

Николай Чаварга

ПРОБЛЕМА РАЦИОНАЛЬНОГО И ИРРАЦИОНАЛЬНОГО В ФИЗИКЕ

Ужгород 1999

В книге предложена электростатическая модель атома, названная кластерной.

Предложен образ «твердых» элементарных частиц в виде электромагнитных солитонов. Модель предполагает существование светонесущей среды со свойствами кристаллического твердого тела.

Предложен вариант специальной теории относительности, базирующийся на этих предположениях.

Предложено объяснение сущности корпускулярно-волнового дуализма в рамках классической физики.

Проанализирован ряд «специфически квантовых явлений». Предложено их объяснение с позиции классической физики.

Предложена энергетическая интерпретация физического смысла ψ -функции волнового уравнения.

Проанализированы причины, приведшие к созданию «иррациональной» физики.

Для специалистов, интересующихся фундаментальными проблемами физики, а также для молодежи, изучающей основы физики.

Рецензенты

И.И. Опачко - доктор ф.-м. наук, Ужгородский национальный университет, профессор

В.А. Кельман – доктор ф.-м. наук, Ужгородский институт электронной физики АН Украины, профессор.

ISBN 966–7242–78–1

© Микола Чаварга, 1999

СОДЕРЖАНИЕ

От автора.....	2
Предисловие.....	3
1. К вопросу о понятии потенциальной кривой	9
2. Наглядные модели атомов.....	27
3. Атом с пространственно-фиксированными электронами.....	34
4. Наглядные модели фотона и электрона	58
4.1 Наглядная модель фотона.....	58
4.2. Наглядная модель электрона	74
5. Движение электромагнитных солитонов в твердом эфире	83
6. Анализ причин и альтернативные предложения	106
6.1. Анализ причин	106
6.2. Альтернативные предложения	119
7. Заключительный раздел.....	148
Литература	152

ОТ АВТОРА

Уважаемый читатель! Настоящая книга является переработанным и расширенным изданием предыдущей – «Альтернативные идеи в физике», вместе с тем это фактически новая книга, в нее включены идеи, как ранее отсутствовавшие, так и те, которые мы по тем или иным причинам не обнаружили. На некоторые моменты мы изменили точку зрения.

Следует отметить сразу, что мы придерживаемся философских взглядов на Природу в целом (в науке, искусстве, литературе, музыке, политике и т.д.), близких к взглядам Эйнштейна и Шредингера, Лорентца и Планка, де Бройля и Ланжевена, и других классиков, поэтому настоящая книга написана с позиции классической, рациональной физики, или, в соответствии с современными взглядами, – с позиции несколько устаревшего рационального мышления. Если Вы, уважаемый читатель, твердо придерживаетесь принципиально новых, квантовых (вероятностных) позиций, позиций иррационального мышления и безумных идей, если Ваши взгляды на Природу совпадают со взглядами Бора и Борна, Гейзенберга и Йордана, Паули и Дирака, то эта книга для Вас скорее всего окажется неинтересной, и Вы можете просто потерять время.

Мы не можем обойти здесь молчанием один неприятный для нас факт. В предыдущей нашей работе была сделана некорректная ссылка на работу А.Д. Власова относительно возможности туннелирования в макром мире [1]. Его слова: «Есть и другие аналоги туннельного эффекта из классической механики. Например, состав из железнодорожных вагонов (без локомотива), съехав с сортировочной горки некоторой высоты, может преодолеть затем горку и большей высоты при условии, что состав соответственно длиннее второй горки», были восприняты нами как аргументация в пользу туннелирования. При более внимательном чтении этой работы, а также его книги [2], выяснилось, что на самом деле Власов придерживается на этот счет противоположного мнения, и фактически стоит на классических позициях. По этому поводу мы хотим здесь принести свои извинения.

Справедливости ради следует сказать, что именно неправильно понятые слова Власова послужили причиной появления интереса к вопросам туннелирования, в результате чего было обнаружено, что в литературе не обращают внимания на разницу между кривыми распределения потенциала поля и кривыми потенциальной энергии тела в этом поле. Это непонимание, по нашему убеждению, является одним из краеугольных камней, на которых покоится современная квантовая теория.

Выход настоящей книги был бы невозможен без финансовой поддержки спонсоров. Хочу выразить по этому поводу свою искреннюю благодарность:

- Главе госадминистрации Закарпатской области, мэру г. Мукачево **Виктору Балогю**.
- Генеральному директору предприятия «Изумруд» **Николаю Писарчуку**.
- Генеральному директору украинско-немецко-швейцарского совместного предприятия «Дьюти Фри Трейдинг» **Евгению Томенчуку**.
- Генеральному директору ЗАТ «Закарпатресурсы» **Юрию Аронсону**.
- Директору СМП «Нектон» **Михаилу Вакеричу**
- Председателю правления СО «Глобус» **Владимиру Ганчаку**.
- Директору ООО ВТП «Норд-сервис» **Ласло Тарци**.
- Директору СП «МГС-ПЛАСТ» **Степану Серени**.

• Генеральному директору корпорации «Закарпатсадвинпром» **Владимиру Гисему**

Пользуясь случаем, я хочу еще раз поблагодарить генерального директора концерна «Карпаты» **Олега Ямалова** и его заместителя **Олега Большакова** – без их помощи в издании предыдущей работы выход настоящей книги был бы весьма проблематичен.

На такую химеру отпускать деньги не разрешаю.

(Резолюция морского министра России на ходатайстве изобретателя радио А.С. Попова о выделении денег на проведение исследований. В результате отказа Россия потеряла приоритет в деле изобретения радио.)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представляется удивительным, что каскад открытий, сделанных в первой четверти XX века, неожиданно приостановился. Несмотря на фантастический прогресс прикладных наук, несмотря на то, что за три последующие четверти столетия шла и идет высоким темпом научно-техническая революция, новых законов природы после открытия квантовой механики найдено не было...

А.И Китайгородский

В настоящее время достижения квантовой теории в вероятностной ее интерпретации практически никем не оспариваются, и только изредка в литературе можно встретить осторожные высказывания, вроде утверждения Фейнмана о том, что «квантовую теорию не понимает никто в мире». В этих утверждениях обычно только угадывается сомнение в истинности квантовой теории.

В семидесятых годах «...группа ученых проводила анкетный опрос среди большой (около десяти тысяч человек) группы физиков. В числе прочих был задан вопрос: считает ли опрашиваемый, что проблема двух аспектов материи еще представляет интерес и не может считаться выясненной до конца? Только двадцать человек ответили, что они полагают, что неравенство Гейзенберга и прилегающие к нему проблемы не являются истиной в последней инстанции.» [3, с.117].

