мнимая единица.

Кроме вышеприведённого выражения, комплексное число z можно выразить также в тригонометрической форме, используя функции косинуса и синуса:

$$z = r(\cos\theta + i\sin\theta).$$

Это легче понять, если представить единичную окружность (окружность радиусом 1 с центром в начале координат). Отложив на ней угол θ («тэта») и продолжив радиус на длину r, получим точку, представляющую наше комплексное число.

Выражение $\cos\theta + i\sin\theta$ часто используется при описании уравнения Шрёдингера, ведь синус и косинус – это функции, очень подходящие для описания волн.

(2) Показательная функция

Функция, записываемая как

$$y = a^x,$$

– это показательная функция.

Если взять от неё производную* по x (продифференцировать по x), то получится следующее:

$$(a^x)' = a^x \log_e a.$$

Выглядит сложно, но если вместо a будет e (основание натурального логарифма), такая показательная функция будет называться «экспонентой»:

$$(e^x)' = e^x.$$

Всё намного упростится – дифференцирование и интегрирование превратятся в приятное занятие. Поэтому все хотят использовать e, где это возможно.

(3) Формула Эйлера

Хотя в старшей школе эту формулу не проходят, выглядит она так:

$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta.$$

Это означает, что комплексное число z можно записать как:

$$z = re^{i\theta}.$$

Исчезли тригонометрические функции, и выражение укоротилось.

---

* Производную иногда записывают как (выражение)′, а иногда $\frac{d}{dx}$(выражение). Последняя форма записи удобна тем, что указывает переменную, по которой берётся производная.

(4) Дифференцирование и интегрирование

В вычислениях, связанных с уравнением Шрёдингера, часто дифференцируются и интегрируются тригонометрические и экспоненциальные функции. Давайте повторим основные формулы.

Дифференцирование	**Интегрирование**
$(e^x)' = e^x$	$\int e^x dx = e^x$
$(\sin x)' = \cos x$	$\int \sin x\, dx = -\cos x$
$(\cos x)' = -\sin x$	$\int \cos x\, dx = \sin x$

Приведу только один пример. Попробуем продифференцировать следующую функцию по t:

$$x = A\sin\omega t$$

$$\downarrow$$

$$\frac{dx}{dt} = A\omega\cos\omega t.$$

Мы взяли производную от координаты по времени, значит, результат дифференцирования – «скорость». Обозначив полученную производную за v, снова продифференцируем по t:

$$\frac{dv}{dt} = -A\omega^2\sin\omega t = -\omega^2 x.$$

Теперь мы получили «ускорение».

Дифференцирование и интегрирование – важный инструмент для нахождения неизвестных функций.

ЗНАНИЯ ИЗ ШКОЛЬНОГО КУРСА ФИЗИКИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ПОНЯТЬ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА

(1) Термины, касающиеся волн

Попробую сделать обзор часто используемых терминов.

Иногда обозначения будут отличаться от тех, которые вы использовали в старшей школе, но именно такие обозначения используются в уравнении Шрёдингера.

T («тэ») – период колебаний	ν («ню») – частота колебаний

$T\nu = 1$.

T (период) и ν (частота) обратно пропорциональны друг другу.

λ («лямбда») – длина волны

Если умножить ν (частоту) на λ («лямбда», длину волны), то получится v («вэ») – скорость распространения волны.

$$v = \nu\lambda, \quad \nu = \frac{v}{\lambda}.$$

Например, рассчитаем, чему равна ν (частота) УВЧ-волн длиной $\lambda = 0{,}5$ м, которые используются в телевидении.

$$\nu[\text{с}^{-1}] = \frac{3 \times 10^8\ [\text{м/с}]}{0{,}5\ [\text{м}]} = 6 \times 10^8\ [\text{с}^{-1}] = 600 \times 10^6\ [\text{с}^{-1}].$$

Получится 600 млн колебаний в секунду, то есть 600 МГц (мегагерц).

ω («омега») – угловая частота колебаний

Её размерность совпадает с угловой скоростью, изучаемой в старшей школе (векторной величиной, т. е. величиной, имеющей направление). Однако в уравнении Шрёдингера она рассматривается как скалярная величина. Она получается умножением ν (частоты) на 2π и показывает, на сколько радиан изменяется фаза колебания за единицу времени.

$$\omega = 2\pi\nu,$$
$$T\omega = 2\pi.$$

В формулах, описывающих волны, появляется множитель 2π, поэтому принято сокращать запись, используя ω вместо $2\pi\nu$.

k («ка») – волновое число

Это понятие, наверное, не проходят в старшей школе. Волновое число получается делением 2π на λ.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda},$$

$$k\lambda = 2\pi.$$

Как ясно из формулы, волновое число показывает изменение фазы колебаний на единицу расстояния (пространственную частоту). Отношение между k (волновым числом) и λ (длиной волны) такое же, как отношение между ω (угловой частотой) и T (периодом) – они обратно пропорциональны друг другу с коэффициентом 2π.

(2) Колебания и волны

В старшей школе для описания периодических процессов используют равномерное движение точки по окружности – проекция этой точки на взаимно перпендикулярные оси x и y, проходящие через центр окружности, даёт уравнения простых гармонических колебаний. Сдвиг по оси y этой точки через время t после начала движения, при условии равенства нулю начального сдвига, описывается уравнением:

$$y = A\sin\omega t.$$

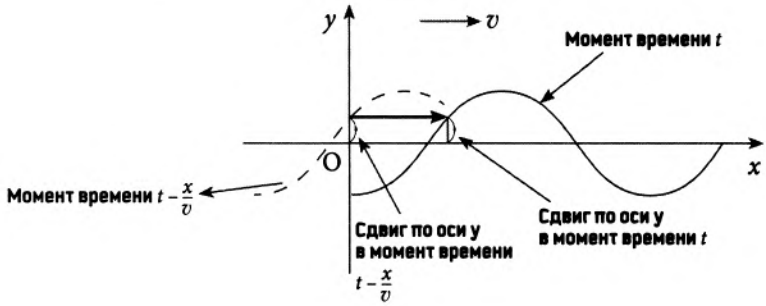
простое гармоническое колебание – проекция равномерного вращения точки на ось y

Это уравнение – первый шаг, с которого начинается долгий путь к уравнению Шрёдингера.

Точка, совершающая простые гармонические колебания, просто периодически двигается взад-вперёд по прямой линии, но волна – это то, что распространяется. В старшей школе изучают следующее уравнение волны:

$$y = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

где A – амплитуда; T – период; λ – длина волны.



В этом уравнении есть две переменные – x (расстояние) и t (время), поэтому оно может показаться сложным. Однако если принять $x = 0$, то оно превратится в уравнение простого гармонического колебания вдоль оси y:

$$y = A\sin 2\pi\frac{t}{T} = A\sin\omega t.$$

Сдвиг по оси y в точке x будет запаздывать, по сравнению с точкой O, на время $\frac{x}{v}$. Следовательно, если взять уравнение простых гармонических колебаний и заменить в нём t на $(t - \frac{x}{v})$, то мы получим уравнение волны, изучаемое в старшей школе:

$$y = A\sin 2\pi\left(\frac{t - x/v}{T}\right) =$$

$$= A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Используя ω и k, из этого уравнения можно убрать 2π:

$$y = A\sin(\omega t - kx).$$

Так как $\sin(-\theta) = -\sin\theta$, можно переписать уравнение как:

$$y = -A\sin(kx - \omega t).$$

Вот волновая функция ψ («пси»), которая появится в уравнении Шрёдингера:

$$\psi = A\cos(kx - \omega t) + Ai\sin(kx - \omega t) = Ae^{i(kx-\omega t)}.$$

Как видите, волновая функция уравнения Шрёдингера содержит в себе волновое уравнение из курса старшей школы, хотя обозначения могут отличаться. В старшей школе рассматривают синусоидальную волну, распространяющуюся в положительном направлении оси x, однако даже если она, например, будет распространяться в отрицательном направлении оси x, или будет косинусоидальной, или знак амплитуды будет отрицательным – всё равно она останется волной.

Как вы уже, наверное, догадываетесь, благодаря комплексным числам и экспоненциальной функции простая волновая функция преобразится так, что сможет описывать волну в пространстве, учитывать её затухание или усиление, и в таком новом виде будет использована в уравнении Шрёдингера.

(3) Импульс (количество движения) и энергия

Импульс и энергия – это всем известные основные физические величины, но давайте на всякий случай повторим и их.

Импульс (количество движения) в старшей школе изучают как векторную величину, равную произведению массы на скорость:

$$p = mv,$$

где p – импульс; m – масса; v – скорость.

Механическая энергия – это скалярная величина, равная сумме кинетической энергии (энергии движения) и потенциальной энергии (энергии положения).

Кинетическая энергия тела массой m, движущегося равномерно и прямолинейно:

$$E = \frac{1}{2}mv^2,$$

где E – энергия; m – масса; v – скорость.

Очевидно, что если помножить импульс на скорость, то получится величина той же размерности, что и энергия.

В качестве примера потенциальной энергии рассмотрим пружину, которую растянули на x по сравнению с длиной в естественном состоянии:

$$E = \frac{1}{2}kx^2,$$

где E – энергия; k – коэффициент упругости пружины; x – разность между длинами в растянутом и естественном состояниях пружины.

Помимо вышеописанных, для энергии существует множество других выражений. Например, энергия массы покоя частицы:

$$E = mc^2,$$

где E – энергия, c – скорость света.

Энергия фотона:

$$E = h\nu = pc,$$

где E – энергия; h – постоянная Планка; ν – частота; p – импульс; c – скорость света.

Думаю, многие в старшей школе изучали фотоэлектрический эффект. Если направить свет большой частоты (малой длины волны) на металлическую пластину, то из неё будут вылетать фотоэлектроны. При этом энергию одного фотоэлектрона можно записать так:

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W,$$

где W – работа выхода электрона из металла.

Хотя это формула из курса старшей школы, она может стать для вас мостиком в квантовую механику.

Специальная лекция

Уравнение Шрёдингера, которое сможет (наверное) немножко понять любой

Здравствуйте. Я Исикава, автор этой манги. Как заметила доцент Куби на стр. 169, вначале я тоже хотел закрыть глаза на уравнение Шрёдингера. Я очень люблю науку, зато формулы ненавижу (шутка).

Однако в глубине души я всё-таки мечтал каким-то образом одолеть его. Я просмотрел много учебников – структура изложения была одинакова везде: квантовое условие Бора → волны материи де Бройля, и сразу же за ним, неожиданно – уравнение Шрёдингера. «А что же происходило в период между де Бройлем и Шрёдингером?» – думал я, но изложение заканчивалось фразой типа: «В общем, Шрёдингер был гениален. Ха-ха-ха...» Читатели не поняли бы меня, пойди я по тому же пути. Но, к сожалению, я сам ничего в этом не понимаю.

Поэтому я попросил научного редактора этой манги – Кавабата Киёси, почётного профессора Токийского Университета естественных наук, прочитать здесь специальную лекцию. Привожу ниже её содержание.

От Эйнштейна к де Бройлю

Чтобы понять волновое уравнение Шрёдингера, необходимо ещё раз вернуть наш разговор к квантовой теории фотоэффекта, предложенной Эйнштейном. При падении света на определённые металлы, например цезий, из металла выходят электроны. В этом явлении, которое называется фотоэлектрическим эффектом, есть удивительная особенность: электроны не выходят из металла при падении на него света с большими длинами волн (малым числом колебаний). Размышляя над этим, Эйнштейн показал, что пора уже назвать свет потоком частиц под названием фотоны (световые кванты), энергия которых выражается следующей формулой:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \tag{1}$$

где E – энергия; h («ха») – постоянная Планка; ν («ню») – частота; c – скорость света; λ («лямбда») – длина волны.

В этом случае импульс фотона можно записать как:

$$p = h\nu \times \frac{1}{c} = \frac{hc}{\lambda} \times \frac{1}{c},$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \tag{2}$$

До этого уже было доказано, что свет – это один из видов волн, поэтому благодаря открытию Эйнштейна стало ясно, что свет «обладает свойствами как частицы, так и волны». Но если это так, значит, для света с большой длиной волны (низкочастотного, «слабого» света) приходящаяся на одну частицу (фотон) энергия будет малой (как видно из формулы (1)), поэтому она не сможет передать атому металла энергию, достаточную для вылета электрона, сколько ни увеличивай количество света (интенсивность освещения). Так была разгадана загадка фотоэлектрического эффекта.

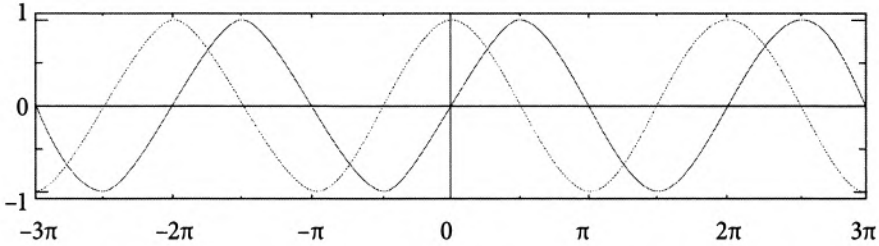
Однако если свет, считавшийся волной, имеет свойства частицы, то почему бы не предположить, что электрон, считавшийся частицей, является волной? Именно эта мысль натолкнула де Бройля на идею о «волнах материи».

Если электрон обладает волновыми свойствами, то нет ли уравнения, которое бы их описывало? И человеком, которого после чтения работы де Бройля посетила такая мысль, был Эрвин Шрёдингер. Кстати, теоретические вычисления волновых свойств света за 60 лет до этого выполнил Джеймс Клерк Максвелл – его уравнения считались основой основ электродинамики, и их знал всякий, изучающий физику. Может быть, Шрёдингер тоже мечтал о подобной славе.

Выражаем «волну» в виде формулы

Так как волна – это периодическое движение, её можно описать тригонометрическими функциями, такими как синус (sin) или косинус (cos). Вы хорошо это поймёте, взглянув на график, представленный ниже.

$$\sin x \text{ или } \cos x \tag{3}$$



Функции синуса (сплошная линия) и косинуса (пунктирная линия)

Однако для теоретических выкладок или расчёта значений на компьютере угол x обычно выражают в таких единицах, как радианы, в которых одному периоду соответствует значение 2π, а не 360°.

Чтобы свести выражения с синусом и косинусом воедино, мы будем использовать показательную функцию с числом e в качестве основания (эту константу называют также числом Непера, числом Эйлера или основанием натурального логарифма), то есть экспоненту. Число e, как и π, является одним из трансцендентных чисел и определяется, как написано ниже:

$$e = \lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n = 2{,}71828\ 18284\ 59045\ 23536\ 02874\ 71352\ldots \tag{4}$$

* $\lim\limits_{n\to\infty}$ означает предел, к которому стремится выражение при бесконечном увеличении значения n.

Есть такая формула Эйлера, которую изучают студенты научно-технических вузов. Её вывод я здесь приводить не буду, но выглядит она так:

$$e^{ix} = \cos x + i\sin x. \tag{5}$$

Эта формула удобна тем, что обеспечивает краткую запись тригонометрических функций.

Буква i здесь означает мнимую единицу, которую изучают в старшей школе. Если возвести её в квадрат, то получится –1. Мир квантовой механики нельзя полностью описать только действительными числами, поэтому пришлось использовать также комплексные числа, которые до этого считались воображаемыми.

Кроме того, обычная экспонента, то есть функция вида $y = e^{ax}$, растёт при увеличении x в том случае, если a – положительное число; и наоборот, уменьшается при увеличении x, если a – отрицательное. Другими словами, если включить в показатель экспоненты комплексное выражение, то можно с её помощью описывать усиливающиеся или затухающие волны, обладающие периодичностью, как синусоидальная или косинусоидальная волна.

$$i^2 = -1, \quad i = \sqrt{-1}. \tag{6}$$

Не правда ли, интересно, когда оказывается, что абстрактные математические понятия соответствуют реальным природным явлениям?

Связываем физические величины волны и частицы

Используя подобные размышления, можно определить описывающую волновые явления функцию ψ (волновую функцию «пси»), зависящую от координаты x и времени t:

$$\psi(x, t) = \psi_0 e^{i(kx-\omega t)}, \tag{7}$$

где ψ_0 – амплитуда волны; k – волновое число; ω – угловая частота.

Выражение (7) можно, в общем-то, записать с помощью тригонометрических функций:

$$\psi(x, t) = \psi_0 \cos(kx - \omega t) + i\psi_0 \sin(kx - \omega t). \tag{8}$$

Похоже, что Шрёдингер решил связать это выражение с приведёнными вначале формулами для энергии (1) и импульса (2) частицы. Здесь лучший метод – исследовать изменения функции (7) с помощью производной. Однако волновая функция имеет два аргумента – координату x и время t, поэтому нужно воспользоваться частными производными. Сначала нужно зафиксировать время t и исследовать пространственные изменения; затем – зафиксировать координату x и исследовать временные изменения.

Если зафиксировать время t и изменять только координату x, то получится следующее:

$$\begin{aligned}\frac{\partial\psi(x, t)}{\partial x} &= \psi_0 ike^{i(kx-\omega t)} = \\ &= \psi_0 \times ik \times e^{i(kx-\omega t)} = \\ &= ik\psi(x, t).\end{aligned} \tag{9}$$

Затем, зафиксировав координату x и изменяя только t, с помощью аналогичного правила дифференцирования получим:

$$\frac{\partial\psi(x, t)}{\partial t} = -\omega\psi. \tag{10}$$

Дальше будем преобразовывать эти выражения и искать связь между ними и формулами (1) и (2). Шрёдингер придумал домножить выражения (9) и (10) на следующую константу:

$$-i\frac{h}{2\pi}.$$

В действительности это здесь основной момент.