Двадцать человек от 10 000 опрошенных составляет всего 0.2 %, однако мы не считаем, что наша книга рассчитана только на этот процент профессиональных физиков, но надеемся, что именно среди них найдутся экспериментаторы, которые захотели бы проверить изложенные здесь идеи.

В начале нашего века в мире проходили очень бурные процессы как в физике, так и в общественной жизни (идеологии, партии, войны, революции и т.д.). При анализе этих событий с нынешнего расстояния мы не можем отделаться от ощущения, что в это не так уж далекое время наше общество было «заражено каким-то особым вирусом», можно сказать, «вирусом большевизма». При этом если на одной части планеты вирус больше проявил себя в политической жизни, то на другой – в физике и культуре. Для большевиков от политики характерна удивительная страсть к разрушению храмов и созданию химер, а аргументация вроде «учение вождя верно, потому что оно правильно» – считается вполне обоснованной. В спорах основной аргумент большевиков по сути дела сводится к следующему: «ты не понимаешь, что в будущем сознание людей достигнет такого уровня, что все будут стремиться работать как можно лучше, как можно больше и выполнять как можно более трудную, вредную, но необходимую обществу работу». Если вы понимаете это, то понимаете основу их

ученья, если нет – то нет. Интересно отметить, что сами они при этом, как правило, потихоньку воровали и, по мере возможности, уваливали от работы.

Для большевиков от физики характерно стремление опровергнуть, хоть в чем-нибудь, хотя бы на уровне микромира, устои классической физики. Основным аргументом, который они обычно выдвигают в научных спорах, состоит примерно в следующем: «ты не понимаешь, что такое вероятность, ты неправильно, примитивно понимаешь физическую суть понятия вероятности. Например, существует вероятность того, что вот этот стул (держится при этом за стул – это не выдуманный пример) через 10^{30} лет окажется вдруг, в одно мгновение, вон на том дереве (показывает на дерево за окном), и это не противоречит законам природы. Для того, чтобы понять это, нужны очень большие усилия ума, нужен интеллектуальный прорыв. Ты пойми, что с классической позиции в физике уже ничего сделать нельзя – поезд ушел», и т.д.

В современных книгах по физике очень редко можно встретить упоминание о событиях тех времен, поэтому значительная часть читателей и не подозревает, что основные создатели квантовой физики (Планк, Эйнштейн, де Бройль, Шредингер) до конца своих жизней не только не приняли вероятностной ее интерпретации, но и выступали против как только могли. Неудобно как-то получается за классиков – современный аспирант, или даже студент, легко преодолевает то, чего не смогли преодолеть до конца жизни классики. Объяснение здесь предлагают очень простое – молодым легче сделать интеллектуальные прорывы в связи с отсутствием у них предубеждений, а также в связи с общим ростом интеллектуального уровня общества.

Предубеждения к новому могут появиться только в случае, если какие-то убеждения уже имеются, но если последние отсутствуют, то новые убеждения пробивают себе дорогу существенно легче. Новым классикам очень трудно было одолеть старых, они их, фактически, и не одолели – последние просто вымерли, не согласившись с новыми взглядами, но, к сожалению, и не предложив приемлемой альтернативы.

В современной литературе методом внушения учат, что для квантовой теории никакой альтернативы не существует: «... неумолимый опыт свидетельствовал в пользу квантования; ни для какой альтернативы не оставалось места.» [4, с.29]. Эти слова Л.В. Тарасова определили название предыдущей нашей книги – «Альтернативные идеи в физике» [5]. Сейчас мы немного изменили точку зрения, и полагаем, что предложенным нами идеям можно противопоставить альтернативу, но вероятностная концепция альтернативой не является.

В начале нашего века в большую физику пришло поколение способных и очень уверенных в себе молодых людей (если этого не понимаю Я!, значит это принципиально нельзя понять), значительная часть из которых в большей степени была математиками, чем физиками. Такие физики обычно панически боятся снять крышку телевизора или поднять капот своего автомобиля, а устройство дверного замка для них – это уже тайна за семью печатями (для чистых математиков это вполне нормальная, не вызывающая никаких негативных оценок, ситуация).

На существование такой проблемы обращал внимание Р.Фейнман: «Математик готовит абстрактные доказательства, которыми вы можете воспользоваться, приписав реальному миру некоторый набор аксиом. Физик же не должен забывать о значении своих фраз. Это очень важная обязанность, которой склонны пренебрегать люди, пришедшие в физику из математики. Физика – не математика, а математика – не физика.» [6, с.55].

Это не клевета на великих, которые были в большей степени математиками, чем физиками. Вот слова Гейзенберга о самом себе: «...я заметил, что математическая ясность сама по себе не представляла для Бора какой-то особой ценности. Он опасался, что формальная математическая структура скроет физическую сущность проблемы, и был убежден, что законченное физическое объяснение должно, безусловно, предшествовать математической формулировке. Пожалуй, уже в тот момент я был в

большой степени, чем Бор, готов отойти от наглядных картин и сделать шаг по пути к математической абстракции. Во всяком случае в формулах, выведенных совместно с Крамерсом, я чувствовал математику, которая в известной мере казалась независимой от всех физических представлений. От этой математики веяло притягательной магической силой, и мысль о том, что здесь, вероятно, обнаружались первые нити гигантской сети глубоких взаимосвязей, доставляла мне огромное удовольствие. ... презирая всякие наглядные картины, я использовал свою формальную точку зрения на поставленную им проблему и в итоге получил количественные результаты, которые по своему значению шли несколько дальше работы Бора» [7, с.10].

Довольно большое количество выдержек из высказываний классиков и неоклассиков приведено в настоящей книге с целью убедить читателя в том, что в физике, несмотря на заверения учебников, существует ряд серьезных проблем, а также с целью продемонстрировать читателю суть и дух дискуссий, которые от него хоть и не сознательно, но, по сути дела, скрывали и продолжают скрывать – по-видимому, из «педагогических соображений».

Тот факт, что эти дискуссии не были простыми, можно прочувствовать из следующих высказываний классиков по поводу прихода нового мышления в физике:

Г.Лорентц: «Я потерял уверенность, что моя научная работа вела к объективной истине, и я не знаю, зачем жил; жалею только, что не умер пять лет назад, когда мне еще все представлялось ясным».

В.Паули: «Физика теперь снова зашла в тупик, во всяком случае для меня она слишком трудна, и я предпочел бы быть комиком в кино или кем-нибудь вроде этого и не слышать ничего о физике» (Паули первоначально придерживался классических позиций, что позволило ему предсказать существование нейтрино, впоследствии же он безоговорочно перешел на вероятностные позиции).

А.Эйнштейн: «Если бы я заново появился на свет, то не стал бы физиком, а пошел бы в ремесленники».

Э.Шредингер: «Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я вообще сожалею, что имел дело с квантовой теорией».

Очень трудная в этом смысле судьба оказалась у де Бройля. Сначала он придерживался классических взглядов и упорно пытался усовершенствовать волновую механику, потом смирился с квантовой теорией и даже написал ряд книг, но спустя 25 лет, уже в преклонном возрасте, все-таки возвратился на классические позиции, хотя и не предложил приемлемой альтернативы.

Если честно относиться к делу, то проблемы дела могут восприниматься даже как личные проблемы. Конфликт между научными интересами поколений, между вопросами, которые наука ставит перед учеными, и ответами, которые он может найти, привели к тому, что Пауль Эренфест, близкий друг Эйнштейна, покончил счеты с жизнью; по крайней мере так считал Эйнштейн: «Всегда бывает трудно усваивать и преподавать вещи, которые еще не достигнуты сердцем. Это вдвойне трудно для фанатически честного сердца. Следует отметить также трудность приспособления к новым идеям для людей, которым перевалило за полвека. Я не знаю, многие ли из читающих эти строки могут представить себе указанную трагедию. Тем не менее именно она была главной причиной бегства из жизни.» [8, с.294].

Несколько похожие проблемы в физике имеются и в отношении специальной теории относительности Эйнштейна, при этом если некоторые авторы оспаривают приоритет, утверждая, что в создании специальной теории примерно равные заслуги имеют Пуанкаре, Лорентц и Эйнштейн, то ряд других, среди которых даже Шредингер и Штарк, высказывают сомнения в ее правильности. Интересно отметить одну особенность, заключающуюся в том, что противники специальной теории имеются только среди классиков, а все неоклассики (Бор, Борн, Гейзенберг, Паули и Дирак) приняли теорию безоговорочно.

В настоящей книге предложен вариант специальной теории относительности в предположении, что все «твердые» частицы представляют собой волновые образования электромагнитного поля – электромагнитные солитоны. Гипотеза хорошо согласуется с концепцией существования светоносного эфира и не приводит ни к одному из известных парадоксов или противоречий с результатами исследований. Из приведенных в главе 5 высказываний классиков читатель сможет убедиться, что идея буквально висела в воздухе. Учитывая простоту идеи, довольно трудно понять, почему ее не развили дальше.

Наиболее трудной для понимания, из изложенного в настоящей книге, является, по-видимому, первая глава, в которой представлено материал о потенциальных кривых. Без понимания этого материала невозможно будет понять смысл предложений, объясняющих различные квантовые явления с позиции классической физики, особенно в физике твердого тела.

При чтении книги основное внимание следует концентрировать не на попытках найти слабые места в предлагаемых здесь идеях (это не столь важно – на крайний случай кто-нибудь предложит более приемлемую альтернативу), а на слабых местах критикуемой концепции, поскольку последняя выходит за рамки рационального мышления, а это совсем не безобидно.

Встречающиеся иногда в книге почти парламентские выражения и аналогии направлены не столько против критикуемых здесь физических идей, сколько против некоторых «достижений» современной «культуры». В связи с этим мы заранее приносим здесь свои извинения перед определенной категорией читателей.

Имеющиеся в книге кое-где повторы не являются приемом внушения – мы просто считаем, что для полноты картины и облегчения восприятия обсуждаемого вопроса такие повторы в конкретном месте вполне допустимы.

Тот факт, что мы относимся к упомянутым выше 0.2 %, и учет того, что работа написана на злобу дня, т.е. без прицела на вхождение в историю, позволяет нам не слишком заботиться о стиле изложения материала и о респектабельности. Для нас более важно, чтобы книга читалась как можно легче. В случае экспериментального подтверждения предложенных здесь идей все это не будет иметь особого значения, в противном случае – тоже.

*Слишком много в мире людей,
которым никто не помог
пробудиться.*

А. де Сент-Экзюпери

Всякая истинно глубокая научная идея непременно должна первоначально вызывать у слушателей ощущение ужаса.

Н. Бор

Все мы согласны, что ваша теория безумна. Вопрос, который нас разделяет, состоит в том, достаточно ли она безумна, чтобы иметь шанс быть истиной.

Н. Бор после доклада Гейзенберга и Паули

Я склонен думать, что случайность более фундаментальная концепция, нежели причинность.

М. Борн

1927 год явился вехой в эволюции физики. Это был год похорон понятия причинности.

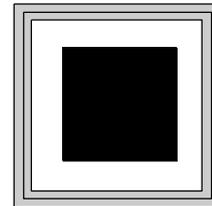
Ф. Вейсман

Мой метод работы состоит в том, что я стремился высказать то, чего, в сущности, высказать еще не могу, ибо пока не понимаю сам.

М. Борн

Идеи логики, порядка, истины, разума - мы все отдаем небытию, смерти. Вы не знаете, до чего может довести нас наша ненависть к логике!

Интеллектуалы-сюрреалисты о себе



К. Малевич, "Автопортрет"

Квантовая механика определенно установила несостоятельность закона причинности.

В. Гейзенберг

Я охотно этому бы поверил, если бы я только мог успокоить свою совесть тем, что не столь уж легкомысленно так просто отделяться от трудностей... Если действительно нужно, постараюсь привыкнуть и к таким вещам.

Шредингер о квантовой теории в 1927 г.

Новая наука самонадеянно присваивает себе право третировать все наше философское воззрение... Но я хочу ясно сказать, что отныне и впредь беру на себя всю ответственность за свое упрямство. Я иду против течения, но направление потока изменится.

Шредингер о квантовой теории в 1954 г.

Понимание природы как объективной реальности считают устаревшим предрассудком, и квантовые теоретики из нужды делают добродетель. Люди больше подвержены внушению, чем лошади, поэтому у них в каждый период - своя мода, и большинство не знает источника этой тирании.

Эйнштейн

Философия беспричинности - это интеллектуальный разврат.

Поль Ланжевен

Философия успокоения Гейзенберга - Борна - или религия? - так тонко придумана, что представляет верующему до поры до времени мягкую подушку, с которой не так легко спугнуть его.

Эйнштейн

Два виднейших ученых нашего времени относятся к принципу Гейзенберга скептически. Планк высказал мнение, что дальнейшие исследования устранят кажущуюся аномалию, а Эйнштейн назвал философские идеи, основанные на этом принципе, "литературой", боюсь, что это лишь вежливый вариант слова "чушь".

Сомерсет Моэм

Физикам не обязательно нужно знать физику, им достаточно знать математику.
Л.Ландау

Соображения Эйнштейна и сегодня (1965) представляются мне покоящимися на недостаточном понимании квантовой механики.