Благодаря этому в конечном итоге удалось свести всё к очень красивому виду:

$$-i\frac{h}{2\pi}\frac{\partial\psi(x, t)}{\partial x} = -i\frac{h}{2\pi} \times i\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\psi(x, t) = \frac{h}{\lambda}\psi(x, t) = p\psi(x, t); \tag{11}$$

$$-i\frac{h}{2\pi}\frac{\partial\psi(x, t)}{\partial t} = -i\frac{h}{2\pi} \times (-i\omega\psi(x, t)) =$$

$$= -\frac{h}{2\pi} \times 2\pi\nu\psi(x, t) = -h\nu\psi(x, t) = -E\psi(x, t). \tag{12}$$

Далее, так как в выражениях часто встречается $\frac{h}{2\pi}$, можно заменить постоянную Планка h на $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ («ха с чертой», другие названия: приведённая постоянная Планка, постоянная Дирака):

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}. \tag{13}$$

Тогда мы имеем следующее:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h}{2\pi} = k\hbar; \tag{14}$$

$$E = h\nu = \frac{h}{2\pi} \cdot 2\pi\nu = \hbar\omega. \tag{15}$$

Переписав выражения (11), (12):

$$p\psi(x, t) = -i\hbar\frac{\partial}{\partial x}\psi(x, t); \tag{16}$$

$$E\psi(x, t) = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(x, t), \tag{17}$$

мы увидим, что импульсу соответствует оператор*:

$$-i\hbar\frac{\partial}{\partial x}, \tag{18}$$

а энергии – оператор:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}. \tag{19}$$

Переходим к уравнению для трёхмерного пространства

До этого мы рассматривали уравнение только для оси x. Однако в трёхмерном пространстве, естественно, имеются 3 координаты, поэтому импульс образован тремя составляющими по каждой из осей и в общем случае записывается как $\boldsymbol{p}(p_x, p_y, p_z)$. Если обозначить единичные векторы* осей x, y и z как e_x, e_y и e_z соответственно, то оператор, соответствующий импульсу, будет выглядеть так:

$$p \to e_x\left(-i\hbar\frac{\partial}{\partial x}\right) + e_y\left(-i\hbar\frac{\partial}{\partial y}\right) + e_z\left(-i\hbar\frac{\partial}{\partial z}\right) =$$
$$= -i\hbar\left(e_x\frac{\partial}{\partial x} + e_y\frac{\partial}{\partial y} + e_z\frac{\partial}{\partial z}\right) = -i\hbar\nabla. \tag{20}$$

Маленький перевёрнутый треугольник называют оператором градиента, или оператором набла. Его определение следующее:

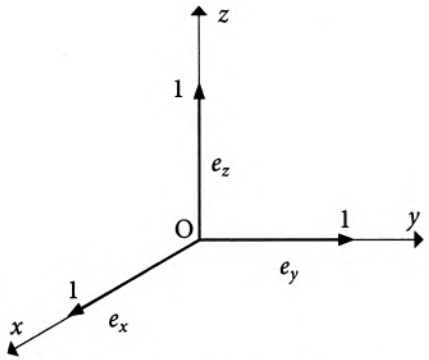
$$\nabla \equiv e_x\frac{\partial}{\partial x} + e_y\frac{\partial}{\partial y} + e_z\frac{\partial}{\partial z}. \tag{21}$$

Вообще, замена часто используемых выражений на значки значительно облегчает изучение математических выкладок.

---

* Оператор – это обозначение математических операций, таких как дифференцирование или поворот, в отношении некоторой величины или функции.

* Единичный вектор – это вектор, длина которого равна единице, а направление оговаривается отдельно. Например, e_x означает единичный вектор, сонаправленный с осью x. В координатах x, y, z его можно записать как (1, 0, 0).



Базовые единичные векторы e_x, e_y и e_z, взятые по осям x, y и z

Ньютоновская механика, рассматривая движение материальной точки массой m (то есть точки, у которой есть масса, но нет объёма) в силовом поле с потенциалом U, устанавливает следующую связь между её энергией E и импульсом p:

$$E = \frac{p^2}{2m} + U(x, y, z, t). \tag{22}$$

Подставив в эту формулу только что найденные операторы (19), (20), получим:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t} = \frac{1}{2m}(-i\hbar\nabla)^2 + U(x, y, z, t) =$$
$$= -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(x, y, z, t). \tag{23}$$

Из выражения (21) можно вывести следующее равенство:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x} + \frac{\partial^2}{\partial y} + \frac{\partial^2}{\partial z}. \tag{24}$$

Используя его*, можно записать:

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x, y, z, t)}{\partial t} = \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(x, y, z, t)\right)\psi(x, y, z, t) \tag{25}$$

или:

$$\boxed{i\hbar\frac{\partial\psi(x, y, z, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(x, y, z, t) + U(x, y, z, t)\psi(x, y, z, t).} \tag{26}$$

---

* ∇^2 иногда записывают как Δ, который называют оператором Лапласа, или лапласианом.

Это соотношение и называют «волновым уравнением Шрёдингера», или «уравнением Шрёдингера, зависящим от времени».

Существуют несколько способов записи этого выражения. Если использовать оператор H, выражающий полную энергию (гамильтониан):

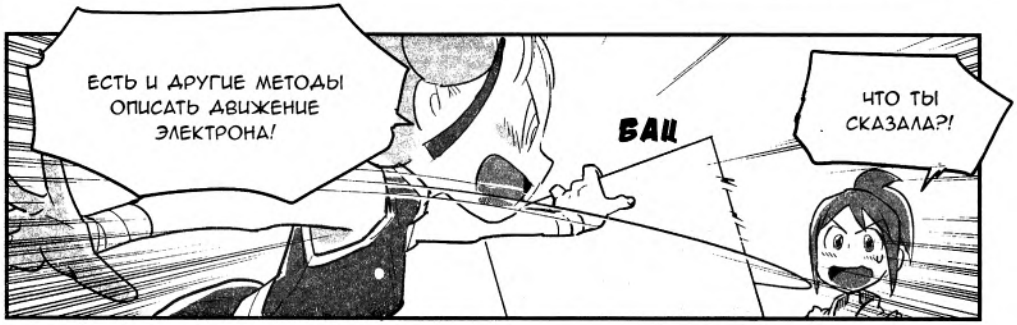
$$H \equiv -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(x, y, z, t), \tag{27}$$

то можно упростить запись таким образом:

$$i\hbar \frac{\partial\psi(x, y, z, t)}{\partial t} = H\psi(x, y, z, t). \tag{28}$$

Эта запись имеет точно такой же смысл.

Читателям, которые хотят узнать про метод решения более подробно, советую прочитать объяснение, начинающееся на стр. 229.



УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГЕЙЗЕНБЕРГА.

$$i\hbar\frac{dA(t)}{dt} = [A(t), H] = A(t)H - HA(t),$$

где i – мнимая единица; $\hbar$ – постоянная Дирака; d – знак дифференциала; t – время; $A(t)$ – физическая величина, зависящая от времени ; H (гамильтониан) – оператор, соответствующий энергии системы.

ЗАМЕНА АТЛЕТА!
НА ТЕБЯ ВСЯ НАДЕЖДА...
ДА ТЫ ЖЕ ПЛОХО РАЗБИРАЕШЬСЯ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ!
УФФ...
ГЕЙЗЕНБЕРГ ЕЩЁ РАНЬШЕ ШРЁДИНГЕРА ПЫТАЛСЯ МАТЕМАТИЧЕСКИ ОПИСАТЬ ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ.
РЕВОЛЮЦИОННОСТЬ ГЕЙЗЕНБЕРГА ЗАКЛЮЧАЛАСЬ В ТОМ, ЧТО ЕГО СОВЕРШЕННО НЕ ВОЛНОВАЛО, ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОН – ЧАСТИЦА ИЛИ ВОЛНА.
БОЛЕЕ ТОГО, ОН НА ВРЕМЯ ВООБЩЕ ЗАБЫЛ ПРО ТАКОЕ ПОНЯТИЕ – "ОРБИТА ЭЛЕКТРОНА", СОСРЕДОТОЧИВШИСЬ НА ТОМ, ЧТОБЫ МАТЕМАТИЧЕСКИ ВЫРАЗИТЬ СВЯЗЬ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ И ИЗЛУЧАЕМОГО ИМ СВЕТОВОГО СПЕКТРА.

ТО ЕСТЬ ОН РАССМАТРИВАЛ АТОМ КАК "ЧЁРНЫЙ ЯЩИК"?
?

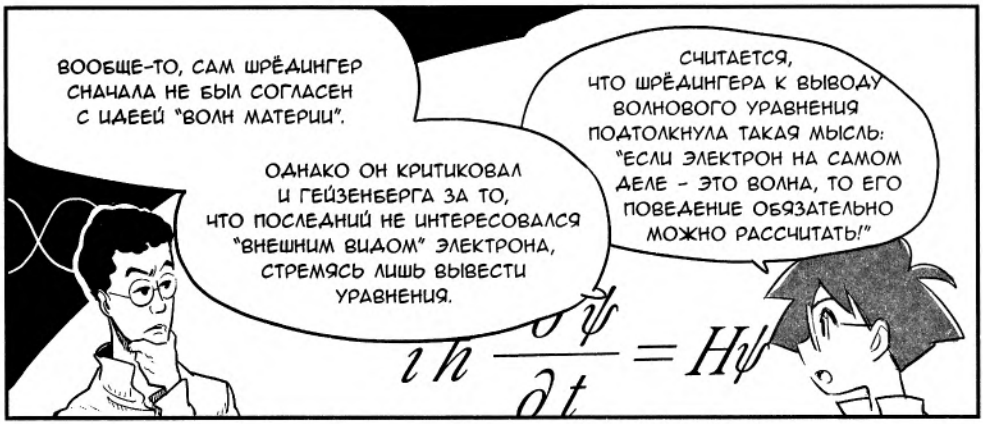
ВОТ ИМЕННО. ВЗЯВ ТОЛЬКО ЕГО ВНЕШНИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ, ДОСТУПНЫЕ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ, – СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ И ЧАСТОТУ, ОН ПЫТАЛСЯ СВЯЗАТЬ ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИ.
МММ...

СПАСИБО, КАНТА!
МНЕ ПОМОГЛИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАНЯТИЯ!

ПОСТОЙ...

НЕ КАЖЕТСЯ ЛИ ТЕБЕ, ЧТО ЭТО ПОХОЖЕ НА УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА?

ДА! ЭТИ УРАВНЕНИЯ ПОХОЖИ.


ВООБЩЕ-ТО, САМ ШРЁДИНГЕР СНАЧАЛА НЕ БЫЛ СОГЛАСЕН С ИДЕЕЙ "ВОЛН МАТЕРИИ".
ОДНАКО ОН КРИТИКОВАЛ И ГЕЙЗЕНБЕРГА ЗА ТО, ЧТО ПОСЛЕДНИЙ НЕ ИНТЕРЕСОВАЛСЯ "ВНЕШНИМ ВИДОМ" ЭЛЕКТРОНА, СТРЕМЯСЬ ЛИШЬ ВЫВЕСТИ УРАВНЕНИЯ.
СЧИТАЕТСЯ, ЧТО ШРЁДИНГЕРА К ВЫВОДУ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ ПОДТОЛКНУЛА ТАКАЯ МЫСЛЬ: "ЕСЛИ ЭЛЕКТРОН НА САМОМ ДЕЛЕ – ЭТО ВОЛНА, ТО ЕГО ПОВЕДЕНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО МОЖНО РАССЧИТАТЬ!"
$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$

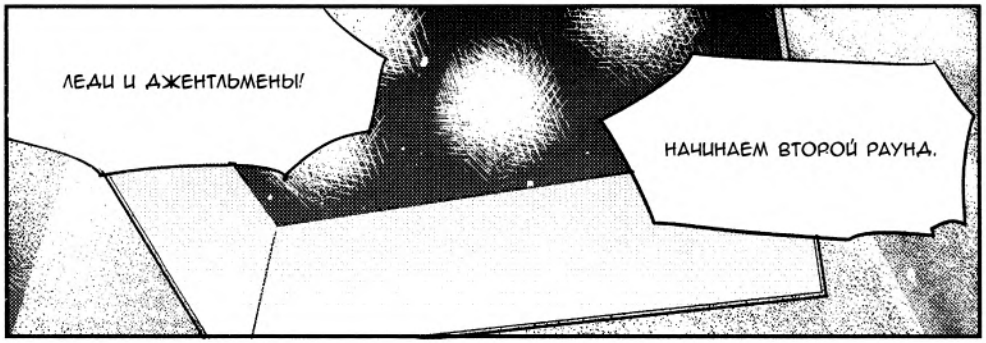
ОТРИЦАНИЕ ОТРИЦАНИЯ ПРИВОДИТ К УТВЕРЖДЕНИЮ...
МОЖНО ТАК СКАЗАТЬ?
НАВЕРНО, МОЖНО.
ВЕДЬ ШРЁДИНГЕР ПОМИМО СОБСТВЕННОЙ ВОЛИ ПОКАЗАЛ, ЧТО ЕГО УРАВНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИ РАВНОЦЕННО УРАВНЕНИЮ ГЕЙЗЕНБЕРГА.

НО В РЕЗУЛЬТАТЕ БОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫМ СТАЛО УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА, ПОТОМУ ЧТО ОНО ЧЁТКО УТВЕРЖДАЕТ СУЩЕСТВОВАНИЕ ВОЛН МАТЕРИИ.

ЗНАЧИТ, Я ПОБЕДИЛА?!
НЕТ, ВООБЩЕ-ТО, ШРЁДИНГЕР...

ЭТО НЕЧЕСТНО! ДА И КОМАНДА У НИХ БОЛЬШЕ...

ВСЁ НОРМАЛЬНО. НЕ ПЕРЕЖИВАЙ.
ШУ
ШУ


ЛЕДИ И ДЖЕНТЛЬМЕНЫ!
НАЧИНАЕМ ВТОРОЙ РАУНД.

ОБЪЯВЛЯЮ О НЕБОЛЬШОМ ИЗМЕНЕНИИ НАЗВАНИЯ КОМАНДЫ ШРЁДИНГЕРА, ПОБЕДИВШЕЙ В ПЕРВОМ РАУНДЕ.

ТЕПЕРЬ ЭТО СМЕШАННАЯ КОМАНДА ШРЁДИНГЕРА, ЭЙНШТЕЙНА, ПЛАНКА И ДЕ БРОЙЛЯ!
ОГО, КОМАНДА МЕЧТЫ!

НАЗВАНИЕ КОМАНДЫ ГЕЙЗЕНБЕРГА ТОЖЕ МЕНЯЕТСЯ!
ТЕПЕРЬ ЭТО СМЕШАННАЯ КОМАНДА ГЕЙЗЕНБЕРГА, БОРА И БОРНА.
КТО ТАКОЙ БОРН?
ЗАТО ЗА НАС – САМ ВЕЛИКИЙ ЭЙНШТЕЙН!
ММ...
ДА, ПОЯВИЛОСЬ НОВОЕ ИМЯ.
МАКС БОРН – АНГЛИЙСКИЙ ФИЗИК-ТЕОРЕТИК, РОДИВШИЙСЯ В ГЕРМАНИИ. ПО СРАВНЕНИЮ СО ШРЁДИНГЕРОМ ИЛИ ГЕЙЗЕНБЕРГОМ, ОН ПРОИЗВОДИТ БОЛЕЕ ПРИЗЕМЛЁННОЕ ВПЕЧАТЛЕНИЕ.
НО НА САМОМ ДЕЛЕ ОН – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЁНЫЙ, ВПЕРВЫЕ ИСПОЛЬЗОВАВШИЙ ПОНЯТИЕ "ВЕРОЯТНОСТЬ" В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ.
Макс Борн (1882–1970)
ВПОСЛЕДСТВИИ ВЕРОЯТНОСТЬ СТАНЕТ ОДНИМ ИЗ ЕЁ ВАЖНЫХ ПОНЯТИЙ.

ИТАК, GO FIGHT!
ДА КТО ТАКОЙ ЭТОТ ВАШ БОРН?!
ТОП
ХВАТЬ...
ЕСТЕСТВЕННО, ЧТО КОМАНДА ШРЁДИНГЕРА ДУМАЕТ ТАК.
НА СЛЕДУЮЩИЙ ГОД ПОСЛЕ ПУБЛИКАЦИИ ЕГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ БЫЛО ОТКРЫТО, ЧТО ТАКИЕ ЯВЛЕНИЯ, КАК ДИФРАКЦИЯ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ, ИМЕЮТ МЕСТО И ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ (КАТОДНЫХ) ЛУЧЕЙ. ДРУГИМИ СЛОВАМИ, СУЩЕСТВОВАНИЕ ВОЛН МАТЕРИИ ДЕ БРОЙЛЯ БЫЛО ДОКАЗАНО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО.
ВОТ ТАК! ЭЛЕКТРОН НА САМОМ ДЕЛЕ – ВОЛНА!
ИМЕННО ШРЁДИНГЕР ШЁЛ ВПЕРЕДИ ЭПОХИ!

НУ, ЭТО МЫ ЕЩЁ ПОСМОТРИМ.
КАННА!
ЭЛЕКТРОН, ЯВЛЯЯСЬ ВОЛНОЙ, ОДНОВРЕМЕННО С ЭТИМ ЯВЛЯЕТСЯ ЧАСТИЦЕЙ.
ЧТО?
ММ...
У ТЕБЯ ДЫРЯВАЯ ЗАЩИТА!
КИЯ!
ОПЯТЬ?!
ДА!
ПЛЮХ
ГХ...
ТАК ЧТО ЖЕ ЭТО ТАКОЕ – ЭЛЕКТРОН?
ВОТ ЭТО ДА...

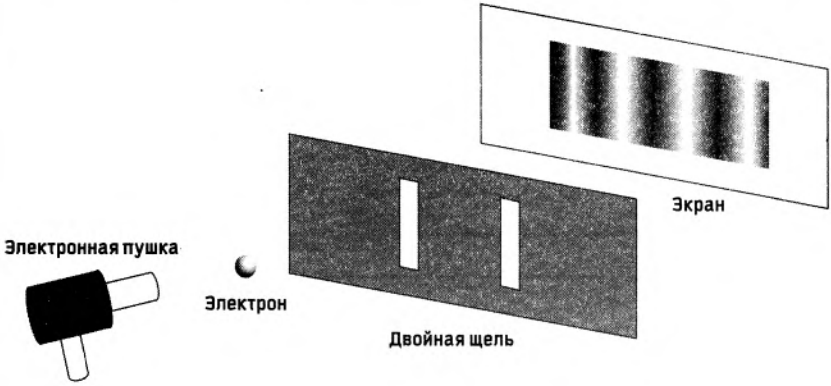
Как видите, в команде Шрёдингера возникли небольшие трудности.

Важным моментом здесь станет опыт пропускания электронных лучей через двойную щель.

Для начала взгляните на рисунок внизу.

Опыты по дифракции и интерференции электронных лучей

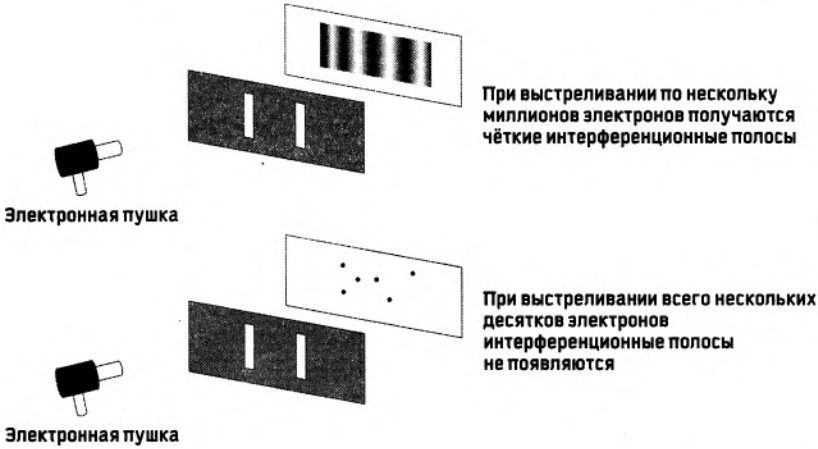
Если пропускать электронный луч из электронной пушки через двойную щель, то появляются полосы, свидетельствующие об интерференции.



Опыты с двойной щелью для подтверждения волновых свойств света проводились начиная с 1805 года.
А в данном случае вместо света были использованы электронные лучи.

В этом опыте с электронными лучами на детектирующем экране (в качестве которого используется, например, фотоплёнка) появляются интерференционные полосы, характерные для волн. Этот факт должен был стать сильным аргументом в пользу Шрёдингера, опубликовавшего волновое уравнение.

Однако когда этот опыт повторяли, каждый раз по-всякому меняя условия, зародилось также сомнение в том, что электрон – это волна. Дело в том, что когда в электронном пучке было много электронов – по нескольку миллионов штук, действительно получались чёткие интерференционные полосы. Но когда электронов было несколько тысяч штук, то полосы получались плохими, а когда всего несколько десятков – полос не было вообще.



Некоторые ошибочно утверждают, что если электронов мало, то полосы получаются бледными. На самом деле полос не образуется вовсе.

Другими словами, электрон – это всё-таки частица, при этом проявляющая свойства волны. Человеком, который задумался над причиной этого и предложил одну гипотезу, был Макс Борн.

ПОНИМАЕШЬ ЛИ ТЫ, ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ: "БЫТЬ ЧАСТИЦЕЙ, ПРИ ЭТОМ ЯВЛЯЯСЬ ВОЛНОЙ"?
МММ...
НЕ ПОНИМАЮ!
ВО ВТОРОМ РАУНДЕ ПОБЕДУ ОДЕРЖАЛА ДЮЙМОВОЧКА!
ПРЫГ
УРА!
ПРЫГ
ИТАК, ТЕПЕРЬ АТЛЕТ КАНТА ПОНЯТНЫМ ЯЗЫКОМ РАССКАЖЕТ НАМ ПРО ВЕРОЯТНОСТНУЮ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ БОРНА.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВОЛНА – ЭТО ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО, ЧТО ЭЛЕКТРОН БУДЕТ ОБНАРУЖЕН.

МАКС БОРН

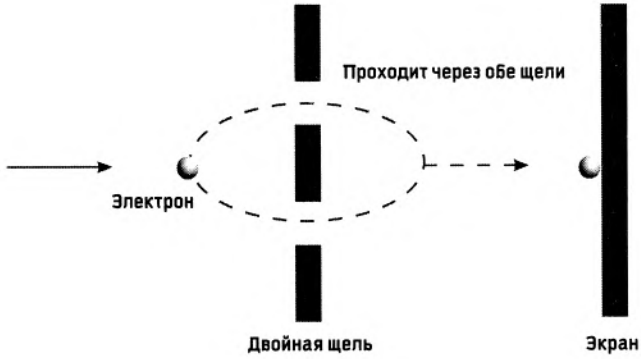
НО ЕСЛИ МЫ УЖЕ ОБНАРУЖИЛИ ЭЛЕКТРОН?
В ТОТ МОМЕНТ, КОГДА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА ОБНАРУЖЕНО, НАПРИМЕР С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНА, ВЕРОЯТНОСТЬ НАЙТИ ЕГО В ДРУГОМ МЕСТЕ ИСЧЕЗАЕТ.
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЛНА ВЕРОЯТНОСТИ ЕГО ПОЯВЛЕНИЯ СЖИМАЕТСЯ (СХЛОПЫВАЕТСЯ).

Я ПОНЯЛА!

ТА-ДАМ
В ОБЩЕМ, ЭЛЕКТРОН, КОТОРЫЙ ЯВЛЯЕТСЯ ЧАСТИЦЕЙ, ЛЕТАЕТ ТАМ, ГДЕ ЕМУ ВЗДУМАЕТСЯ, А ЭЛЕКТРОННАЯ ВОЛНА ПОКАЗЫВАЕТ ЧАСТОТУ ЕГО ПРЕБЫВАНИЯ В РАЗНЫХ ТОЧКАХ ПРОСТРАНСТВА, ТАК?
Электрон
Электрон
Электрон
Электрон
Ты здесь!

ЗДЕСЬ МНОГИЕ СОВЕРШАЮТ ОШИБКУ!

ПРЕДСТАВИМ, НАПРИМЕР, ЧТО ИЗ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ ВЫСТРЕЛИЛИ В ДВОЙНУЮ ЩЕЛЬ ОДНИМ-ЕДИНСТВЕННЫМ ЭЛЕКТРОНОМ.
ЕСЛИ ЭЛЕКТРОН – ЭТО ЧАСТИЦА, ТО ОН МОЖЕТ ПРОЙТИ ТОЛЬКО ЧЕРЕЗ ОДНУ ИЗ ЩЕЛЕЙ. ОДНАКО ДАЖЕ ОДИН ЭЛЕКТРОН ПОПАДАЕТ НА ПРОТИВОПОЛОЖНУЮ СТОРОНУ, ПРОЙДЯ СРАЗУ ЧЕРЕЗ ОБЕ ЩЕЛИ.
ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ВЫПУЩЕННЫЙ ИЗ ПУШКИ В КАЧЕСТВЕ ЧАСТИЦЫ, ОН ПОЛНОСТЬЮ ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ВОЛНУ ВО ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЩЕЛИ, А ЗАТЕМ ОПЯТЬ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В СОСТОЯНИЕ "ОДНОГО ЭЛЕКТРОНА".



Какое-то привидение получается!

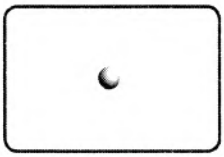
Мне кажется, я понимаю, в чём тут дело.

В чём же?

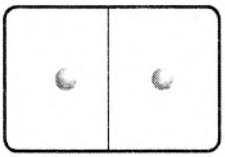
Представьте процесс деления вещества пополам. Вот мы дошли до какой-то частицы, и кто-то сказал: «Дальше делить невозможно». Но у нас останется сомнение: «Почему нельзя разделить и эту частицу?» Но если эта частица – электрон вот с такими свойствами, то нам остаётся только смириться.
И парадокс пудинга на этом закончится...

Не нужно смиряться. Но, в самом деле, электрон в виде волны нельзя разделить пополам. Да и другие формирующие материю элементарные частицы при усилении их волновых свойств разделить, похоже, будет непросто...

Пусть, например, мы поместили один электрон в коробку, а затем вставили в середину перегородку, делящую коробку на два равных отсека. В этом случае вероятности нахождения электрона в левом или правом отсеке равны между собой и составляют 50%.



В коробке находится один электрон



Не проверяя, где находится электрон, мы разделяем коробку на два равных отсека с помощью перегородки. Тогда электрон будет находиться на 50% в левом отсеке и на 50% в правом (состояние сосуществования).
*** Это не означает, что в действительности он будет находиться в одном из отсеков**

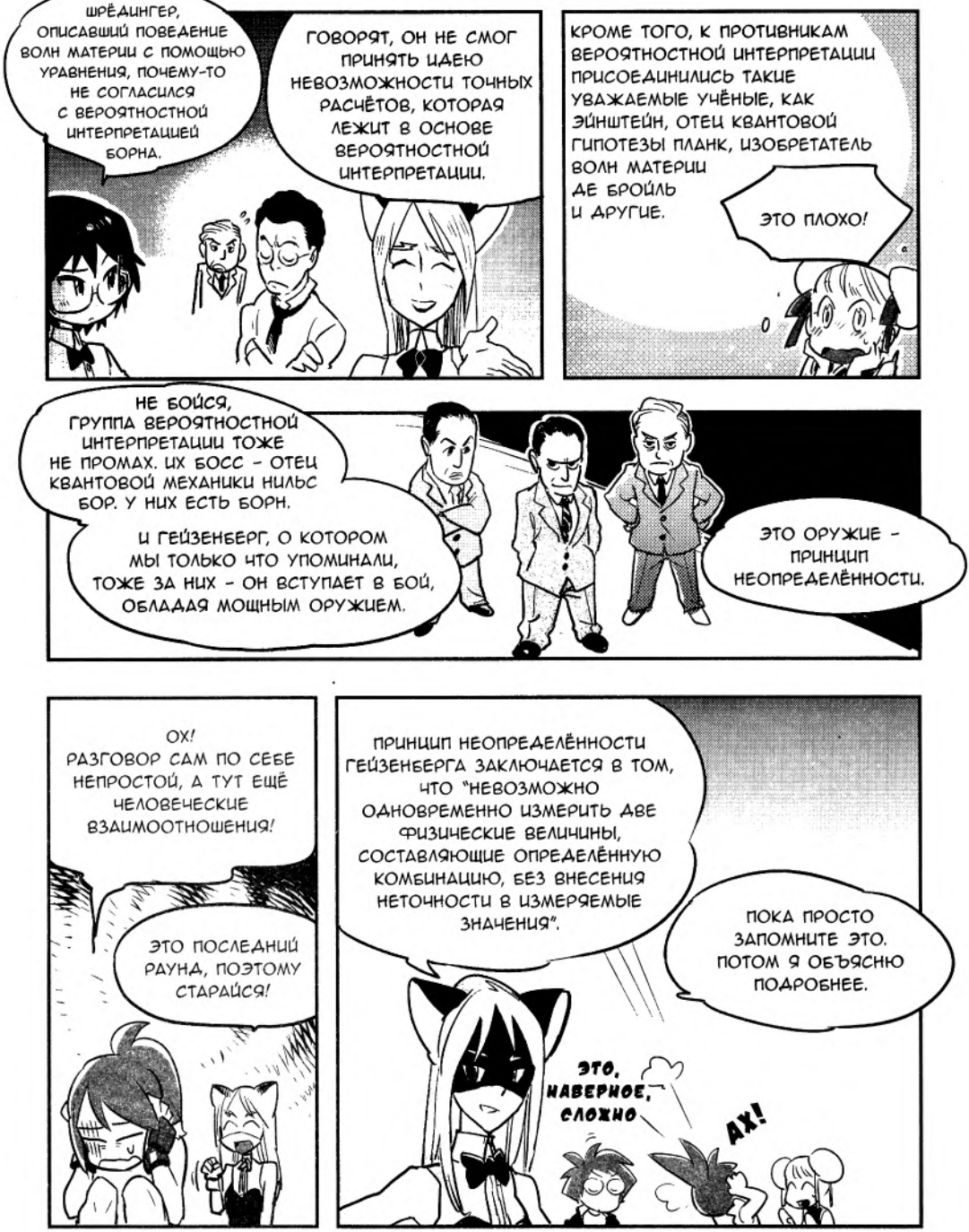
Если открыть коробку, направить свет и проверить местоположение электрона, то состояние сосуществования будет нарушено (другими словами, волна вероятности обнаружения схлопнется), и электрон обнаружится либо в левом, либо в правом отсеке

Если бы там просто летала частица, то, разделив коробку пополам, мы бы тем самым обеспечили её пребывание только в одном из отсеков. А с электроном, значит, всё по-другому.

Именно так. До момента обнаружения мы не имеем права считать, что электрон находится, например, в левом или в правом отсеке коробки.

Такое ощущение, что играешь в прятки с барабашками.

Хи-хи…


ШРЁДИНГЕР, ОПИСАВШИЙ ПОВЕДЕНИЕ ВОЛН МАТЕРИИ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ, ПОЧЕМУ-ТО НЕ СОГЛАСИЛСЯ С ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИЕЙ БОРНА.
ГОВОРЯТ, ОН НЕ СМОГ ПРИНЯТЬ ИДЕЮ НЕВОЗМОЖНОСТИ ТОЧНЫХ РАСЧЁТОВ, КОТОРАЯ ЛЕЖИТ В ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ.
КРОМЕ ТОГО, К ПРОТИВНИКАМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРИСОЕДИНИЛИСЬ ТАКИЕ УВАЖАЕМЫЕ УЧЁНЫЕ, КАК ЭЙНШТЕЙН, ОТЕЦ КВАНТОВОЙ ГИПОТЕЗЫ ПЛАНК, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ ВОЛН МАТЕРИИ ДЕ БРОЙЛЬ И ДРУГИЕ.
ЭТО ПЛОХО!
НЕ БОЙСЯ, ГРУППА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТОЖЕ НЕ ПРОМАХ. ИХ БОСС – ОТЕЦ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ НИЛЬС БОР. У НИХ ЕСТЬ БОРН.
И ГЕЙЗЕНБЕРГ, О КОТОРОМ МЫ ТОЛЬКО ЧТО УПОМИНАЛИ, ТОЖЕ ЗА НИХ – ОН ВСТУПАЕТ В БОЙ, ОБЛАДАЯ МОЩНЫМ ОРУЖИЕМ.
ЭТО ОРУЖИЕ – ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ.
ОХ! РАЗГОВОР САМ ПО СЕБЕ НЕПРОСТОЙ, А ТУТ ЕЩЁ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ!
ЭТО ПОСЛЕДНИЙ РАУНД, ПОЭТОМУ СТАРАЙСЯ!
ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТОМ, ЧТО "НЕВОЗМОЖНО ОДНОВРЕМЕННО ИЗМЕРИТЬ ДВЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, СОСТАВЛЯЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЁННУЮ КОМБИНАЦИЮ, БЕЗ ВНЕСЕНИЯ НЕТОЧНОСТИ В ИЗМЕРЯЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ".
ПОКА ПРОСТО ЗАПОМНИТЕ ЭТО. ПОТОМ Я ОБЪЯСНЮ ПОДРОБНЕЕ.
ЭТО, НАВЕРНОЕ, СЛОЖНО
АХ!

5.4. НЕВОЗМОЖНО ОДНОВРЕМЕННО ОПРЕДЕЛИТЬ «ГДЕ НАХОДИТСЯ?» И «КАК ДВИЖЕТСЯ?»

Это – принцип неопределённости!

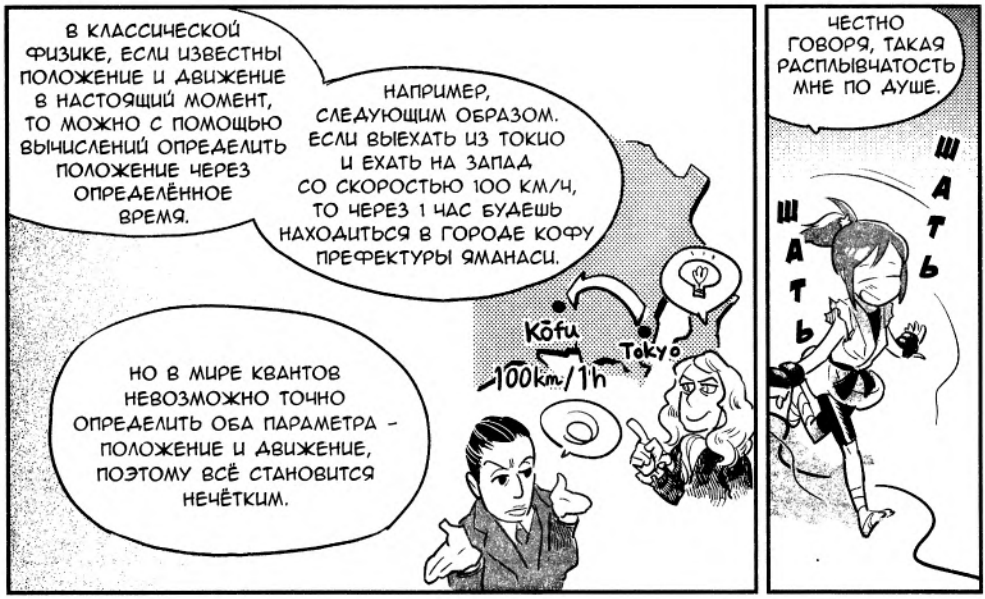
Для случая координаты и импульса:

$$\Delta x \times \Delta p = h,$$

(Интервал неопределённости координаты) × (Интервал неопределённости импульса) = Постоянная Планка,

где x – координата; p – импульс; Δ – интервал неопределённости; h – постоянная Планка ($6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

РАССМОТРИМ, НАПРИМЕР, ПОЛОЖЕНИЕ И ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА. ЕСЛИ МЫ ТОЧНО ОПРЕДЕЛИМ ПОЛОЖЕНИЕ (ТО ЕСТЬ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ПРИБЛИЗИМ ОШИБКУ ИЗМЕРЕНИЙ Δx К НУЛЮ), ТО НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СТАНУТ НЕОПРЕДЕЛЁННЫМИ, А ЕСЛИ МЫ, НАОБОРОТ, ТОЧНО ОПРЕДЕЛИМ НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ (ТО ЕСТЬ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ПРИБЛИЗИМ ОШИБКУ ИЗМЕРЕНИЙ Δp К НУЛЮ), ТО НЕОПРЕДЕЛЁННЫМ СТАНЕТ ПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ.


В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ, ЕСЛИ ИЗВЕСТНЫ ПОЛОЖЕНИЕ И ДВИЖЕНИЕ В НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ, ТО МОЖНО С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛЕНИЙ ОПРЕДЕЛИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ ЧЕРЕЗ ОПРЕДЕЛЁННОЕ ВРЕМЯ.
НАПРИМЕР, СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ. ЕСЛИ ВЫЕХАТЬ ИЗ ТОКИО И ЕХАТЬ НА ЗАПАД СО СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч, ТО ЧЕРЕЗ 1 ЧАС БУДЕШЬ НАХОДИТЬСЯ В ГОРОДЕ КОФУ ПРЕФЕКТУРЫ ЯМАНАСИ.
Kōfu
Tokyo
100km/1h
НО В МИРЕ КВАНТОВ НЕВОЗМОЖНО ТОЧНО ОПРЕДЕЛИТЬ ОБА ПАРАМЕТРА – ПОЛОЖЕНИЕ И ДВИЖЕНИЕ, ПОЭТОМУ ВСЁ СТАНОВИТСЯ НЕЧЁТКИМ.
ЧЕСТНО ГОВОРЯ, ТАКАЯ РАСПЛЫВЧАТОСТЬ МНЕ ПО ДУШЕ.
ШАТЬ
ШАТЬ

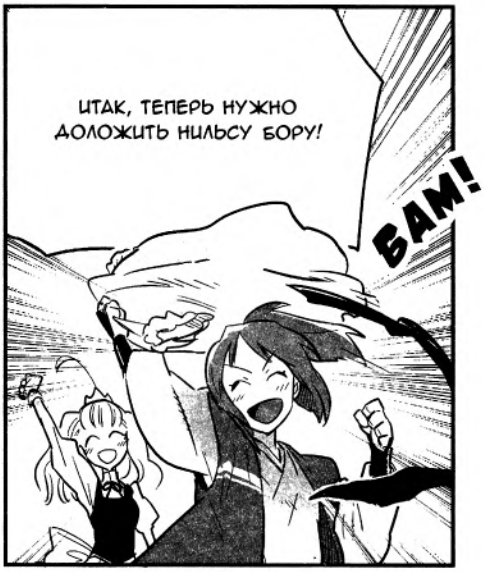
ОДНАКО НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ ТОЖЕ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ПРОБЛЕМЫ.
КЛАЦ
ШАТЬ
ШАТЬ
КЛАЦ

ЭЙНШТЕЙН ТОЖЕ НЕ МОГ СОГЛАСИТЬСЯ С ЭТИМ – ВОЗНИК БОЛЬШОЙ НАУЧНЫЙ СПОР.
В ЭТОМ СПОРЕ В ИТОГЕ ПОБЕДИЛА ШКОЛА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВО ГЛАВЕ С БОРОМ.
° ЭТУ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ ОТСТАИВАЛИ УЧЁНЫЕ, СОБРАВШИЕСЯ В ИНСТИТУТЕ НИЛЬСА БОРА, ПОЭТОМУ ИХ НАЗЫВАЮТ КОПЕНГАГЕНСКОЙ ШКОЛОЙ, А САМУ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ – КОПЕНГАГЕНСКОЙ.