М.Борн

Презируя всякие наглядные картины, я использовал свою формальную точку зрения на поставленную им проблему и в итоге получил количественные результаты, которые по своему значению шли несколько дальше работы Бора.
В.Гейзенберг

Как движется электрон? – Как хочет, у него свободная воля!

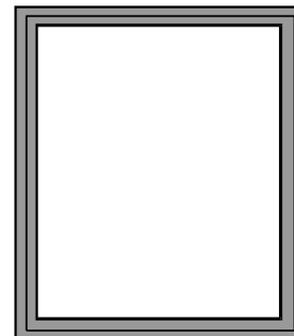
П.Дирак

В логике мало интересного – в логике мало отклонений от логики.

*Художник-модельер
Л.Савенко*

Преодолевая трудности, мы идем вперед, но каждый результат рождает искушение свернуть с пути.

Н.Бор



К.Малевич. Репродукция рисунка, выполненного в технике “белым по белому”

С помощью математики можно доказать все что угодно.
Эйнштейн

С тех пор как математики навалились на теорию относительности, я сам перестал ее понимать.
Эйнштейн

Физик не должен забывать о значении своих фраз. Это очень важная обязанность, которой склонны пренебрегать люди, пришедшие в физику из математики. Физика - не математика, а математика - не физика.

Р.Фейнман

Математика - это только мясорубка, и если в нее засыпать лебеду, то на выходе также получим только лебеду.

Г. Вейль

Положение отчаянное, ничего понять невозможно.

Эйнштейн о квантовой теории

Релятивистская квантовая теория как фундамент современной науки никуда не годится.

П.Дирак

Если долгие поиски меня чему-либо научили, то итог их таков: мы гораздо дальше от понимания элементарных процессов, чем полагает большая часть современников, и шумные торжества не соответствуют современной ситуации.

Эйнштейн

Истина всегда оказывается проще, чем можно было бы предположить. Что нам действительно нужно, так это воображение, но воображение в надежной смиренной рубашке.

Р.Фейнман



1. К ВОПРОСУ О ПОНЯТИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ КРИВОЙ

...когда-нибудь в будущем появится улучшенная квантовая механика, в которой будет содержаться возврат к причинности и которая оправдает точку зрения Эйнштейна.

П. Дирак

Наука похожа на детективный рассказ. Все факты подтверждают определенную гипотезу, но правильной оказывается в конце концов другая гипотеза.

Ф.Франк

Под термином «потенциальная кривая» в литературе обычно подразумевают два существенно различающихся понятия – понятие кривой распределения потенциала силового поля от расстояния, и кривой зависимости потенциальной энергии точечного тела в этом поле. Обычно нет никакой нужды фиксировать внимание читателя на этом факте, однако в ряде случаев это оказывается более, чем просто существенным, ибо эти понятия используют при попытках ревизии основного закона физики – закона сохранения энергии. В данной главе речь будет идти в основном о микромире, однако для наглядности примеры лучше рассматривать из макромира. Разговор на тему потенциальных кривых довольно скучный, но ввиду чрезвычайной важности этого вопроса, мы не можем уклониться от подробного его рассмотрения. Усилия, затраченные на основательное изучение этого вопроса, окупятся ясностью понимания фундаментальных проблем целого ряда разделов физики.

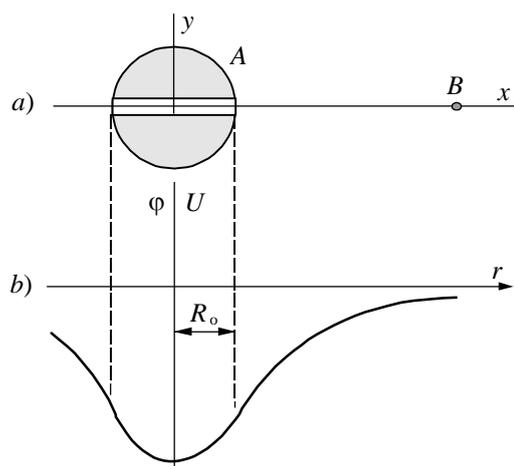


Рис. 1.1. Кривая гравитационного взаимодействия U и кривая потенциала ϕ для двух тел, одно из которых может свободно проходить сквозь другое (отсутствуют силы отталкивания), совпадают. .

В качестве первого примера, в котором используется понятие потенциальной кривой, рассмотрим гравитационное взаимодействие двух тел – большого, радиусом R_0 , тела A и точечного тела B , рис.1.1. В теле A имеется небольшого диаметра сквозной канал, наличие которого не искажает характеристик гравитационного поля тела A . По аналогии с электрическим полем можно ввести понятие потенциала поля тела A :

$$\phi \sim B/r \quad (1.1)$$

где B – константа, пропорциональная массе тела A , характеристика поля, создаваемого телом A .

r – расстояние от центра тела A до рассматриваемой точки.

До точки $r = R_0$ потенциал ϕ уменьшается (если подходить со стороны больших r) по закону $\sim B/r$, при $r < R_0$ – по закону $\sim r^2$. Суммарная кривая потенциала показана на рис.1.1, b).

Поскольку тело B точечных размеров, и может свободно проникать сквозь канал в теле A , его потенциальная энергия изменяется с расстоянием по тому же закону, что и потенциал – выражение для потенциала нужно умножить на m , где m – масса тела B . Кривая взаимодействия в этом случае совпадает по форме (с точностью до коэффициента) с кривой потенциала.

Поместим теперь в точку B тело несколько бóльших размеров – тело, которое не помещается в наш гипотетический канал, но размерами которого также можно пренебречь. Очевидно, что в процессе сближения энергия движения тела B увеличивается только до момента соприкосновения с телом A . Дальше ситуация зависит от того, каким будет соударение – упругим или неупругим. Если соударение упругое, то кривая взаимодействия будет иметь примерно такой вид, как на рисунке 1.2, b , – сплошная кривая. Подчеркнем, что аналитические выражения и соответствующие им кривые можно записывать и изображать только для упругих взаимодействий. В рассматриваемом случае кривая взаимодействия имеет потенциальную яму с минимумом при расстоянии, несколько большем, чем R_0 . Наклон левой стенки зависит от упругих свойств тела A и тела B . Эта стенка не может быть вертикальной, поскольку вертикальность означала бы бесконечную твердость (недеформируемость) как тела A , так и тела B , если последнее не точечное.

Эта стенка не может также уходить в бесконечность, потому что в процессе столкновения рано или поздно произойдут неупругие деформации, или одно из тел разрушится. Графически эту ситуацию можно изобразить в виде обрыва кривой взаимодействия – точка C на рисунке 1.2 означает разрушение тела B .