КАК ИМ УДАЛОСЬ ПОБЕДИТЬ?

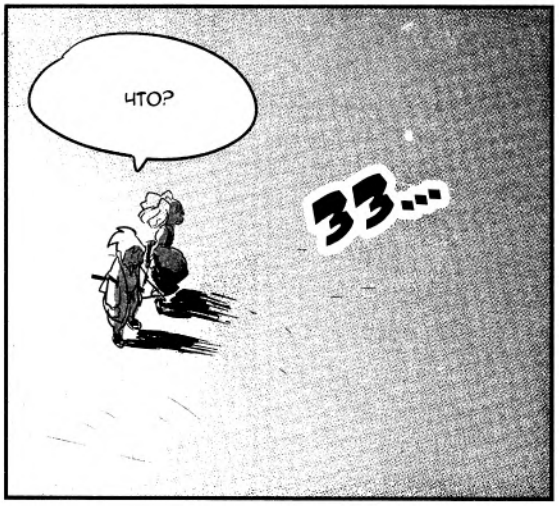
ШРЁДИНГЕР И ЕГО СТОРОННИКИ ПЫТАЛИСЬ НАЙТИ НОВОЕ УРАВНЕНИЕ ФИЗИКИ, КОТОРОЕ ПОМОГЛО БЫ ОПРОВЕРГНУТЬ ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ, ОДНАКО ТАК И НЕ СМОГЛИ ВЫЧИСЛИТЬ ОДНОВРЕМЕННО КООРДИНАТУ И ИМПУЛЬС, ОПРОВЕРГНУВ УТВЕРЖДЕНИЕ ГЕЙЗЕНБЕРГА О НЕВОЗМОЖНОСТИ ЭТО СДЕЛАТЬ.
ПОЭТОМУ ПО ПРОШЕСТВИИ ОПРЕДЕЛЁННОГО ВРЕМЕНИ ПОБЕДА БЫЛА ПРИЗНАНА ЗА ШКОЛОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ.

ЭТИ СОБЫТИЯ ПРОИСХОДИЛИ В 1920-Х ГОДАХ – ЭПОХУ НАИБОЛЕЕ СТРЕМИТЕЛЬНОГО ПРОГРЕССА КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ.


ИТАК, ТЕПЕРЬ НУЖНО ДОЛОЖИТЬ НИЛЬСУ БОРУ!
БАМ!

Институт теоретической физики
ГОСПОДИН БОР!

ПОХОЖЕ, ВАШИ СЛОВА ОКАЗАЛИСЬ ВЕРНЫМИ.


ЧТО?
ЗЗ...

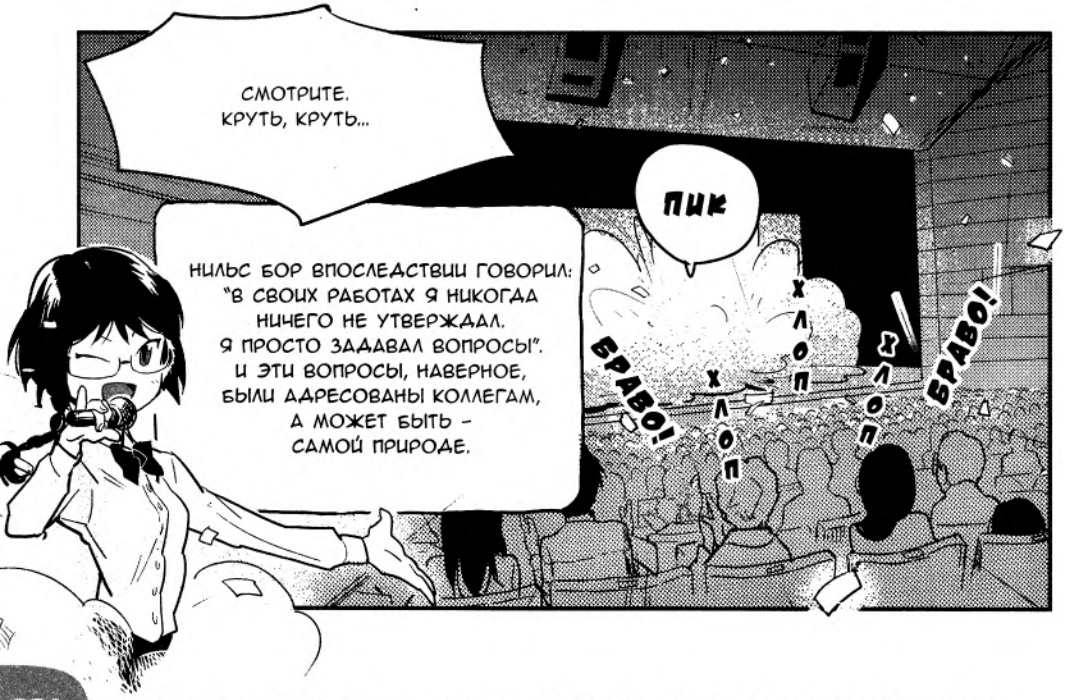
* Старая японская сказка о путешествии во времени. – *Прим. перев.*

ПОЭТОМУ ИЗУЧАТЬ ЕЁ СОВСЕМ НЕ СКУЧНО...
КАК? РАЗВЕ МЫ ЕЩЁ НЕ ВСЁ ИЗУЧИЛИ?

НЕТ, ВЕДЬ ЕЩЁ ЕСТЬ ТЕОРИЯ СУПЕРСТРУН, МНОГОМИРОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МНОГОЕ ДРУГОЕ!
КАК ИНТЕРЕСНО!

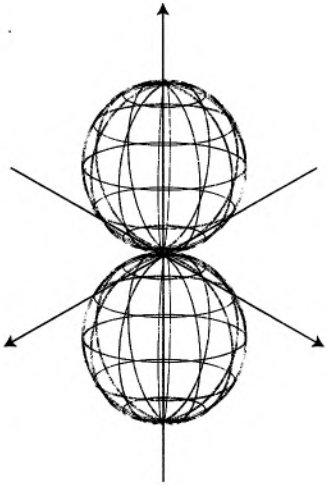
ИССУМБОСИ, ДАВАЙ СКОРЕЕ!
ЧТО, ОПЯТЬ МОЛОТОЧЕК?
ПРЫГ
СКОК

ЛАДНО, НИЧЕГО НЕ ПОДЕЛАЕШЬ.


СМОТРИТЕ. КРУТЬ, КРУТЬ...
НИЛЬС БОР ВПОСЛЕДСТВИИ ГОВОРИЛ: "В СВОИХ РАБОТАХ Я НИКОГДА НИЧЕГО НЕ УТВЕРЖДАЛ. Я ПРОСТО ЗАДАВАЛ ВОПРОСЫ". И ЭТИ ВОПРОСЫ, НАВЕРНОЕ, БЫЛИ АДРЕСОВАНЫ КОЛЛЕГАМ, А МОЖЕТ БЫТЬ – САМОЙ ПРИРОДЕ.
ПИК
БРАВО!
ХЛОП
ХЛОП
ХЛОП
БРАВО!

ЭПИЛОГ

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ И НА "ИНЫЕ МИРЫ"



УРА! КЛАССНЫЙ ПУДИНГ!
ДА, КАК ВКУСЕН ПУДИНГ ПОСЛЕ РАБОТЫ!
НА ЭТОТ РАЗ МЫ ВЫСТУПАЛИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ШКОЛЫ, ПОЭТОМУ Я ВОЛНОВАЛАСЬ.
И КАНТА УСПЕШНО ПЕРЕСДАЛ ЭКЗАМЕН!
В ПРОСТРАНСТВЕ
ПОЗДРАВЛЯЮ!
СПАСИБО НАШИМ УЧИТЕЛЯМ!
НЕТ, НЕТ, НЕ ЗА ЧТО.

КАК ЭТО НЕ ЗА ЧТО?!
ВЕДЬ МНЕ ПРИШЛОСЬ ИГРАТЬ ТАКУЮ ДУРАЦКУЮ РОЛЬ!

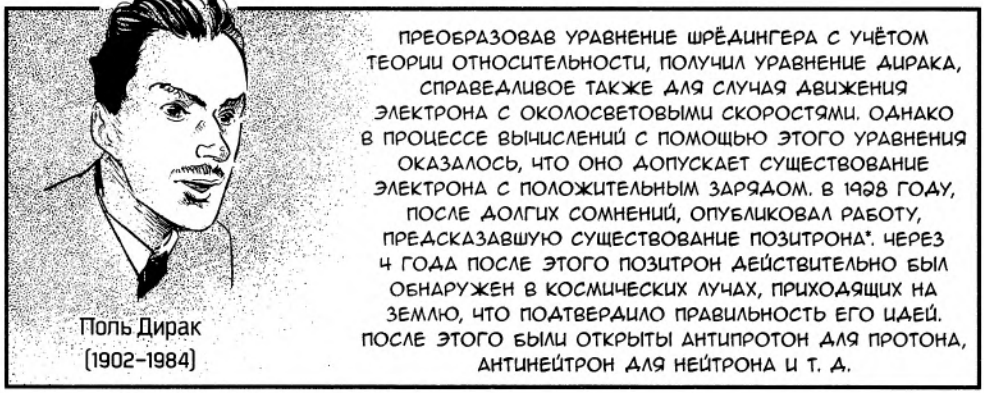
ПОЧЕМУ? У ТЕБЯ БЫЛА ХОРОШАЯ РОЛЬ.
Я САМ БЫ ХОТЕЛ ЕЁ СЫГРАТЬ
ММ...
ДА...

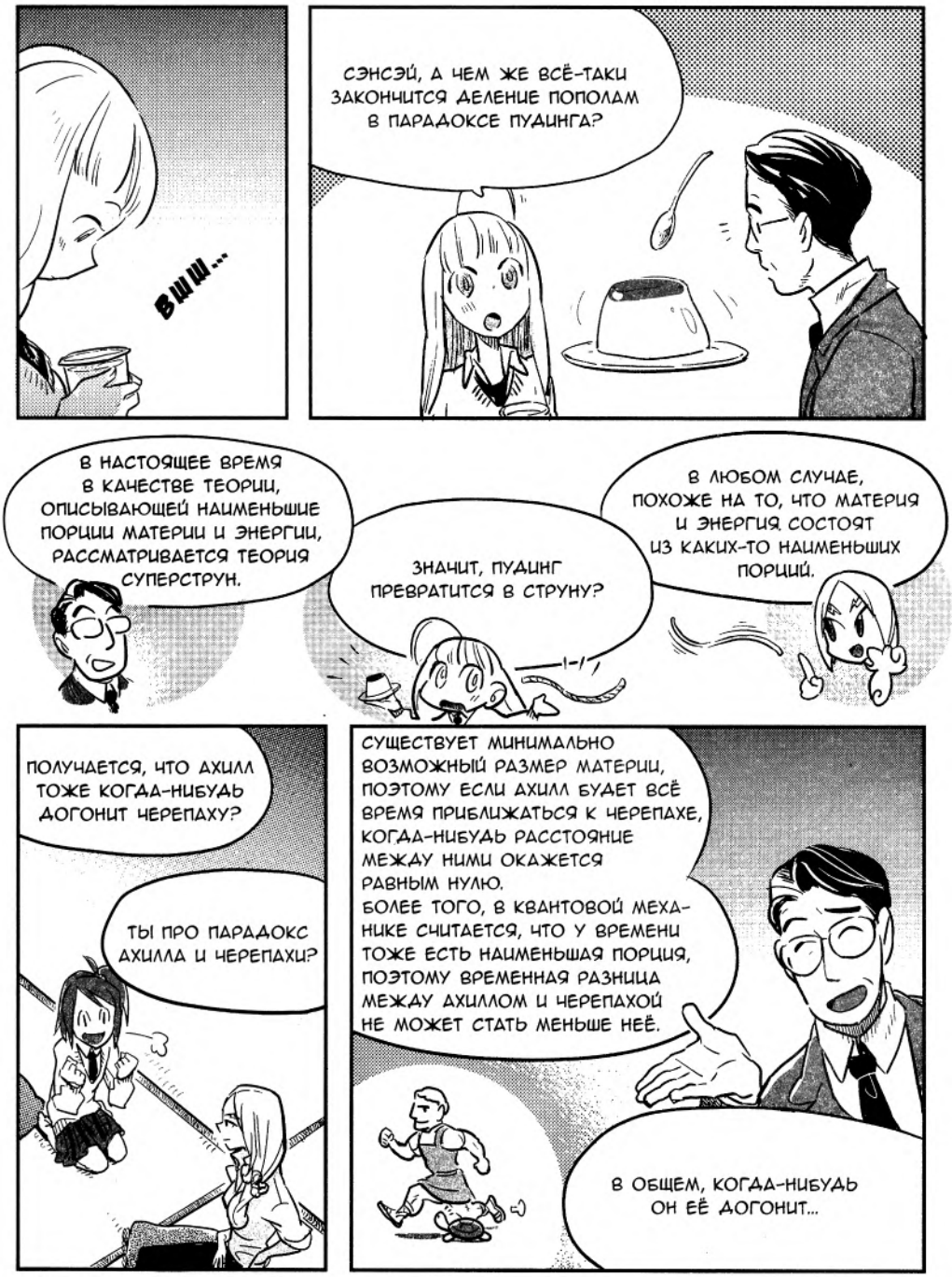
КУБИ-СЭНСЭЙ, Я СОВСЕМ ЗАБЫЛА...
ВЫ НЕ РАССКАЗАЛИ ПРО ОДНОГО ЧЕЛОВЕКА, ЧЬЁ ИМЯ УПОМИНАЛОСЬ В СПЕКТАКЛЕ.

БОР. ШРЁДИНГЕР. ГЕЙЗЕНБЕРГ. БОРН.
КТО ТАМ БЫЛ ЕЩЁ...
АХ, ДИРАК!

ИЗВИНИТЕ, НО Я СОКРАТИЛА ЕГО, ЧТОБЫ НЕ УСЛОЖНЯТЬ НАШ СЮЖЕТ.
НИЧЕГО НЕ ПОДЕЛАЕШЬ.

ДИРАК ПРЕДСКАЗАЛ СУЩЕСТВОВАНИЕ АНТИЧАСТИЦ.


Поль Дирак
(1902–1984)
ПРЕОБРАЗОВАВ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА С УЧЁТОМ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ, ПОЛУЧИЛ УРАВНЕНИЕ ДИРАКА, СПРАВЕДЛИВОЕ ТАКЖЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА С ОКОЛОСВЕТОВЫМИ СКОРОСТЯМИ. ОДНАКО В ПРОЦЕССЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭТОГО УРАВНЕНИЯ ОКАЗАЛОСЬ, ЧТО ОНО ДОПУСКАЕТ СУЩЕСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНА С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЗАРЯДОМ. В 1928 ГОДУ, ПОСЛЕ ДОЛГИХ СОМНЕНИЙ, ОПУБЛИКОВАЛ РАБОТУ, ПРЕДСКАЗАВШУЮ СУЩЕСТВОВАНИЕ ПОЗИТРОНА*. ЧЕРЕЗ 4 ГОДА ПОСЛЕ ЭТОГО ПОЗИТРОН ДЕЙСТВИТЕЛЬНО БЫЛ ОБНАРУЖЕН В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ, ПРИХОДЯЩИХ НА ЗЕМЛЮ, ЧТО ПОДТВЕРДИЛО ПРАВИЛЬНОСТЬ ЕГО ИДЕЙ. ПОСЛЕ ЭТОГО БЫЛИ ОТКРЫТЫ АНТИПРОТОН ДЛЯ ПРОТОНА, АНТИНЕЙТРОН ДЛЯ НЕЙТРОНА И Т. Д.
В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭТОГО СТАЛО ЯСНО, ЧТО ДЛЯ ВСЕХ ЧАСТИЦ СУЩЕСТВУЮТ АНТИЧАСТИЦЫ.
ЭТО ДАЛО НАЧАЛО ИСТОРИИ, НАПОМИНАЮЩЕЙ НАУЧНУЮ ФАНТАСТИКУ: О ТОМ, ЧТО ВАКУУМ – ЭТО НА САМОМ ДЕЛЕ НЕ ПУСТОТА.
КОГДА ОБЫЧНАЯ ЧАСТИЦА СТАЛКИВАЕТСЯ С АНТИЧАСТИЦЕЙ, ПРОИСХОДИТ АННИГИЛЯЦИЯ – ВСЯ МАТЕРИЯ ИСЧЕЗАЕТ, ПРЕВРАЩАЯСЬ В ЭНЕРГИЮ.
СУЩЕСТВУЕТ ТАКЖЕ ОБРАТНОЕ ЯВЛЕНИЕ – РОЖДЕНИЕ ПАР, КОГДА ИЗ ЭНЕРГИИ ВОЗНИКАЮТ ЧАСТИЦА И АНТИЧАСТИЦА. ПОЛУЧАЕТСЯ, ЧТО МАТЕРИЯ ВОЗНИКАЕТ "ИЗ НИЧЕГО"!
ЭТО УЖЕ ДАЖЕ НЕ НАУЧНАЯ ФАНТАСТИКА. ПРОСТО МИСТИКА КАКАЯ-ТО...
ДА, В ЭТОМ ВСЯ И СОЛЬ.



* ПЭТ (позитронно-эмиссионная томография) – реально применяемый метод диагностики, в котором испускаемые позитроны аннигилируют с электронами человеческого тела с образованием гамма-лучей.

...МОЖЕТ БЫТЬ.
МОЖЕТ БЫТЬ?!
ЭТО НЕИЗВЕСТНО, ПОЭТОМУ ИНТЕРЕСНО!
ВСЁ ТО, ЧТО МЫ ВАМ ЗДЕСЬ ОБЪЯСНИЛИ, ОСНОВАНО НА ТЕОРИЯХ И ГИПОТЕЗАХ, СУЩЕСТВУЮЩИХ НА ДАННЫЙ МОМЕНТ.
КОГДА УДАЁТСЯ ОБЪЯСНИТЬ КАКОЕ-ТО ЯВЛЕНИЕ, ЭТО ПОРОЖДАЕТ НОВЫЕ ВОПРОСЫ.
НАУКА САМА ПО СЕБЕ ЯВЛЯЕТСЯ БЕСКОНЕЧНЫМ ПАРАДОКСОМ.
?
?
ИТАК, ДАВАЙТЕ ОТПРАВИМСЯ В ПУТЬ К РАЗГАДКЕ ЭТИХ ПАРАДОКСОВ!
ДАВАЙ!
НАКОНЕЦ-ТО!
НУ, Я ПОШЛА!
КРУТЬ
КРУТЬ, КРУТЬ, ПИК!
ПИК

Суперпростое объяснение теории суперструн

Вся материя состоит из «струн»?