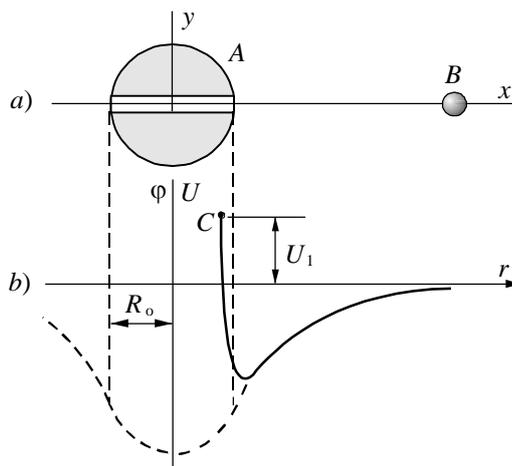


Рис. 1.2. Кривые потенциала и гравитационного взаимодействия упругих тел при наличии сил отталкивания.

Очевидно, что силовая характеристика поля тела A (кривая распределения потенциала, изображена пунктирной линией) в случае рисунка 1.2 такая же, как и на рисунке 1.1, но кривая потенциальной энергии тела B изменилась существенно, несмотря на то, что в этом случае тело B имеет лишь немного бóльшие размеры и не может свободно перемещаться внутри канала тела A . Нетрудно увидеть, что ситуацию можно представить и несколько по-иному – тело B можно оставить имеющим точечные размеры, а тело A немного развернуть вокруг оси y или z . Картина взаимодействия в этом случае будет такой же, как и на рисунке 1.2.

Если хотя бы одно из тел не является упругим, то левую стенку потенциальной ямы уже нельзя изображать сплошной линией, поскольку этот способ используется для изображения упругих взаимодействий, но можно изобразить, например, штриховой линией, наклон которой характеризовал бы неупругие деформации. В этом случае на кривой взаимодействия образуется, хоть и неполноценная, но все же потенциальная яма. Быть может, правильнее ее следовало бы назвать квазипотенциальной ямой.

Если мы рассматриваем взаимодействие упругих, но очень хрупких тел, хотя бы одно из которых разрушается при малейшем их соприкосновении, или даже еще до

соприкосновения, например, вследствие деформации в силовом поле, то кривая взаимодействия окажется без потенциальной ямы, рисунок 1.3, – она обрывается в точке **C**. Для нас теперь очевидно, что участок кривой взаимодействия, изображенный на рисунке 1.3 сплошной линией, называть потенциальной ямой некорректно, даже если расстояние r между центрами взаимодействующих объектов понимать как одну из сферических координат, которая не может иметь отрицательного значения.

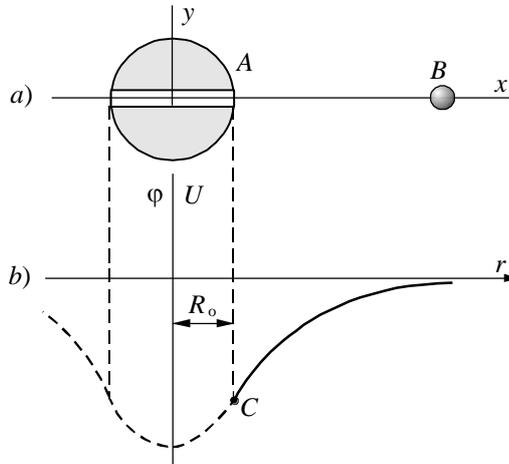


Рис. 1.3

Сравнивая рисунки 1.1, 1.2 и 1.3, мы видим, что даже незначительные изменения в свойствах тела **B** привели к существенным изменениям кривых взаимодействия, хотя кривая потенциала как силовая характеристика поля оставалась неизменной. В последнем из приведенных примеров кривая взаимодействия имеет только потенциальный порог справа. Для нас теперь очевидно, что говорить о наличии потенциальной ямы на кривой взаимодействия, рис.1.3 некорректно, ибо в этом случае на кривой отсутствуют два элемента, необходимых для образования ямы – потенциальное дно и потенциальный порог слева (показаны штриховой линией). Это очень важный пример, поскольку в физике микромира аналогичную кривую считают имеющей потенциальную яму. Учитывая важность вопроса: что является потенциальной ямой, а что не является, рассмотрим этот пример несколько подробнее.

На рисунке 1.4, заимствованном из [9, с.33], приведена кривая, представляющая (по мнению авторов) кривую взаимодействия электрона и протона. Аналогичные рисунки можно найти практически во всех учебниках по атомной физике или квантовой механике. Считается, что электрон при этом пребывает в потенциальной яме, однако классической потенциальной ямы в этом случае не получается. Во-первых, яма не имеет дна, поскольку кривая уходит в бесконечность, и, во-вторых, в соответствии с этой картиной, пробное тело не испытывает никакого противодействия со стороны центра – центр притяжения для пробного тела получается прозрачным.

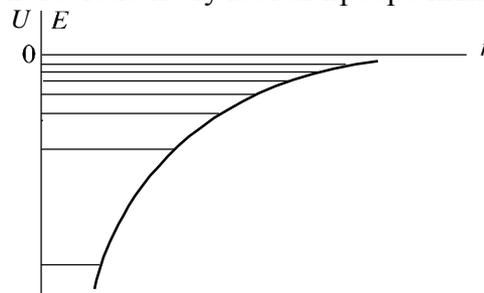


Рис. 1.4. График зависимости потенциальной энергии U электрона от расстояния r до ядра и уровни энергии E атома водорода, [9]

Ситуацию, изображенную на рисунке 1.4, наглядно можно проиллюстрировать с помощью двух притягивающихся тел, одно из которых имеет отверстие, сквозь которое

может свободно проникать пробное тело, рис.1.5, *a*. Отличие здесь состоит лишь в том, что яма на рисунке 1.5, *b* имеет дно, т.е. кривая не имеет разрыва.

Если же тело *A* не прозрачно для тела *B*, то кривая взаимодействия изменяется существенно, рис.1.5, *c*. В литературе обычно приводят только половину рисунков 1.5, *b* или 1.5, *c*. Если протон не прозрачен для электрона, то кривая их взаимодействия будет не такая, как на рисунке 1.4 (или на равноценном ему рисунке 1.5, *b*), а такой, как на рисунке 1.5, *c*, причем безразлично, какой системе координат принадлежит r – декартовой или сферической.

Нам не удалось найти в литературе какой-либо анализ этой проблемы. В устных же дискуссиях обычно утверждают, что на рисунке 1.4 наличие потенциальной стенки левее начала координат (симметрично правой стенке) подразумевается, а электрон на самом деле «обходит» притягивающий центр, выходя за плоскость рисунка вследствие движения по орбите. Потенциальная кривая в этом случае как будто бы получается с потенциальной ямой, хотя и с «дыркой» в начале координат, т.е. без дна. Поскольку такая аргументация встречается часто, мы вынуждены проанализировать этот вопрос подробнее.

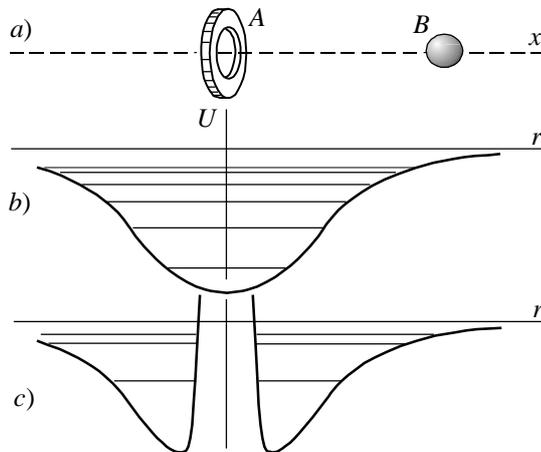


Рис. 1.5. Взаимодействие притягивающихся кольца и шара.

b)– диаметр шара меньше отверстия тела *A*, *c)* – диаметр шара больше отверстия тела *A*.

Пусть вокруг тела *A*, которое является источником силового поля, например гравитационного, запускают с расстояния r_1 пробное тело *B*, полем и размерами которого можно пренебречь, рисунок 1.6. Если тело, покоящееся в точке *B*, просто отпустить на свободу, оно будет двигаться ускоренно по прямой *BA* до соприкосновения с телом *A*. В случае, если взаимодействие между телами упругое, тело *B* отразится, и возвратится в исходную точку, после чего процесс сближения тел повторится. Очевидно, что в некоторой точке *F* скорость тела *B* соответствует энергии движения *FD*. В этом на кривой отражается закон сохранения энергии. В приведенном примере и реальная траектория, и «траектория» в координатах энергия–расстояние имеют форму прямой линии.

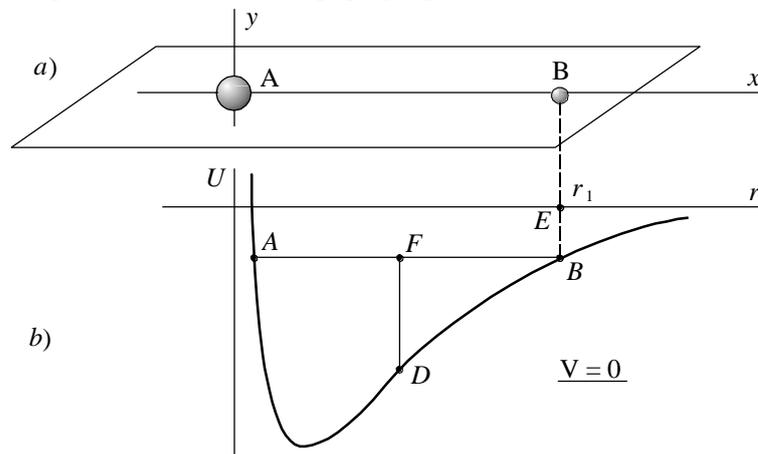


Рис. 1.6. К вопросу о форме реальной траектории тела и ее изображении в координатах энергия – расстояние. Формы траекторий совпадают.

Теперь предположим, что тело **B** запущено с расстояния r_1 с некоторой скоростью V_1 перпендикулярно направлению r , после чего оно начинает движение по эллиптической орбите, причем точка **B** соответствует апогею. В этом случае картина получается существенно более сложной. Старт тела **B** со скоростью V_1 вызывает появление центробежных сил. В связи с тем, что при свободном движении в центрально-симметричном силовом поле выполняется закон сохранения момента импульса, это равноценно появлению отталкивательного потенциала типа A/r^2 , где A – некоторая константа, зависящая от условий старта.

Нетрудно увидеть, что несмотря на то, что теперь тело **B** проходит мимо тела **A** и достигает противоположной точки **C**, рисунок 1.7, *a*, на диаграмме энергия–расстояние оно движется в соответствии с потенциальной кривой $U = A/r^2 - B/r$, имеющей полноценную потенциальную яму. Точке **C** на рисунке 1.7, *a* соответствует точка **C** на рисунке 1.7, *b*. В этой точке энергия движения тела **B** вдоль сферической координаты равна нулю, хотя в действительности она равна **CD** и соответствует максимальной скорости движения в перигее. В некоторой точке **A** энергия движения тела **B** вдоль координаты r равна **AG**, хотя в действительности она равна **AK**. Точка **B** для движения вдоль оси r является поворотной, но энергия движения там соответствует **BE**. Очевидно, что для того, чтобы тело **B** покинуло тело **A**, ему нужно сообщить энергию **EF**.

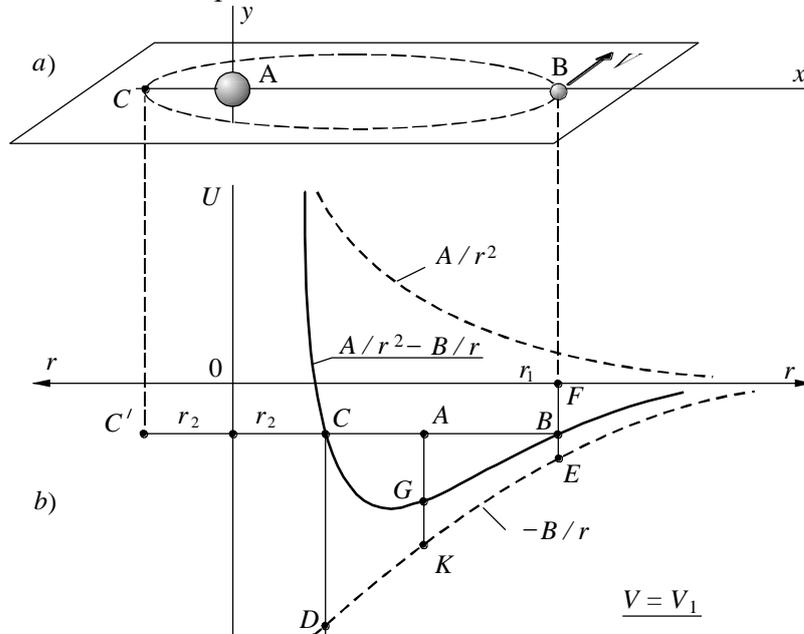


Рис. 1.7. К вопросу о форме реальной траектории тела и ее изображении в координатах энергия–расстояние. Формы траекторий не совпадают, в одном случае имеем эллипс, в другом – прямую линию.