Наименьшей порцией материи считалась элементарная частица, но такая идея не кажется очень красивой. По мере развития исследований появлялись всё новые кандидаты на это звание: считается, что сейчас их около 150 видов как открытых, так и теоретически предсказанных частиц, а с учётом античастиц – не менее 300. Таким образом, их стало уже больше, чем химических элементов, и мириться с этим не хочется.

Здесь добавлю, что число элементарных частиц зависит от того, как подсчитываются «различия резонансов». В любом случае, подобное разнообразие видов элементарных частиц трудно считать целью физики – ведь элементарная частица должна быть основополагающей единицей материи (и взаимодействия).

Чтобы решить эту проблему, появилась теория суперструн. Опишу здесь её содержание вкратце, по пунктам:

- основополагающие элементы материи – это не частицы, а «струны»;
- длина струны (суперструны) – всего около 10^{-35} м;
- струна превращается в различные элементарные частицы в зависимости от своего состояния.

Струна – это тонкий протяжённый объект, подобный струнам гитары или скрипки. Состояние струны – это её колебания и волны, возникающие на ней. При этом частота колебаний струны не постоянна – она принимает разные значения, которые соответствуют различным элементарным частицам.

Открытые и замкнутые струны

Расскажу ещё о состоянии струны.

В теории суперструн считается, что есть струны с двумя концами, а есть кольцевые. Скорее всего, это не два разных типа, а просто разные состояния одних и тех же струн. Как и в музыке, в колебаниях струны есть основной тон, соответствующий полной длине струны; а также обертоны, образующие узлы на струне.

Кроме того, две струны могут взаимодействовать, объединяясь в одну струну, но если слишком углубляться в эту теорию, то объяснение на основе общих знаний будет затруднительно, поэтому я рекомендую читателям принять её такой, какая она есть.

По случаю усложнения нашего разговора замечу следующее.

Теория суперструн продолжает систематизироваться благодаря тому, что множество учёных постоянно дополняют её своими идеями. В настоящее время считается, что «струны» колеблются в 10-мерном пространстве. Однако наша по-

вседневная жизнь проходит в 3-мерном, или, с учётом временного измерения, в 4-мерном пространстве. То есть должны существовать ещё целых 6 измерений!

Но тогда где они находятся? Считается, что они «становятся компактными» и поэтому не видны нам. Это уже превосходит даже научную фантастику.

Кстати, физика высших измерений – это довольно горячая тема в настоящее время, благодаря чему работы, например, американской женщины-физика Лизы Рэндалл становятся мировыми бестселлерами. Их содержание основано как на квантовой механике, так и на астрофизике. Их можно с интересом читать, даже не всегда понимая содержание.

Почему родилась теория суперструн

Расскажу здесь об обстоятельствах появления теории суперструн. До настоящего времени в теории элементарных частиц считалось, что существуют две группы (семейства) частиц, составляющих материю, – кварки и лептоны, а взаимодействия между ними передаются бозонами (см. стр. 115). Хотя эта идея позволяет теоретически описать множество экспериментальных данных, она порождала некоторые проблемы.

Во-первых, это, как замечено выше, стремительное увеличение числа видов элементарных частиц в процессе систематизации. Во-вторых, остаётся так называемая «проблема расходимости». Дело в том, что взаимодействие между элементарными частицами усиливается при их сближении, но теория элементарных частиц не может ответить: «Будут ли бесконечно увеличиваться физические величины при бесконечном сближении?»

Чтобы решить эти проблемы, и возникла теория суперструн, основанная на разнообразных математических вычислениях. На данном этапе в ней, похоже, нет противоречий. К тому же практически нет значительных гипотез, способных заменить её, и поэтому физики с ней в целом согласны.

К сожалению, для понимания теории суперструн недостаточно хорошо знать физику – требуется также прекрасное владение математическим аппаратом, поэтому вряд ли вы сможете составить мнение о ней после прочтения только одной научно-популярной книги.

Скажу лишь, что, по сравнению с прежней теорией элементарных частиц многих типов, она намного красивее, и лично я чувствую, что будущее квантовой механики – именно за ней.

4 фундаментальных взаимодействия и теория суперструн

Ещё одной причиной появления теории суперструн была попытка создать единую теорию поля, которая соединила бы воедино 4 фундаментальных взаимо-

действия (силы), существующих в природе. В современной физике считается, что существует всего 4 вида взаимодействий между элементарными частицами – сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное.

«Сильное взаимодействие», «слабое взаимодействие» – это напоминает какие-то детские слова, однако на самом деле первое из них обеспечивает связи внутри атомного ядра, а второе – распад элементарных частиц и называется слабым потому, что обычно слабее, чем сильное. «Бета-распад», при котором нейтрон испускает электрон и превращается в протон, или же протон испускает позитрон (античастицу электрона) и превращается в нейтрон, считается процессом кваркового распада внутри частиц, происходящего в результате слабого взаимодействия.

Электромагнитное взаимодействие – это сила, возникающая в электрических и магнитных явлениях, гравитационное – это, в общем, всемирное тяготение. Кстати, взаимодействия в порядке убывания их силы располагаются так:

Сильное взаимодействие → Электромагнитное взаимодействие → Слабое взаимодействие → Гравитационное взаимодействие

Однако раздельное существование четырёх сил оставляет ощущение какой-то незавершённости, так и хочется заявить: «На самом деле это одна и та же сила, проявляющаяся в разных формах».

В связи с этим попытки свести их все воедино предпринимаются уже давно.

К слову, Альберт Эйнштейн тоже пытался объяснить гравитационное взаимодействие. В общей теории относительности он попробовал объединить гравитационное взаимодействие с электромагнитным, но ему это не удалось. Несколько десятков лет неустанных усилий привели к созданию теории электрослабого взаимодействия, объединяющей электромагнитную и слабую силы. Трое её создателей в 1979 году получили за это Нобелевскую премию по физике. С тех пор этой проблемой занимались всё больше и больше учёных, и сейчас работа в этом направлении просто кипит.

Что касается теории суперструн, её главная особенность в том, что элементарные частицы, составляющие основу материи, не считаются в ней «точками». До этого в физике было принято считать, что элементарная частица, то есть конечная субстанция, которую нельзя сделать ещё меньше, является безразмерной точкой (точкой, у которой есть только масса). Новая теория заменила частицы струнами, свойства которых обусловлены состоянием их колебаний. Поистине, это – взгляд на проблему под другим углом, давший многим учёным надежду на прогресс в зашедшей было в тупик работе над единой теорией поля.

Результатов, к сожалению, пока нет, но мы продолжаем неусыпно следить за тенденциями в теории суперструн – теории, привлекающей именно своей необычностью.

Шрёдингер верил в волну – результат математических вычислений

Наконец-то мы достигли последней главы, поэтому здесь я «одним махом» расскажу о самом важном в квантовой механике. Не переживайте, если встретите здесь что-нибудь сложное для вас. Можете просто пропустить это и читать дальше – эта часть написана так, что вы всё равно сможете получить удовольствие от её чтения.

Электрон-волна, предложенный де Бройлем, в конце концов превратился в «волну материи» потому, что не только электрон, а вообще всё вещество обладает волновыми свойствами. Наши тела, например, тоже колеблющиеся и нечёткие, как волны. Однако амплитуда этой «нечёткости» соответствует примерно одному атому, поэтому в повседневной жизни проблем в связи с этим не возникает. Наши тела находятся в определённом месте и видимы глазу.

Однако проблема заключается в электроне, на положение и импульс которого колебания волны оказывают большое влияние. Можно, конечно, сказать: «Волны материи – это волны вероятности», но это тоже не очень понятно.

Не отчаивайтесь – ведь эту «вероятностную интерпретацию» до конца не смогли принять ни Эйнштейн, ни Шрёдингер. Более того, Шрёдингер, который заинтересовался работой де Бройля и сам вывел уравнение, описывающее поведение волн материи, так и не смог представить, что же это такое в реальности. Но, может быть, только такой бескомпромиссный человек, как Шрёдингер, доверявший лишь вычислениям, смог математически вывести такое необычное уравнение.

Здесь мы, пользуясь тем, что не особенно хорошо знаем математику, попробуем проникнуть в суть волн материи лишь с помощью силы воображения.

Волна вероятности схлопывается в результате обнаружения

Для интерпретации вероятности в квантовой механике важно такое понятие, как присутствие наблюдателя. Наблюдатель – это, другими словами, «смотрящий человек». Считается, что состояние материи изменяется в зависимости от того, есть такой человек или его нет.

Например, в научно-популярной литературе часто используется пример с Луной. Когда наблюдатель обращает взор на Луну, она действительно присутствует там, но

когда на неё не смотрят, она колеблется и размывается в пределах своей волновой функции.

На самом деле эти колебания очень малы и не создают никаких проблем, однако если бы волновые свойства Луны проявлялись в диапазоне, во много раз превышающем её диаметр, то мы бы не поняли даже того, где она находится.

В случае с электроном дело обстоит именно так.

На рисунках модель «волны вероятности обнаружения» часто изображается в виде облака. Давайте путём сопоставления этой модели с графиком немного исследуем понятие волн материи.

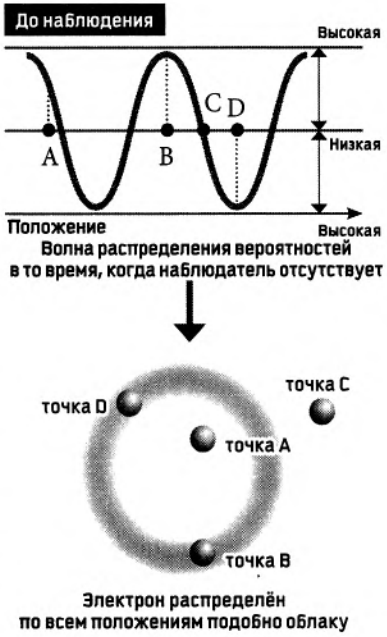
Когда наблюдатель отсутствует, электрон в атоме образует волну распределения вероятностей в соответствии с уравнением Шрёдингера. Справа приведён график, изображающий это в виде колебания волны.

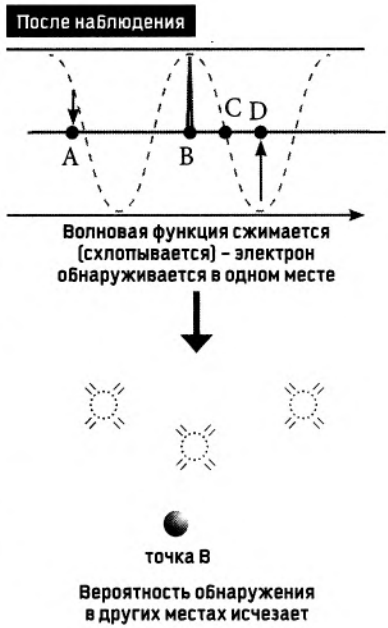
На этом этапе определить положение электрона невозможно – оно распределено по всем положениям, подобно облаку.

Однако это не означает, что электрон, являющийся частицей, просто разжижается как молоко, добавленное в кофе. Квантовая механика говорит, что он находится в состоянии наложения различных вариантов: в одном месте вероятность обнаружения равна 50%, в другом – 30% и т. д.

Пусть теперь в результате наблюдения было установлено, что электрон присутствует в месте B. Это означает, что вероятности обнаружить электрон в других местах исчезли, поэтому график волны схлопнется в линию, поднимающуюся из одной точки.

Это в самом деле кажется очень странным, однако в настоящее время считается, что подобная модель электрона (а также всей остальной материи) ближе всего к истине.





«Тактика двойников» и вероятность обнаружения – две разные вещи

Здесь необходимо развеять ещё одно ошибочное толкование.

Подобно Канне, многие считают так:

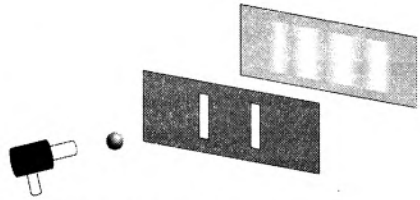
> **«В общем, электрон, который является частицей, летает там, где ему вздумается» (стр. 196).**

Я сам думал так, когда первый раз в жизни листал книгу о квантовой механике. Скорее всего, виноваты в этом манга о ниндзя, которых я в детстве прочёл немало.

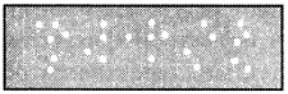
Ниндзя в манге владеют таким приёмом: они очень быстро бегают вокруг противника – так, чтобы у него потемнело в глазах от мелькания (настоящие ниндзя на такое, разумеется, не способны). Иногда они на мгновение останавливаются в разных местах, и у противника возникает оптический обман – ему кажется, что у ниндзя появились двойники.

Однако, даже овладев таким мастерством, ниндзя всё равно реально находится в одном из этих двойников, и если противник достаточно ловок, он может запустить в него сюрикеном. И вот раненый ниндзя корчится на земле под презрительные слова противника: «Думал спрятаться от меня? Всё равно я вижу, где ты!» Трудно быть ниндзя!

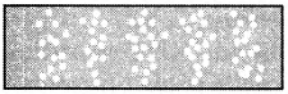
Предположим, ниндзя создал 5 своих двойников. Тогда вероятности найти ниндзя в каждом из двойников равны между собой и составляют 20%. Можно подумать: «Ведь это и есть волна вероятности обнаружения!» – однако квантовая теория оказалась не такой простой штукой.



Если в опыте с двойной щелью выстреливать по одному электрону...



...то сначала кажется, что интерференционных полос нет,..



...но затем они начинают проступать.

В конечном итоге интерференционные полосы появляются даже в том случае, когда электроны выстреливались по одному.

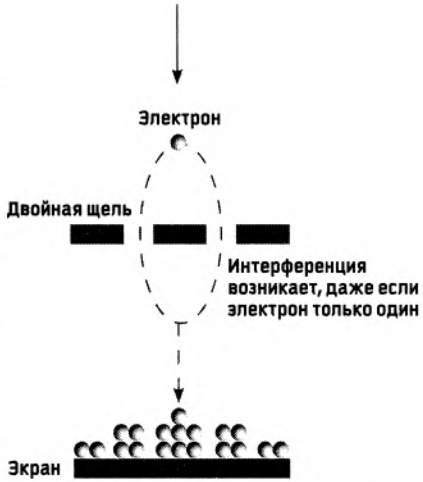
В случае электрона до момента обнаружения он, в общем, является не частицей, а волной. Никакая частица на самом деле не летает, и это подтверждается экспериментально.

Для начала поразмышляйте о двойной щели, с помощью которой было доказано, что электрон – это волна. Когда через две близко расположенные щели пропускают электроны, выстреливая их из электронной пушки, на находящемся за щелями экране постепенно появляются полосы. Это действительно интерференция – отличительная особенность волны, поэтому этот опыт стал решающим доказательством того, что электрон – волна. Проблема здесь заключается в том, что

даже если электроны выстреливаются последовательно, один за другим, интерференционные полосы всё равно появляются после того, как электронов выпустили достаточно много.

Сначала учёные думали, что интерференционные полосы – это результат взаимодействия между разными электронами, прошедшими через разные щели. Однако точно такое же явление возникало и тогда, когда электроны пропускали через щели по одному, один за другим. Что же это означает?

Существует единственная возможность – даже если электрон только один, он интерферирует сам с собой. Другими словами, до момента попадания в экран – наблюдения местоположения – электрон был не одной частицей, а какой-то колеблющейся и размытой волной.



Гипотеза: причина того, что интерференционные полосы образуются даже в том случае, если электроны выстреливаются один за другим

Правда, это всего лишь представление, так как не существует метода увидеть эту волну в реальности. Если попытаться понаблюдать за электроном до его попадания в экран, то придётся, например, направить на него свет. В результате свет (фотон) столкнётся с электроном и изменит его траекторию – окончательный вывод сделать не получится.

С этого момента и начинает проявляться принцип неопределённости Гейзенберга.

Если попытаться наблюдать электрон во время прохождения им щели, то можно будет узнать положение электрона в момент падения на него света. Однако падение света окажет влияние на движение электрона, поэтому интерференционных полос на экране не появится. Но если даже не пытаться сделать это, то электрон будет двигаться «как надо» – интерференционные полосы образуются, однако не удастся определить, где был электрон до попадания в экран.

Да, поистине

«невозможно одновременно измерить две физические величины, составляющие определённую комбинацию, без внесения неточности в измеряемые значения».

Кот Шрёдингера, обеспечивший победу школе вероятностной интерпретации

Итак, теперь мы поговорим о «коте Шрёдингера», по поводу которого доцент Куби сказала: «На этом этапе вам лучше не связываться с котами» (стр. 79).

Шрёдингер, сомневавшийся в вероятностной интерпретации квантовой механики, однажды предложил такой мысленный эксперимент:

1. В ящик с крышкой помещают кота.
2. В ящик помещают адскую машину, состоящую из радиоактивного вещества – радия, счётчика Гейгера и устройства выпуска синильной кислоты. Настраивают адскую машину так, чтобы в случае испускания радием альфа-частицы счётчик Гейгера сработал бы, включив устройство выпуска синильной кислоты.

Итак, в данном случае альфа-распад радия считается явлением, которое надо рассматривать с точки зрения вероятностной интерпретации квантовой механики. Другими словами, при отсутствии наблюдателя невозможно вынести заключение о том, была ли испущена альфа-частица. Однако в момент открытия крышки ящика волновая функция «схлопнется», поэтому результат станет очевиден.

Здесь предположим, что вероятность образования альфа-частицы составляет 50%. В таком случае в состоянии с закрытой крышкой будет иметь место странная ситуация – кот будет наполовину мёртв, а наполовину жив. Этим примером Шрёдингер хотел показать ошибочность вероятностной интерпретации, допускающей такую странную ситуацию. Попробуем выразить это в предельно понятном «формульном виде»:

|Состояние атома| = |Есть альфа-распад| + |Нет альфа-распада|.

Правая часть уравнения показывает суперпозицию вероятностей двух состояний. Далее Шрёдингер утверждает, что это тождественно следующим состояниям:

|Состояние внутри ящика| = |Альфа-распад произошёл – кот умер| +
+ |Альфа-распада не было – кот жив|.

Что вы думаете по поводу этого?

Шрёдингер считал это «неразрешимым парадоксом», но на самом деле квантовая механика спокойно решает эту проблему.

Прежде всего, согласно копенгагенской интерпретации Нильса Бора, в тот момент, когда наблюдатель открыл крышку ящика и заглянул вовнутрь, происходит переход в одно определённое состояние (схлопывание волновой функции). Другими словами, вторая формула справедлива лишь до того момента, пока в ящик никто не заглядывал, – в момент открытия сразу же определится одно из состояний.

Шрёдингер, разумеется, был не согласен с такой расплывчатостью. Рассказывают, что однажды он достаточно резко сказал физикам, начавшим проявлять интерес к вероятностной интерпретации:

«Как вы можете верить в подобную чепуху?»

Будущие явления предопределены законами природы... Шрёдингер создал уравнение, способное описать волны материи, так как верил в этот великий закон физики. Естественно, он возмутился, когда кто-то стал утверждать: «Нет, в действительности явления не предопределены».

С вероятностной интерпретацией не согласились также Эйнштейн, оставивший в письме Борну знаменитые слова: «Бог не играет в кости», отец квантовой гипотезы Планк, изобретатель волн материи де Бройль. Все они были крупными авторитетами в мире физики, поэтому вначале преимущество было на стороне противников копенгагенской интерпретации.

Однако школа вероятностной интерпретации не сдавалась. В действительности Нильс Бор несколько раз чуть было не проиграл в жарком научном споре с противниками, но всегда говорил в таких случаях: «Подумаю вечером, завтра отвечу». И всякий раз он успешно находил контраргументы, даже когда поражение казалось неминуемым. И пока это продолжалось, был найден ответ на вопрос о жизни и смерти кота, признанный всеми самым логичным:

> **«Не существует способа узнать до момента открывания ящика, жив кот или мёртв. Поэтому в равном распределении вероятностей нет никаких противоречий».**

Эта история про кота была придумана специально для того, чтобы посрамить школу вероятностной интерпретации. Однако сейчас она превратилась в инструмент популяризации квантовой механики, подчёркивающий её необычность и глубину. А проигравший в споре Шрёдингер ушёл в биологию, сказав напоследок: «Зря я вообще занялся физикой». Однако он остался гением и после ухода из физики: основал новую дисциплину – молекулярную биологию, бросил вызов тайнам психологии, и достиг в этом больших успехов.

В общем, «кот Шрёдингера» был просто издевательским вопросом. Его придумали для отрицания идей, главенствующих в современной квантовой механике. Так как ответ уже известен, он больше не является предметом научной дискуссии. Мне кажется, что пора прекратить использовать этот пример. Сейчас он непременный атрибут книг по квантовой механике для начинающих, иногда даже на обложке и в тексте помещают изображения кота. Из-за этого некоторые могут решить, что это – какая-то серьёзная работа, и невзлюбить квантовую механику не только за сложность, но и за жестокость. Поэтому я думаю, что использовать этот пример нужно с большой осторожностью.

«Многомировая интерпретация» – быстро плодящиеся миры

Где может быть полезен этот «кот Шрёдингера», так это при размышлении над «многомировой интерпретацией», идея которой была предложена в 1957 году американским физиком Хью Эвереттом (1930–1982). В то время он ещё учился в университете – новые физические теории часто создаются студентами.

Представим опять, что в ящик поместили кота вместе с адской машиной. На этом этапе мир разделяется на два:

1) мир, в котором кот жив;
2) мир, в котором кот мёртв.

Следовательно, когда откроется крышка, наблюдатель первого мира узнает, что кот жив, а наблюдатель второго – что мёртв. Разумеется, сам наблюдатель не может узнать, жителем какого из этих двух миров он является, пока не откроет крышку.

Согласно этой интерпретации, получается просто ужасно – миры безудержно размножаются.

Пример с котом в данном случае может запутать, поэтому использую другой.

Представим ящик с крышкой, разделённый перегородкой. В ящике есть только один электрон, про который неизвестно, в правой или в левой части ящика он находится. С точки зрения квантовой механики, оба состояния сосуществуют.

Затем мы открываем крышку ящика, направляем внутрь него свет и наблюдаем электрон. В этот момент положение электрона выяснится. Пусть электрон обнаружился в левой части ящика. Тогда согласно копенгагенской интерпретации: «электрон из суперпозиции состояний перешёл в одно состояние», а согласно многомировой – существует также мир, в котором электрон находится в правой части ящика, и оба мира продолжают сосуществовать.

Следовательно, количество миров будет увеличиваться каждый раз, когда мы открываем ящик.

Копенгагенская школа Нильса Бора с 1920-х годов стала просто непобедимой. Они разгромили Эйнштейна, выгнали Шрёдингера из физики в биологию (разумеется, они этого не хотели – просто так получилось...). В качестве главной линии квантовой механики школа создавала новые теории одну за другой. Но после появления соперника – многомировой интерпретации – цвет её флагов немного потускнел.

Разумеется, способа научно доказать верность одной из этих интерпретаций всё никак не находится, поэтому окончательный вывод делать пока рано. Однако в трудах физиков проскальзывает мысль: «Победа, скорее всего, за многомировой интерпретацией».

Конечно, это не та проблема, в которой нужно учитывать мнение такого дилетанта, как я. Однако хочу заметить, что мои попытки понять книги о многомировой интерпретации позволили мне понять одну вещь.

Копенгагенская интерпретация предполагает «расплывчатый мир квантов», который можно рассматривать лишь с точки зрения вероятностей, но при этом наблюда-

тель в ней какой-то слишком отчётливый. Именно поэтому трудно принять её утверждение: «Если наблюдать положение электрона, в тот же момент его волновая функция схлопнется».

Однако в многомировой интерпретации сам наблюдатель также превращается в «квантовое существо». Его существование перестаёт быть «абсолютным» – он становится лишь жителем одного из вероятностно разделяющихся миров. Интересно, только ли мне подобная точка зрения кажется более осмысленной?

И энергия, и материя, и время – всё состоит из квантов

Кстати, в предыдущем абзаце, где говорилось о том, что в многомировой интерпретации миры размножаются, я специально не использовал выражения «бесконечно размножаются». Согласно этой точке зрения, миры действительно размножаются до такого количества, что их невозможно сосчитать, однако со времён теории относительности и квантовой теории в физике не принято использовать понятие «бесконечность». Точно так же, как пудинг нельзя делить до бесконечности, всё имеет предельно малые порции. В этом состоит разница между математикой и реальностью.

И кандидатами на эти предельно малые порции являются несколько единиц измерения, входящих в планковскую систему единиц, о которой упоминалось в рассказе про Макса Планка. Это – естественная система, определяемая только на основании фундаментальных физических констант, таких как постоянная Планка h, постоянная Ньютона (гравитационная постоянная) G, скорость света в вакууме c. Для начала поразмышляем об одной из них – планковской длине.

Представим, что мы, сжимая какую-либо частицу, пытаемся превратить её в чёрную дыру. Как известно, любое тело по мере увеличения плотности создаёт всё более сильное гравитационное поле и в конце концов превращается в чёрную дыру. Радиус, который оно будет иметь при этом, был рассчитан немецким астрономом Карлом Шварцшильдом (1873–1916) на основе уравнения гравитационного поля Эйнштейна. Этот радиус называют радиусом Шварцшильда, и выражается он следующей формулой:

радиус Шварцшильда $R_s = \frac{2GM}{c^2}$,

где G – гравитационная постоянная (постоянная Ньютона); M – масса чёрной дыры; c – скорость света.

Предполагается, что для рассматриваемой нами частицы переход между корпускулярными и волновыми свойствами происходит тогда, когда её радиус R_s в качестве частицы становится равным длине волны материи (волны де Бройля), соответствующей массе этой частицы – $\frac{h}{Mc}$ (по формуле B на стр. 156 при $v = c$). Длина этого радиуса будет примерно соответствовать планковской длине. Неизвестно, является ли планковская длина «минимально возможной длиной» физически, но свойства материи фактически делают её наименьшей длиной, которую теоретически можно измерить.

Далее, самое быстрое в мире явление – это свет. Значит, время, за которое он в вакууме проходит планковскую длину, – самое короткое время, доступное измерению. Это называется планковским временем, и оно очень короткое – ведь это «результат самого быстрого бегуна на самой короткой дистанции». Оно примерно в $1{,}855 \cdot 10^{43}$ раз меньше, чем секунда. Его значение равно следующему:

Около $5{,}391 \cdot 10^{-44}$ = 0,0000000000000000000000000000000000000000005391 секунды.

Действительно, очень короткий временной промежуток. Если это действительно самое короткое время, то можно найти количество шансов на разделение миров с момента рождения Вселенной: надо поделить 13,7 млрд лет на эту величину. Теперь с помощью геометрической прогрессии можно посчитать общее количество миров, которое увеличивается через каждый временной промежуток, равный планковскому времени.

Не знаю, можно ли так рассуждать...

Как и парадокс пудинга, который в конце концов разрешается с точки зрения физики, в квантовой механике считается, что такое понятие, как «бесконечность», не подходит для описания природы. Даже не поняв до конца все промежуточные доказательства, я почувствовал облегчение, узнав про этот окончательный вывод. Мне показалось, что я наконец-то получил убедительный ответ на долго мучивший меня вопрос.

И вправду, пудинг невозможно есть до бесконечности!

Итак, на этом окончательном выводе закончим наш разговор о квантовой механике. Не знаю, насколько вам было понятно, но надеюсь, что вы получили удовольствие от чтения.

Если бы здесь сейчас была машина времени, то я хотел бы вернуться в своё детство и подарить эту книгу самому себе, размышляющему над пудингом. В таком случае в одном из вероятностно разделяющихся миров я непременно стал бы неплохим физиком... Может быть.

Замечание

По поводу моей интерпретации, приведённой выше, профессор Кавабата заметил следующее:

> **«Думаю, что это не так просто. Да, число разделений увеличивается в геометрической прогрессии, но моменты разделения миров тоже должны отличаться для разных состояний движения. Следовательно, можно сказать, что будет существовать практически бесконечное количество миров».**

Значит, я был неправ? Как всё-таки глубока эта наука – физика.

Как квантовая механика связана с нашей повседневностью. Часть 1

Без туннельного эффекта невозможно изготовить бытовую электронику

Типичное явление, доказывающее правильность квантовой механики, – это туннельный эффект.

Когда бросаешь мячик вдаль, находясь при этом перед высокой стеной, нужно подкинуть его высоко, чтобы он смог над ней пролететь. С точки зрения физики, «мячу необходимо сообщить кинетическую энергию, которая больше, чем его потенциальная энергия на высоте стены». Человек, не обладающий достаточной для этого силой, никогда не сможет бросить мяч дальше стены.

В прежней физике считалось, что такой «потенциальный барьер» можно преодолеть только с помощью превышающей его энергии. И это представляется вполне естественным. Вам тоже, наверное, не хотелось бы, чтобы хищники в зоопарке могли преодолеть ограду и выйти наружу, когда захотят.

Однако такие удивительные природные явления в действительности происходят. Одним из примеров является альфа-распад.

Альфа-распад – это явление распада атомного ядра, при котором из него вылетает альфа-частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов (то есть аналогичная ядру атома гелия). В этом заключается природа энергии, заставляющей светиться фосфоресцирующую краску. Кстати, альфа-лучи, представляющие из себя поток альфа-частиц, – это один из видов радиации, однако, так как частицы относительно большие, их задерживает всего один листок бумаги.

Но почему, несмотря на огромные силы притяжения внутри атомного ядра, которые в физике называют «сильным взаимодействием», оттуда могут легко вылетать альфа-частицы? Причину этого классическая физика объяснить не смогла.

Действительно, между ядром и альфа-частицей, которые состоят из протонов и нейтронов, действует электростатическая сила отталкивания, однако ядерные силы (сильное взаимодействие) на много порядков превышают электромагнитные.

Частица сможет преодолеть стену, если станет волной

Эту проблему, которая долгое время мучила учёных, легко разрешил американский физик-теоретик русского происхождения Георгий Гамов (1904–1968).

В 1928 году он с помощью квантовой механики дал такое определение альфа-распаду: «Это явление, при котором альфа-частицы благодаря туннельному эффекту преодолевают потенциальный барьер, окружающий атомное ядро». Со-

гласно его утверждению, волновое уравнение, опубликованное Шрёдингером двумя годами раньше, показывает, что альфа-частица (т. е. вероятность присутствия альфа-частицы) просачивается на противоположную сторону потенциального барьера.

Не стоит и говорить о том, что в квантовой механике материя, считаясь частицами, одновременно с этим описывается в понятиях волны. Если это волна, то она может преодолеть даже стену благодаря дифракции.

Хотя требуется высокая энергия для того, чтобы перебросить мяч через высокую стену, слабый звук иногда слышен даже за высокой стеной. Это – явление дифракции.

А для малых частиц, которые обладают значительными волновыми свойствами, подобное явление туннелирования происходит в наглядной форме.

Однако всё-таки это похоже на волшебство – материя, превращаясь в волну, проходит сквозь стену.

Полупроводники функционируют в соответствии с квантовой механикой

В конце 1950-х годов в Лаборатории полупроводников Акционерного общества «Токийская телекоммуникационно-промышленная компания» – предшественника компании Sony, работал человек по имени Эсаки Реона (на Западе известный под именем Лео Эсаки). Темой его исследований было улучшение характеристик транзисторов, практическое использование которых тогда только начиналось.

Когда он проводил опыты с тонко нарезанным полупроводниковым материалом – германием, произошло явление, противоречащее расчётам: сила тока, которая с ростом напряжения должна увеличиваться, наоборот, уменьшилась. Причина заключалась в усилении влияния туннельного эффекта – это было передовое открытие, установившее, что подобные явления происходят даже в обычных твёрдых веществах. За это Эсаки в 1973 году получил Нобелевскую премию по физике.

Так как в то время полупроводниковые детали ещё не стремились изготовить «как можно тоньше и миниатюрнее», диод Эсаки, в котором использовалось это явление, не получил большого распространения. Однако когда началась миниатюризация полупроводников в форме интегральных схем, проектирование стало невозможно без учёта туннельного эффекта. На его основе можно создавать новые радиодетали (электронные компоненты), кроме того, туннельный эффект нужно учитывать в борьбе против тока утечки в местах, которые должны быть изолированы. Что ни говори, современные полупроводники основаны на квантовомеханических расчётах, а значит, без квантовой механики немыслимо существование бытовой электроники, устройств передачи и обработки информации, автомобилей, самолётов, ракет.

Как квантовая механика связана с нашей повседневностью. Часть 2

Квантовая связь, квантовые компьютеры, квантовая криптография... Кругом кванты!

Быстрее света – возможна ли мгновенная передача квантов?

Передовые технологии с использованием квантовой механики – это, например, квантовая связь, квантовые компьютеры и квантовая криптография. Однако для понимания всего этого нужны некоторые предварительные знания.

Для начала приведу объяснение, которое я нашёл в литературе. В одном месте создаются два кванта. Например, есть такое явление, как распад π-мезона с образованием двух фотонов. Элементарные частицы, родившиеся в результате такого одиночного события, являются как бы близнецами – их можно выразить одной и той же волновой функцией... И так далее. Здесь нужно просто запомнить, что в мире существует такая вещь, как парные элементарные частицы. Эти близнецы характеризуются некоторыми общими состояниями, поэтому, узнав состояние одного близнеца, можно узнать состояние другого. Однако их состояние не устанавливается до момента наблюдения.

Разместив по одной из этих частиц в разных местах (такие частицы называют спутанными, или сцепленными), наблюдают одну частицу, устанавливая тем самым её состояние. При этом состояние другой частицы в тот же момент также будет установлено. Это подобно тому, что в отдалённом месте появляется элементарная частица, находящаяся в том же состоянии, поэтому это называют квантовой телепортацией.

Однако Альберт Эйнштейн, не любивший квантовую механику, резко протестовал против этого. Так как, согласно его теории относительности, не существует ничего быстрее света, невозможна передача информации со сверхсветовой скоростью. Это великий закон физики. Однако при квантовой телепортации возможно получать одну и ту же информацию мгновенно, как будто с помощью телепатии. Конечно, Эйнштейн не мог с этим согласиться.

Эйнштейн в его нелёгкой борьбе с квантовой механикой здесь опять наступил на грабли. В 1997 году был проведён успешный эксперимент по квантовой телепортации. В связи с этим появилась вероятность появления сверхсветовых сетей связи.

Технология, на порядок увеличивающая возможности компьютера

Квантовый компьютер использует некоторого вида «расплывчатость», присутствующую в квантовой механике. В обычных компьютерах производится обработка минимальных единиц информации в виде битов, каждый из которых может принимать значение либо 0, либо 1.

Другими словами, это двоичная система. Однако в квантовом компьютере создаётся суперпозиция множества различных состояний между 0 и 1. Это называется квантовым битом (кубитом, от англ. quantum bit), для которого количество различных состояний составляет два в степени нескольких тысяч. Это делает возможным одновременно проводить множество вычислений.

Такие параллельные вычисления в современных компьютерах осуществляются с помощью выстроенных в ряд процессоров, работающих одновременно. Именно на этом принципе основана такая вещь, как суперкомпьютеры. В последнее время существует ещё такая технология, как распределённые вычисления, когда множество компьютеров соединяют в сеть и используют совместно. Несмотря на это, степень параллелизма, то есть количество одновременно выполняемых операций, составляет всего 2 в 20-й степени. Чувствуете разницу?

Реализация квантового компьютера планируется примерно в 2020 году. Круг задач, который он будет решать, пока чётко не очерчен. Однако он непременно будет использоваться в такой близкой нам всем области, как прогнозирование погоды, где необходимо производить сложные вычисления. Может быть, он со 100%-ной точностью сможет предсказывать траекторию тайфунов.

Абсолютная криптография тоже возникнет из квантовой механики

Появление квантовых компьютеров должно стать переворотом в сфере информационных технологий. Однако в этом есть не только хорошие стороны. Например, множество алгоритмов шифрования, использующихся в настоящее время в мире компьютеров, подразумевают следующее: «Конечно, этот алгоритм можно разгадать, но даже суперкомпьютеру на это потребуется несколько тысяч лет». Однако квантовому компьютеру, как считается, на это потребуется всего несколько десятков секунд – существует вероятность того, что так называемые алгоритмы шифрования с открытым ключом станут бесполезны.

Может быть, и не под девизом «Квантовой эпохе – квантовое шифрование!», но разработки новой технологии под названием квантовая криптография активно проводятся в настоящее время.

Самой большой особенностью квантовой криптографии является возможность обнаружить кражу информации благодаря использованию такого свойства, как изменение состояния квантов при их наблюдении.

Как уже было отмечено в рассказе про квантовую телепортацию, состояние до момента наблюдения не определено. Но если, например, направить свет и проверить состояние, то оно в тот же момент изменится. Поэтому даже если кто-то подглядит шифровку, это сразу же станет известно – можно будет быстро принять меры для предотвращения раскрытия содержания.

Эксперименты по квантовой криптографии уже проводятся, и, может быть, она будет реализована неожиданно быстро для нас.

Скрытые герои квантовой механики

Паули, провозгласивший спин электрона

При приложении магнитного поля спектр расщепляется

Джозеф Джон Томсон открыл электрон в процессе исследования катодных лучей в 1897 году. Но на самом деле был человек, который годом раньше установил существование «чего-то, похожего на электрон», – Питер Зееман (1865–1943), нидерландский физик.

Многие видели огненный тест, в котором нагретый натрий испускает оранжевый свет. Да, это свет натриевых ламп, освещающих тоннели скоростных автострад. При спектроскопии он даёт красивую одиночную линию, однако однажды Зееман положил рядом с пламенем натрия сильный постоянный магнит – спектр расщепился на несколько линий (эффект Зеемана).

Это указывало на то, что внутри атомов, похоже, присутствуют более мелкие заряженные частицы. И колебания этих частиц приводят к нарушению линий спектра.

Считается, что этот опыт Зеемана был первым случаем, заставившим подозревать наличие «внутренней структуры» у атома, который до этого считался простой частицей. Однако хотя на следующий год электрон был открыт, понять его колебания удалось намного позже.