Если телу **B** сообщить скорость V_2 , при которой гравитационная сила уравнивается центробежной, тело **B** будет вращаться по круговой орбите, т.е. $r = const$. На диаграмме энергия – межцентровое расстояние тело сразу окажется на дне потенциальной ямы, т.е. покоящимся, хотя в действительности его энергия движения равна величине **BC**, рис.1.8, *a*.

Если телу **B** сообщить стартовую скорость $V_3 > V_2$, то отталкивательный динамический потенциал начнет пересиливать гравитационный. В декартовых координатах траектория движения теперь снова окажется эллиптической, и тело **B** сможет зайти далеко левее тела **A**, но в сферических координатах расстояние r_1 окажется минимальным, рис.1.8, *b*, а его действительное движение по эллипсу будет изображаться перемещением от точки **B** вправо по линии **BA**. Траектория движения в этих координатах изображается прямой линией **BA**, не имеющей ничего общего с действительной траекторией. Если мы теперь сравним рисунки

1.6 – 1.8 с рисунком 1.4 или 1.5, b , то увидим, насколько существенно они отличаются друг от друга, и сколь недопустимым является пренебрежение различиями в кривых потенциала и кривых взаимодействия. На рисунке 1.8, a траектория движения тела для пунктирной кривой вырождается в точку B , хотя в действительности это движение по кругу с энергией BC . На рисунке 1.8, b энергия BC соответствует стартовой энергии движения, а AD – энергии движения при максимальном удалении тела B от тела A , хотя A и B – это поворотные точки на кривой взаимодействия. А проблема сначала казалась такой простой и ясной...

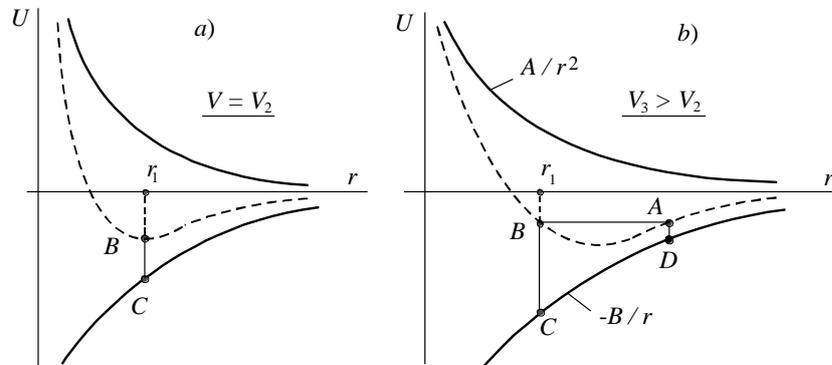
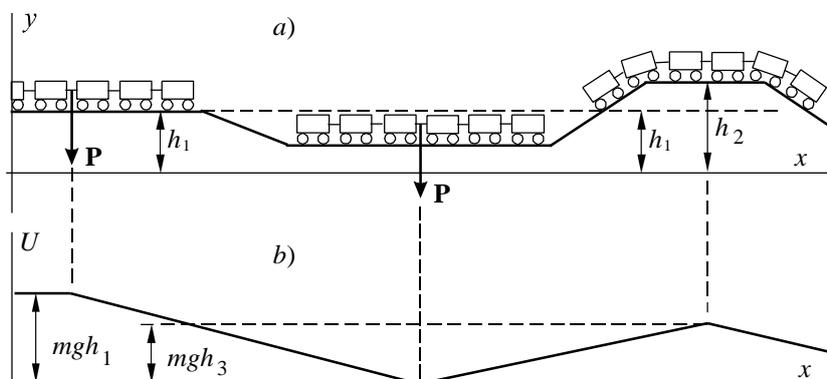


Рис. 1.8

Рассмотрим еще один важный пример из макромира. В предисловии уже упоминалось, что в железнодорожной практике известны случаи, когда состав вагонов, съехав с широкой сортировочной горки, преодолевает горку бóльшей высоты в случае, если он целиком не помещается на плато второй горки, рис.1.9. Если не учитывать различий между кривой потенциала (в данном случае формой реального препятствия, реальной горки) и кривой взаимодействия (кривой потенциальной энергии), то можно сделать неправильный вывод о возможности туннелирования в макромире – преодолении препятствия под потенциальным барьером.

Для точечного объекта (отдельного вагона) кривая взаимодействия имеет примерно такой вид, как и профиль реальных горок, однако для системы тел, а также для протяженного тела, которое может упруго деформироваться, как надувной детский шарик, кривая взаимодействия может измениться довольно существенно, рисунок 1.9, b . Из этого рисунка видно, что система тел (центр системы) начинает чувствовать препятствие раньше, чем точечное тело с теми же координатами. Поскольку система на плато второй горки целиком не помещается, «энергетическая высота» mgh_3 второй горки для этой системы тел меньше, чем у первой горки, mgh_1 , несмотря на то, что геометрическая высота второй горки больше,



$h_2 > h_1$.

Рис. 1.9

Из сказанного можно сделать один очень важный вывод. Если мы стоим на позиции, что закон сохранения энергии выполняется и в микромире, и если известно, что некоторый

объект преодолевает препятствие, хотя имеющейся у него энергии недостаточно для преодоления этого же препятствия точечным объектом, то: или этот объект является протяженным и упруго деформируемым, а его размеры сравнимы с размерами препятствия, или он представляет систему связанных тел типа вагонов поезда. Нужно еще допускать, конечно, что в анализе ситуации имеется ошибка.

Все изложенное выше относительно различий в кривых потенциала и потенциальной энергии почти очевидное, и чтобы у читателя не сложилось впечатление, что этот разговор был излишним, приведем несколько типичных примеров, часто встречающихся в литературе. Из приводимых цитат мы увидим, что в литературе термины «кривая потенциала» и «кривая потенциальной энергии» используются как синонимы. С одной стороны, это как будто не такая уж большая ошибка, но, с другой стороны, именно в связи с этой ошибкой под угрозой оказался краеугольный камень физики – закон сохранения энергии.

Читаем статью Абдуса Салама, видного ученого современности (термины подчеркнуты нами): «В качестве иллюстрации рассмотрим случай, когда энергия исследуемой системы при отклонении последней от положения равновесия растет симметрично во всех направлениях. При этом кривая изменения потенциальной энергии по форме напоминает дно рюмки. Возможен и другой тип изменения потенциала, по форме похожий на дно бутылки, см. рис.... В последнем случае кривая потенциала, как и полагается, симметрична, причем из возможных решений «жизнеспособно» лишь упорядоченное, с меньшей симметрией, т.е. второе.