Принцип запрета Паули, решивший загадку Периодической системы

В 1913 году была опубликована модель атома Нильса Бора, в какой-то степени объяснившая спектр атома водорода. После этого учёные были заняты попытками объяснить другую загадку – эффект Зеемана. И как всегда, вначале многие не могли освободиться от влияния планетарной модели и утверждали: «Скорее всего, электрон, подобно Земле, вращается по орбите». Но против этого резко выступил швейцарский физик Вольфганг Эрнст Паули (1900–1958).

Он утверждал, что если бы электроны вращались подобно планетам, то их окружная скорость (линейная скорость), оцениваемая с помощью спектра, должна превышать скорость света, что противоречит теории относительности. Поэтому их движение должно быть другим...

На основе этой идеи были проведены тщательные исследования состояния электронов в атоме, и в 1925 году был опубликован принцип, впоследствии названный принципом запрета Паули. Объясню вкратце его содержание:

- **Электрон крутится вокруг своей оси, обладая собственным моментом импульса – спином. Спин электрона может быть направлен либо вверх (up), либо вниз (down).**
- **На одной атомной орбитали могут одновременно находиться только 2 электрона с противоположными спинами.**

Так как электрон является точечной частицей, как бы быстро он ни крутился вокруг своей оси, линейная скорость поверхности частицы не превысит скорости света – противоречий с теорией относительности нет. В отличие от вращения тел в классической механике, момент импульса электрона не имеет вектора.

Не вдаваясь в подробности, замечу, что принцип запрета Паули позволил объяснить периодичность свойств химических элементов. Например, многие атомы имеют на своих орбиталях равное число электронов с противоположно направленными спинами – создаётся равновесие. Однако в атоме железа на d-орбитали М-оболочки (третьей оболочки) «не хватает» 4 электронов с одинаково направленными спинами. Это приводит к сильной реакции железа на магнитное поле – выраженным магнитным свойствам.

Обратите внимание на «эффект Паули»!

О личности Паули известно мало, хотя он оказал огромное влияние на последующее развитие физики, химии, электроники и т. д. Может быть, причина в том, что в ту эпоху вообще было много выдающихся учёных.

Научные способности Паули не вызывают сомнений – сразу после окончания университета он стал ассистентом Макса Борна, потом работал в Институте Нильса Бора в Копенгагене.

В действительности Нобелевскую премию по физике в 1945 году ему вручили по рекомендации Альберта Эйнштейна.

Однако, за исключением студенческих лет, работ он почти не писал. Поэтому о результатах его исследований можно судить только по переписке с Нильсом Бором и многими другими учёными.

Наверное, именно в этом заключается причина, что, несмотря на большой вклад в физику, он не стал таким великим, как мог бы.

Кроме того, он не был умелым экспериментатором – оборудование в его руках часто ломалось. Говорили даже: «Когда приближается Паули – оборудование ломается», «что-то оборудование плохо работает. Наверное, из-за того, что тут мимо проходил Паули». Подобные слухи распространились так широко, что и в наши дни, когда оборудование ломается по неизвестной причине, некоторые учёные называют это «эффектом Паули».

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПОПРОБУЕМ САМИ РЕШИТЬ УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА!

По моей просьбе профессор Кавабата показал, как решается уравнение Шрёдингера, выведенное нами на стр. 176–183.

Стационарное уравнение Шрёдингера

Так как уравнение Шрёдингера представляет собой так называемое уравнение в частных производных, содержащее производные по координатам и времени, решить его – это значит найти функцию, которая удовлетворяла бы ему. Для уравнения Шрёдингера это – волновая функция. При решении придётся использовать различные приёмы.

Здесь для простоты предположим, что волновая функция Ψ зависит только от x и t, а потенциал U – только от x, то есть $\Psi = \Psi(x, t)$ и $U = U(x)$ соответственно. Следовательно, при подстановке в уравнение (26) со стр. 182 уравнение Шрёдингера примет следующий вид:

$$i\hbar\frac{\partial\Psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi(x, t)}{\partial x^2} + U(x)\Psi(x, t). \qquad (29)$$

В подобных случаях стандартным является метод разделения переменных, когда решение ищется в виде функции:

$$\Psi(x, t) = \psi(x)\,\phi(t). \qquad (30)$$

Наверное, некоторые изучали этот метод в старшей школе. При подстановке (30) в (29) получаем следующее:

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x)\phi(t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x)\phi(t)}{\partial x^2} + U(x)\psi(x)\phi(t). \qquad (31)$$

Обратим внимание, что здесь:

$$\frac{\partial^2\psi(x)\phi(t)}{\partial x^2} = \phi(t)\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}. \qquad (32)^*$$

---

* Производную от функции одной переменной $\psi = \psi(x)$ записывают как $d\psi(x)/dx$ или $\psi'(x)$. Определение производной записывается так:

$$\frac{d\psi(x)}{dx} = \psi'(x) = \lim_{h\to 0}\frac{\psi(x+h) - \psi(x)}{h}.$$

Если опять ищут производную по x от $d\psi(x)/dx$, то её записывают как $d^2\psi(x)/dx^2$ или $\psi''(x)$.

а также:

$$\frac{\partial\psi(x)\phi(t)}{\partial t} = \psi(x)\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}. \tag{33}$$

Тогда уравнение (31) примет вид:

$$i\hbar\psi(x)\frac{d\phi(t)}{dt} = -\frac{\hbar^2}{2m}\phi(t)\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x)\phi(t). \tag{34}$$

Далее, разделив его левую и правую части на $\psi(x)\phi(t)$, получим:

$$i\hbar\frac{1}{\phi(t)}\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{\psi(x)}\left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2\psi(x)}{\mathrm{d}x^2} + U(x)\psi(\mathrm{x})\right\}. \tag{35}$$

Левая часть зависит только от t, а правая – только от x. Для того чтобы эти выражения были равны при любых x и t, они оба должны быть равны некоторой константе C, не зависящей от t или x. То есть:

$$i\hbar\frac{1}{\phi(t)}\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} = C, \tag{36}$$

$$\frac{1}{\psi(x)}\left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2\psi(x)}{\mathrm{d}x^2} + U(x)\psi(x)\right\} = C. \tag{37}$$

В каждом из этих уравнений содержится только одна переменная. Значит, это не уравнения в частных производных, а так называемые обыкновенные дифференциальные уравнения. Уравнение (36) имеет такое решение, как:

$$\phi(t) = \phi_0 e^{\frac{-iCt}{\hbar}}, \tag{38}$$

где ϕ_0 – значение функции ϕ при $t = 0$ (начальное значение). Однако когда мы будем находить окончательный вид волновой функции, это ϕ_0 обязательно появится в виде множителя в коэффициенте при функции $\psi(x)$, поэтому здесь мы можем принять $\phi_0 = 1$. Выражение (38) можно записать в виде чуть более привычной тригонометрической функции:

$$\phi(t) = \cos\left(\frac{Ct}{\hbar}\right) - i\sin\left(\frac{Ct}{\hbar}\right). \tag{39}$$

Как ясно из выражения (8), коэффициент при t обязательно должен быть угловой частотой ω ($= 2\pi\nu$), то есть:

$$\left(\frac{C}{\hbar}\right) = \omega = 2\pi\nu. \tag{40}$$

Это означает, что:

$$\nu = \frac{C}{2\pi\hbar} = \frac{C}{h}. \tag{41}$$

С другой стороны, как видно из выражения (1):

$$\nu = \frac{E}{h}. \tag{42}$$

Сравнивая (41) и (42), видим, что:

$$C = E. \tag{43}$$

Константа C на самом деле оказалась энергией E. Значит, решение (38) уравнения (36) будет следующим:

$$\phi(t) = e^{-\frac{iEt}{\hbar}}. \tag{44}$$

Здесь нужно помнить, что по вышеуказанной причине мы приняли $\phi_0 = 1$.

На основе вышеизложенного второе уравнение (37) примет вид:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2\psi(x)}{\mathrm{d}x^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x). \tag{45}$$

Это уравнение называют, например, «уравнением Шрёдингера, не зависящим от времени», или «стационарным уравнением Шрёдингера». Если в левой части этого уравнения вынести $\psi(x)$ за скобки, то получится:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}x^2} + U(x)\right)\psi(x) = E\psi(x), \tag{46}$$

то есть в левой части уравнения присутствует оператор H (гамильтониан), описанный на стр. 183:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}x^2} + U(x). \tag{47}$$

Кроме того, E называют «собственным значением» потенциала U, а $\psi(x)$ – «собственной функцией», соответствующей этому собственному значению. Подставив (44) вместо $\phi(t)$ в правую часть выражения (30), можно записать волновую функцию – решение уравнения (29) – в виде функции с разделяющимися переменными:

$$\Psi(x, t) = e^{-\frac{iEt}{\hbar}}\psi(x). \tag{48}$$

Для того чтобы найти $\psi(x)$, необходимо конкретно задать $U(x)$.

Здесь надо вспомнить физический смысл волновой функции $\Psi(x, t)$. Согласно интерпретации, предложенной Борном в 1926 году, нижеприведённое выражение

$$P(x, t)\mathrm{d}x = \Psi^*(x, t)\Psi(x, t)\mathrm{d}x \tag{49}$$

имеет такой смысл:

«Вероятность того, что, измерив положение частицы, описываемой волновой функцией, в определённый момент времени, мы обнаружим эту частицу в интервале от x до $x + \mathrm{d}x$».

Здесь $P(x, t)$ – плотность вероятности; $\Psi^*(x, t)$ – комплексно-сопряжённая функции $\Psi(x, t)$, то есть функция, полученная заменой мнимой единицы i в функции $\Psi(x, t)$ на $-i$. Так как вероятность найти частицу где-либо вообще обязательно равна 1, то должно выполняться условие:

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(x, t)\mathrm{d}x = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^*(x, t)\Psi(x, t)\mathrm{d}x = 1, \tag{50}$$

которое называют «условием нормировки» волновой функции.

Прямоугольная потенциальная яма с бесконечно высокими стенками

В качестве одного из самых простых и физически понятных примеров потенциала $U(x)$ можно привести так называемую «прямоугольную потенциальную яму», когда $U(x)$ равно 0 для x из определённого интервала, в остальных случаях – бесконечности. Представьте себе молекулу, запертую в ящике из очень прочного материала и летающую туда-сюда между его стенками.

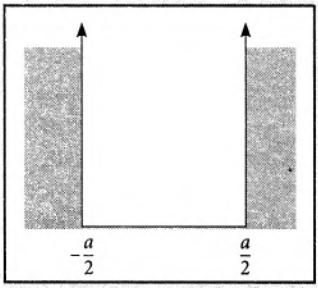


Рис. 1. Прямоугольная потенциальная яма с бесконечно высоким потенциальным барьером

Мы будем рассматривать потенциал, выражаемый следующей функцией:

$$U(x) = \begin{cases} 0 & \left(-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}\right) \\ \infty & \text{(в остальных случаях)} \end{cases}, \tag{51}$$

Это означает, что частица ни при каких обстоятельствах не окажется снаружи потенциальной ямы, поэтому, даже не решая уравнения (45), можно увидеть, что $\psi(x) = 0$ для $x \le -\frac{a}{2}$ и $x \ge \frac{a}{2}$.

С другой стороны, $U(x) = 0$ в интервале $-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}$, следовательно, уравнение (45) примет следующий вид:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi(x) = 0 \ (E \ge 0). \tag{52}$$

Данное уравнение имеет решение в виде:

$$\psi(x) = A\sin(Kx) + B\cos(Kx), \qquad K = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}. \tag{53}$$

(В действительности можно увидеть, что при подстановке выражения (53) в левую часть уравнения (52) получится ноль).

В точках потенциального барьера, то есть при $x = \pm\frac{a}{2}$, собственная функция ψ обращается в ноль. Это условие можно записать как:

$$\psi\left(-\frac{a}{2}\right) = -A\sin\left(\frac{Ka}{2}\right) + B\cos\left(\frac{Ka}{2}\right) = 0; \tag{54}$$

$$\psi\left(\frac{a}{2}\right) = A\sin\left(\frac{Ka}{2}\right) + B\cos\left(\frac{Ka}{2}\right) = 0, \tag{55}$$

что даёт нам условие $A = 0$ или $B = 0$. Следовательно, соответствующие собственные функции будут выглядеть так:

$$\psi(x) = B\cos(Kx), \quad A = 0 \quad \left(-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}\right); \tag{56}$$

$$\psi(x) = A\sin(Kx), \quad B = 0 \quad \left(-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}\right). \tag{57}$$

В случае (56) волновая функция является чётной функцией от x, то есть $\psi(-x) = \psi(x)$. В подобных случаях говорят о «чётном паритете». В случае (57) волновая функция является нечётной функцией от x, то есть $\psi(-x) = -\psi(x)$. В подобных случаях говорят о «нечётном паритете». Чётные функции, такие как $y = \cos x$, симметричны относительно оси y, поэтому $f(-x) = f(x)$. Нечётные функции, такие как $y = \sin x$, симметричны относительно начала координат, поэтому $f(-x) = -f(x)$.

Рассмотрим случай (56). При $x = \frac{a}{2}$ из условия (55) следует, что:

$$B\cos\left(\frac{Ka}{2}\right) = 0, \quad (B \ne 0). \tag{58}$$

Это означает, что:

$$\frac{Ka}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots \tag{59}$$

Следовательно, для собственной функции с чётным паритетом:

$$K = \frac{\pi}{a}, \frac{3\pi}{a}, \frac{5\pi}{a}, \ldots = \frac{n\pi}{a} \quad (n = 1, 3, 5, \ldots). \tag{60}$$

С другой стороны, рассматривая случай (57), при $x = \frac{a}{2}$ из условия (55) следует, что:

$$A\sin\left(\frac{Ka}{2}\right) = 0, \quad (A \neq 0). \tag{61}$$

Это означает, что:

$$\frac{Ka}{2} = \pi, 2\pi, 3\pi, \ldots \tag{62}$$

Следовательно, для собственной функции с нечётным паритетом:

$$K = \frac{2\pi}{a}, \frac{4\pi}{a}, \frac{6\pi}{a}, \ldots = \frac{n\pi}{a} \quad (n = 2, 4, 6, \ldots). \tag{63}$$

Число n, появившееся в выражениях (60) и (63), представляет собой так называемое «квантовое число». Значение $n = 0$ удовлетворяет условию (61) и является решением уравнения (57). Однако при этом $K = 0$, то есть мы получим $\psi(x) = 0$ для любых x. Это не имеет физического смысла, поэтому мы исключили $n = 0$.

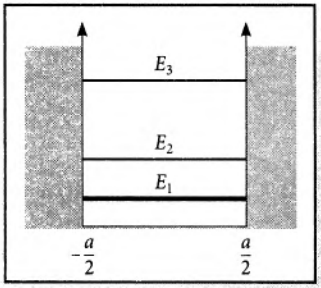


Рис. 2. Три первых собственных значения для прямоугольной потенциальной ямы

Если мы применим условие нормировки (50) к выражению (48), то окажется, что собственная функция должна быть нормированной. То есть:

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{iEt}{\hbar}} \psi^*(x) e^{\frac{-iEt}{\hbar}} \psi(x) \mathrm{d}x = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x) \psi(x) \mathrm{d}x = 1. \tag{64}$$

В случае собственной функции с чётным паритетом (56), применяя (60), получим:

$$B^2 \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \cos^2(Kx) \mathrm{d}x = B^2 \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{1 + \cos(2Kx)}{2} \mathrm{d}x = B^2 \frac{a}{2} = 1.$$

Отсюда можно найти коэффициент B:

$$B = \sqrt{\frac{2}{a}}.$$

Далее, для случая собственной функции с нечётным паритетом (57) можно таким же образом найти, что:

$$A = \sqrt{\frac{2}{a}}.$$

Следовательно, нормированные собственные функции будут иметь вид:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{a}{2}}\cos\left(\frac{n\pi x}{a}\right), \qquad n = 1, 3, 5, \ldots \quad \left(-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}\right); \tag{68}$$

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{a}{2}}\sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right), \qquad n = 2, 4, 6, \ldots \quad \left(-\frac{a}{2} \le x \le \frac{a}{2}\right). \tag{69}$$

Объединив (60) и (63), мы увидим, что собственные значения E не являются непрерывными – они могут принимать только дискретные значения E_n, определяемые квантовым числом n. Другими словами:

$$E_n = \frac{K^2\hbar^2}{2m} = \frac{\pi^2\hbar^2 n^2}{2ma^2}, \qquad (n = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots) \tag{70}$$

В особенности первое собственное значение

$$E_1\left(= \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}\right)$$

представляет собой минимальное значение энергии, которой может обладать частица, запертая в потенциальной яме рассматриваемого нами типа. Его называют «энергией нулевой точки».

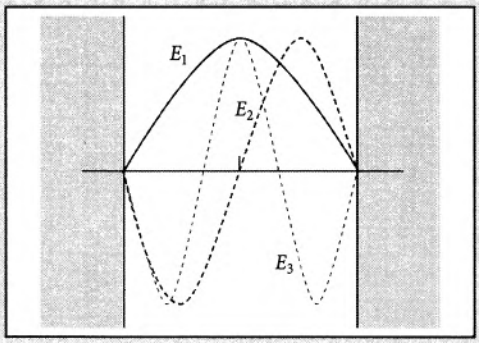


Рис. 3. Три первые собственные функции

ГЕНЕАЛОГИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Философский атомизм

*** Философия – наука, пытающаяся решить фундаментальные проблемы Вселенной и человеческой жизни путём размышлений.**

(Толковый словарь Shinmeikai)

Фалес
(624–546? гг. до н. э.)
Первоэлемент (архэ) – вода!
Архэ – огонь! (Гераклит)
Архэ – земля! (Ксенофан)
Архэ – воздух! (Анаксимен)

Анаксимандр
(610?–546 гг. до н. э.)
Конечные вещи рождаются из бесконечного апейрона

Эмпедокл
(490?–430? гг. до н. э.)
Материя состоит из 4 корней: огня, воды, земли и воздуха

Демокрит
(460?–370 гг. до н. э.)
Все вещества состоят из атомов – чрезвычайно малых неделимых частиц

Примерно 2000-летний пробел

Эти идеи были забыты ввиду невозможности научного доказательства

Концептуальный атомизм

***Концепция – система представлений, сформировавшаяся в сознании под влиянием накопленного опыта.**

(Толковый словарь Shinmeikai)

Китай
Учение об Инь и Ян
Всё существующее делится на два начала – Инь и Ян. Всё возникает и уничтожается из-за их воздействия.

Учение о пяти элементах (У-син)
Всё в мире образовано из 5 элементов: дерева, огня, земли, металла и воды

Индия
Аджита Кесакамбала
Все вещи состоят из 4 великих основ: земли, воды, огня и воздуха

Индийская философия
Всё живое состоит из 12 элементов: земля, вода, огонь, ветер, страдание, радость, дух, пустота, приобретение, потеря, жизнь, смерть

Мусульманский мир
Всё существующее содержит неделимые частицы – атомы

Научный атомизм

Исследования веществ (химия + физика)

Возрождение исследований атома!

Роберт Бойль
(1627–1691)
Сомнения в учении Древней Греции о 4 первоэлементах «огне, воде, земле и воздухе». Истинным элементом должно быть то, что не поддаётся дальнейшему разложению в эксперименте.

Начало бума открытия химических элементов!

Антуан Лоран Лавуазье
(1743–1794)
Опубликовал отчёт об открытии 33 химических элементов экспериментальным путём. Часть из них на самом деле являлась химическими соединениями (1789).

Дано определение атома!

Джон Дальтон
(1766–1844)
1. Все атомы одного и того же элемента имеют одинаковые размеры, массу и свойства.
2. Соединения образуются, когда отличающиеся друг от друга атомы соединяются между собой в определённом соотношении.
3. В химических реакциях изменяется только способ соединения атомов – возникновения новых атомов или исчезновения имеющихся не происходит.

Закон кратных отношений (1804)

Каковы свойства атома?

Дмитрий Иванович Менделеев
(1834–1907)
Предложил Периодическую систему химических элементов, основанную на периодическом законе (1869).

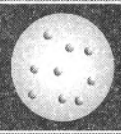
Оказалось, что атом не является самой маленькой частицей!

Иоганн Якоб Бальмер
(1825–1898)
Установил связь между четырьмя длинами волн в линейчатом спектре атома водорода → серия Бальмера (1885).

Квантовая теория

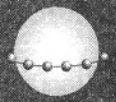
Оказалось, что электричество – это движение электронов!

Джозеф Джон Томсон
(1856–1940)
Открытие электрона (1897)
Модель атома в виде «изюмного пудинга» (арбузная модель) (1904)



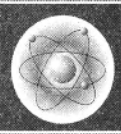
Арбузная модель атома

Нагаока Хантаро
(1865–1950)
Сатурнианская модель атома (1904)



Сатурнианская модель атома

Эрнест Резерфорд
(1871–1937)
Определил размер атомного ядра
Планетарная модель атома (1911)



Планетарная модель атома

Противоречие в модели Резерфорда – электроны притянутся к ядру, и атом разрушится!

Отец квантовой теории

Макс Планк
(1858–1947)
Возможно, существуют минимально возможные порции световой энергии и других физических величин (1900).

Альберт Эйнштейн
(1879–1955)
Количество энергии изменяется скачкообразно потому, что свет обладает свойствами частицы (корпускулярными свойствами).
→ квантовая теория фотоэффекта (1905).
Специальная теория относительности (1905). Общая теория относительности (1916).

Паули	Электрон обладает спином одного из двух противоположных типов, и на одной орбите не могут находиться электроны с одинаковым спином → принцип запрета Паули (1924)
Дирак	На основе вычислений волновой и матричной механики предсказал существование позитрона (1928)
Чедвик	Открытие нейтрона (1932)
Юкава Хидеки	Теория мезонов (1935)
Гелл-Ман	Теория кварков (1963)

Квантовая механика

Поведение материи на микроуровне можно объяснить лишь с точки зрения вероятностей!

Нильс Бор
(1885–1962)
Отец квантовой механики, копенгагенская школа
Противоречий нет, ведь энергия электрона тоже изменяется скачкообразно → модель атома Бора на основе квантового и частотного условий (1913).

Вернер Гейзенберг
(1901–1976)
Невозможно одновременно измерить две физические величины, составляющие определённую комбинацию, без внесения неточности в измеряемые значения → принцип неопределённости (1927).
Математическое выражение связи между частотами электрона и спектрами на основе матричной механики → уравнение движения (1925).

Макс Борн
(1882–1970)
Волна материи – это волна вероятности. При наблюдении она схлопывается в одну точку → вероятностная интерпретация волн материи (1926).

Квантово-механическая интерпретация

противостояние

Интерпретация классической физики

Луи де Бройль
(1892–1987)
Ведь электрон – это волна! → любая материя – это волна.

Эрвин Шрёдингер
(1887–1961)
Если электрон – это волна, то дискретность изменений энергии можно доказать математически → уравнение Шрёдингера (1926) → волновая механика.

Будущие явления предопределены законами природы

Современные теории и гипотезы

Многомировая интерпретация	Теория суперструн	Теория электрослабого взаимодействия
Теория великого объединения	Теории супергравитации	Теория квантовой гравитации

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удивительное путешествие в микромир. Как человек добрался до атома / Мита Масахиро. Изд. SB Creative, 2009.
2. Иллюстрированное пособие. Наглядно о квантовой теории / ред. Сато Кацухико. Изд. PHP Inc., 2009.
3. Наглядная квантовая теория. С испр. и доп., ред. Вада Сумио. Изд. Newton Press, 2009.
4. Квантовая механика Сильвии (Skurrile Quantenwelt) / авт. Сильвия Ароё Камэхо, перев. с нем. Отани Масахиро. Изд. Иванами, 2009.
5. Квантовая теория Девочки-Кошачьего ушка. Эта очаровательная современная физика / авт. Такэути Каору. Изд. PHP Inc., 2009.
6. Проблема интерпретации в квантовой механике. Эксперименты, наводящие на мысль о реальности существования многих миров / авт. Colin Bruce, перев. Вада Сумио. Изд. Kodansha Blue Backs, 2008.
7. Манга о теории суперструн / авт. Сираиси Таку, художник Эдо Рокусукэ. Изд. Takarajimasha Inc., 2008.
8. Нобелевские теории! Посвящение в элементарные частицы. Иллюстрированное пособие. Изд. Bessatsu-Takarajimasha, 2008.
9. Теория относительности и квантовая теория. Иллюстрированное пособие / ред. Сато Кацухико. Изд. PHP Inc., 2006.
10. Что такое квантовая механика? / авт. Нагаока Ёсукэ. Изд. Iwanami Junior, 2003.
11. Хронология науки / авт. Кояма Кэйта. 2003.
12. Принцип неопределённости – вызов судьбе / авт. Цудзуки Такудзи. Изд. Kodansha Blue Backs, 2002.
13. Увлекательная квантовая теория. Последние достижения физики, объяснённые в картинках, – от микромира до космоса / ред. Сато Кацухико. Изд. PHP Inc., 2000.
14. Нильс Бор. Сборник статей (2). Рождение квантовой механики / авт. Нильс Бор, перев. Ямамото Ёситака. Изд. Iwanami, 1999.
15. Нильс Бор. Сборник статей (1). Причинность и дополнительность / авт. Нильс Бор, перев. Ямамото Ёситака. Изд. Iwanami, 1999.
16. Квантовая теория против теории относительности. Бескомпромиссный спор / авт. Мендель Сакс (Mendel Sachs), перев. Харада Минору. Изд. Kodansha Blue Backs, 1999.
17. Разные сведения о квантовой механике в картинках / ред. Сато Кэндзи. Изд. Natsumesha, 1999.
18. Картина мира квантовой механики. Суперпозиция множественного прошлого и будущего / авт. Вада Сумио. Изд. Kodansha Blue Backs, 1994.

19. Квантовая теория для подростков. Гиганты мысли, создавшие современную физику / авт. Цудзуки Такудзи. Изд. Kodansha Blue Backs, 1987.
20. О науке Арабского Востока / авт. Ядзима Сукэтоси, 1965.
21. Сборник самых интересных сказок Японии / ред. Сато Харуо и др. Изд. Shogakukan Inc., 1961.
22. Объяснение уравнения Шрёдингера на основе знаний старшей школы. Для людей, желающих изучить и по-настоящему понять квантовую механику / авт. Такэути Ацуси. Изд. Kodansha Blue Backs, 2005.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

ЛАТИНИЦА

d-орбиталь — 134
p-орбиталь — 134
Protos — 112
s-орбиталь — 134

А

Альфа-частица — 100, 223
Анаксимандр — 53
Античастицы — 207
Антуан Лоран Лавуазье — 66, 80
Арбузная модель атома (модель изюмного пудинга) — 96
Атом — 18
Атомная масса — 62, 114
Атомно-силовой микроскоп (АСМ) — 86
Атомное ядро — 16, 90, 112
Ахилл и черепаха — 24

Б

Бальмер Иоганн Якоб — 128
Бозе-частицы (бозоны) — 115
Бозон Хиггса — 115
Бойль Роберт — 54, 64
Бор Нильс — 130, 136
Борн Макс — 189
Боровский радиус — 137
Бройль Луи де — 147

В

Вернер Гейзенберг — 163
Вероятностная интерпретация — 194, 214
Верхний кварк — 116
Волна (волновое движение) — 148
Волновая функция — 174
Волновое число (k) — 173
Волны материи — 163

Г

Гамильтониан (H) — 167, 183
Гамов Георгий — 223
Генрих Рорер — 85
Герд Карл Бинниг — 85
Глюоны — 115
Гравитон — 115
Градиент — 181

Д

Демокрит — 53
Дальтон Джон — 71, 81
Дирак Поль — 207
Дифракция — 149
Длина волны (λ, «лямбда») — 148, 155

З

Закон Авогадро — 82
Закон Бойля-Мариотта — 54
Закон кратных отношений — 81
Закон сохранения массы веществ — 70, 80
Зееман Питер — 227

И

Изотопы — 115
Импульс — 137, 156
Интерференция — 150
Истинный кварк — 116

К

Калибровочные бозоны — 115
Квант — 19
Квантовая связь — 225
Квантовая телепортация — 225
Квантовая теория фотоэффекта — 176
Квантовое условие — 137
Квантовый компьютер — 225

Кварки — 90, 116
Кобаяси Макото — 17, 98
Комплексные числа — 169
Копенгагенская школа — 130
Косиба Масатоси — 17, 98
Косинусоидальная волна — 178
Кот Шрёдингера — 218
Кюри Ирен Жолио — 112
Кюри Фредерик Жолио — 112

Л

Лапласиан (оператор Лапласа) — 182
Лептоны — 116

М

Масукава Тосихидэ — 17, 98
Менделеев Дмитрий Иванович— 61, 72
Мнимая единица — 167, 178
Многомировая интерпретация — 220
Модель атома Резерфорда — 107
Молекула — 18
Мюон — 116
Мюонное нейтрино — 116

Н

Набла (∇) — 181
Нагаока Хантаро — 95
Нейтрон — 90, 113
Нижний кварк — 116
Ньютон Исаак — 17, 54

О

Общая теория относительности — 17, 213
Обычная частица — 208
Оператор — 167, 181
Опыт с двойной щелью — 192
Очарованный кварк — 116

П

Паули — 227
Планк Макс — 131, 138
Планковская длина — 140, 221
Период (T) — 172
Периодическая система — 62
Показательная функция — 170
Постоянная Планка — 140
Прелестный кварк — 116
Принцип неопределённости — 200, 217
Промежуточные векторные бозоны — 115
Протон — 90, 112

Р

Радиан (2π) — 178
Рассеяние — 100
Резерфорд Эрнест — 100, 112
Резерфордовское рассеяние — 100

С

Сатурнианская модель атома — 96
Сильное взаимодействие — 115, 213
Синусоидальная волна — 178
Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) — 85
Слабое взаимодействие — 115, 213
Спектр — 128
Специальная теория относительности — 17, 156
Странный кварк — 116

Т

Тау-лептон — 116
Тау-нейтрино — 116
Теория суперструн — 116, 211
Томонага Синъитиро — 17, 97
Томсон Джозеф Джон — 95
Трубка Крукса — 91
Туннельный эффект — 223

У

Угловая частота (ω – «омега») — 172
Уравнение движения Гейзенберга — 161, 184
Уравнение Шрёдингера — 167

Ф

Фалес — 52

Фермионы — 116
Формула Эйлера — 170, 178
Фотон — 115, 155
Фотоэлектрический эффект — 153

Х

Химический элемент — 18

Ч

Частота колебаний (ν – «ню») — 155
Частотное условие — 137
Чедвик Джеймс — 112
Число Непера — 178

Ш

Шрёдингер Эрвин — 136, 163

Э

Эйнштейн Альберт — 17, 136, 154
Элементарная частица — 9, 19, 115
Электродинамика — 127
Электромагнитное взаимодействие — 115, 213
Электрон — 16, 92
Электронная волна (волна де Бройля) — 163
Электронное нейтрино — 116
Электронный микроскоп — 48
Эмпедокл — 52
Эсаки Реона — 17, 224

Ю

Юкава Хидэки — 17, 97

• **Автор (основной текст объяснений, сценарий манги)**
Исикава Кэндзи

Научно-технический журналист.

Родился в г. Токио в 1958 г. Закончил факультет естественных наук Токийского естественно-научного университета. После работы в редакции «Еженедельного журнала» перешёл к самостоятельной редакторской и писательской деятельности. Писал книги, статьи в журналы и газеты. Кроме того, более чем за 20 лет деятельности взял интервью у множества инженеров и учёных, создал много научно-популярных произведений. Сферой интересов являются такие области, как электротехника и электроника, машиностроение, авиация и космонавтика, приборостроение, материалы, химия, компьютерные технологии, теория систем, связь, робототехника, энергетика и др.

Основные работы данного жанра

«Манга о Вселенной», изд. Ohmsha

• **Научный редактор**
Кавабата Киёси

Почётный профессор кафедры физики факультета естественных наук Токийского естественно-научного университета, доктор наук.

Родился в 1940 году в префектуре Миэ. В 1964 году закончил кафедру астрофизики факультета естественных наук Киотского университета. Во время учёбы в аспирантуре прошёл стажировку в США, в 1973 году получил звание доктора наук в области астрономии в аспирантуре Университета штата Пенсильвания. Впоследствии его родной Киотский университет также присвоил ему звание доктора естественных наук в области астрофизики. В 1974 году, после работы исследователем в Колумбийском университете, в течение 8 лет занимался исследованиями в Институте космических исследований им. Годдарда (GISS). В 1982 году стал доцентом, а в 1990-м – профессором кафедры физики факультета естественных наук Токийского естественно-научного университета. Специализация – астрофизика, в особенности наблюдательная космология и теория распространения излучений.

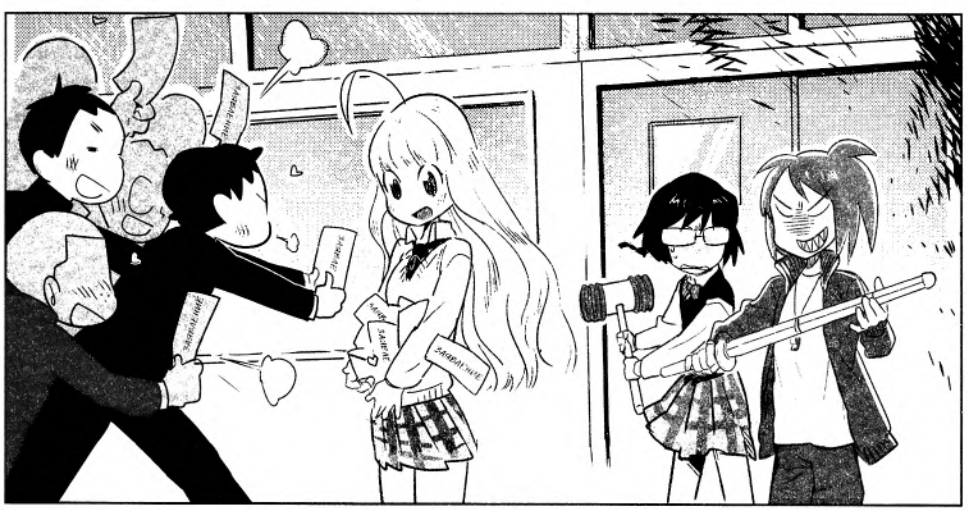
Основные работы данного жанра

«Долгое путешествие длиной в 14,6 млрд световых лет», изд. Ohmsha

«Астрофизика на компьютере. Вводный курс в вычислительную астрофизику» (перевод), изд. Kokushokankokai Inc.

• **Художник**
Ютака Хииираги

• **Оформление**
Verte Corp.: Араи Сатоси, Кавасаки Кэндзи



Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать
в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом,
выслав открытку или письмо по почтовому адресу:
115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.
При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому
должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.
Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.
Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: **www.alians-kniga.ru**.
Оптовые закупки: тел. **(499) 782-38-89**.
Электронный адрес: **books@alians-kniga.ru**.

Исикава Кэндзи (автор), Ютака Хииираги (художник)

Занимательная физика. Квантовая механика.Манга

Издательство выражает благодарность В. О. Панфилову

Главный редактор *Д. А. Мовчан*
dmkpress@gmail.com
Перевод с японского *А. Б. Клионский*
Корректор *Г. И. Синяева*
Верстальщик *А. А. Чаннова*

Формат 70×100 1/16.
Гарнитура Anime Ace. Печать офсетная.
Усл. п. л. 15,375. Тираж 500 экз.

Веб-сайт издательства ДМК Пресс: www.dmkpress.com

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

МАНГА

ДЕЙСТВИЕ ДАННОЙ КНИГИ РАЗВОРАЧИВАЕТСЯ В ЯПОНСКОЙ СТАРШЕЙ ШКОЛЕ "КООКИ". ЧЛЕНЫ ТЕАТРАЛЬНОГО КРУЖКА И ПРОФЕССОР САНУКИ РЕШАЮТ ПОСТАВИТЬ СПЕКТАКЛЬ, В НАГЛЯДНОЙ ФОРМЕ ОБЪЯСНЯЮЩИЙ КВАНТОВУЮ МЕХАНИКУ – НАУКУ О ЗАКОНАХ МИКРОМИРА. ВМЕСТЕ С НИМИ ТЫ ПРОЙДЁШЬ ПО ПУТИ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ, УЗНАВ ПРИ ЭТОМ:

- ПОЧЕМУ ЛЮДИ РЕШИЛИ, ЧТО ВЕЩЕСТВО СОСТОИТ ИЗ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ;
- КАК ИЗУЧАЛИ СТРОЕНИЕ АТОМА;
- ПОЧЕМУ ЗАКОНЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ НЕПРИМЕНИМЫ К ВНУТРИАТОМНОМУ МИРУ;
- ПОЧЕМУ ВОЛНЫ МОГУТ ПРОЯВЛЯТЬ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ, А ЧАСТИЦЫ МОГУТ ПРОЯВЛЯТЬ ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА;
- ЧТО ТАКОЕ ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ И В ЧЁМ СОСТОИТ ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ;
- КАК СОВРЕМЕННЫЕ УЧЁНЫЕ ПЫТАЮТСЯ ПОСТРОИТЬ ЕДИНУЮ КАРТИНУ МИРА;
- КАК КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ НА ПРАКТИКЕ И КАКОВЫ ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ;

ХОТЯ КНИГА СОДЕРЖИТ ОЧЕНЬ МАЛО МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛАДОК И ПРОСТА ДЛЯ ПОНИМАНИЯ, В КОНЦЕ ТЫ САМ НАУЧИШЬСЯ ВЫВОДИТЬ ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ – ОСНОВУ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ!

ISBN 978-5-97060-133-4

9 785970 601334 >

Интернет-магазин: www.dmkpress.com

Книга-почтой: orders@alians-kniga.ru

Оптовая продажа: "Альянс-книга"
(499)782-3889. books@alians-kniga.ru

ДМК Пресс
издательство
www.дмк.рф