Итак, вдобавок к калибровочным силам оказался необходимым новый тип сил, изменение потенциальной энергии которых имело бы форму дна бутылки», [10, с.184] , рис.1.10.

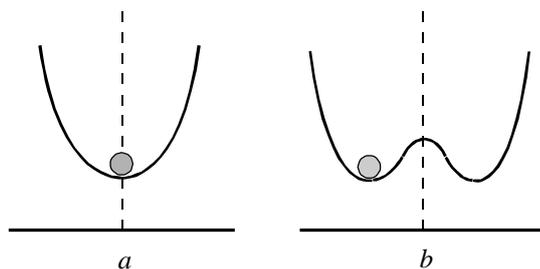


Рис. 1.10. Примеры симметричных потенциальных функций, для которых устойчивое состояние симметрично (а) и несимметрично (b), [10].

Приведенный текст как будто специально написан для подтверждения сказанного относительно ситуации с потенциальными кривыми – вперемежку три раза упоминается потенциальная энергия и два раза потенциал, а в подписи к рисунку использован термин «потенциальная функция». Кроме этого, из рисунка видно, что его автор считает вопрос настолько очевидным, что даже не посчитал нужным обозначить координаты. Возможно, впрочем, что последнее связано с юмором относительно рюмки и бутылки – обозначение координат могло бы ухудшить восприятие юмора.

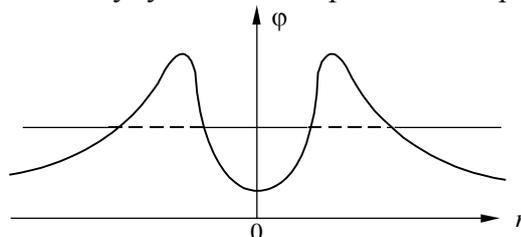


Рис. 1.11. Кратерообразный потенциал силового поля, удерживающего α -частицу внутри ядра. (Фиг.72, [11]).

Теперь посмотрим, каким было отношение к этому вопросу М.Борна, – обращал ли он внимание на разницу между кривыми потенциала и взаимодействия: «Чтобы получить

динамическую картину связи α -частицы с другими частями ядра (как видим, речь идет о кривой взаимодействия, Н.Ч.), нужно вообразить себе некоторое силовое поле, которое могло бы удержать ее внутри ядра, так что его потенциал должен был бы иметь форму, напоминающую кратер (фиг.72). Форма внешних стенок кратера нам известна: из экспериментов по рассеянию следует, что закон Кулона выполняется вплоть до очень малых расстояний – для урана, например, вплоть до расстояний, меньших, чем $r_0 = 3 \cdot 10^{-12}$ см. Вершина кратера поэтому наверняка выше, чем $2e^2(z-2)/r_0$. Для $z \sim 90$ это составляет $14 \cdot 10^{-6}$ эрг. Но энергия излучаемых α -частиц не достигает и половины этой величины. Поэтому, если первоначально α -частица находилась внутри кратера, то по законам обычной механики она никогда и не смогла бы выйти наружу», [11, с.237], рисунок 1.11. Как видим, М. Борн также не обращал внимания на разницу в кривых потенциала и взаимодействия, и использовал их как синонимы. Отметим, что это не единственный случай в его книге, смотри, например, стр.343.

Учитывая изложенное выше относительно характера изменений формы потенциальной кривой в зависимости от свойств тела, мы можем сказать, что если представленная на рисунке 1.11 кривая отражает характер силового поля, действующего на α -частицу как внутри ядра, так и вне его, то учет размеров α -частицы приведет к заметному, но не принципиальному изменению формы кривой взаимодействия объекта с силовым центром – высота потенциальных барьеров уменьшится, а кривая «расплывется» по оси r . Однако пока совсем не очевидно, что эта кривая на самом деле не может представлять такое взаимодействие α -частицы с ядром, при котором частица может задержаться в ядре на длительное время, т.е. войти в состав ядра, как это демонстрирует нам эксперимент.

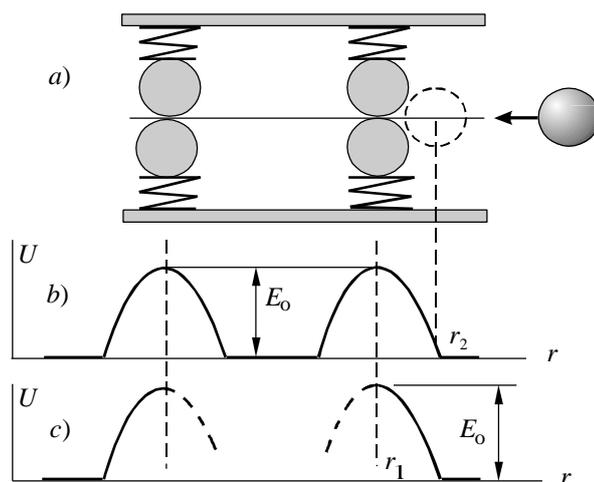


Рис. 1.12. Модель короткодействующих сил.

Для наглядности проиллюстрируем эту ситуацию с помощью механической модели. Пусть упругий гладкий шар налетает на систему подпружиненных гладких цилиндров, размещенных так, как это показано на рисунке 1.12, а. Пусть взаимодействие будет упругим (неупругие деформации и трение отсутствуют, пружины и стенки энергии не поглощают). В этом случае кривая потенциальной энергии будет примерно такой, как показано на рисунке 1.12, б, т.е. в принципе совпадающей по форме с кривой на рисунке 1.11, заимствованном из книги Борна, и призванной представлять кривую взаимодействия α -частицы с ядром. Рассматриваемую кривую нужно читать следующим образом. Пробный шар начинает чувствовать отталкивание с момента его соприкосновения с цилиндрами, при расстоянии $r = r_2$. Если кинетической энергии шара достаточно для раздвижения цилиндров, он сможет проникнуть внутрь системы, однако задержаться там не сможет, поскольку гладкие цилиндры возвратят шару запасенную в пружинах энергию, ситуация повторится на второй паре цилиндров и шар окажется вне нашего устройства с той же самой энергией, с которой он на нее налетел. Мы видим, что для гладкого шара с энергией $E > E_0$ система цилиндров

оказывается «прозрачной». Не исключено, что и в микромире могут наблюдаться эффекты, когда ядро, или другой микрообъект, начиная с определенной энергии, вдруг оказывается прозрачным для налетающей частицы. Следует отметить, что силы, отвечающие за характер кривой взаимодействия на рисунке 1.12, короткодействующие и, быть может, это не случайное совпадение, т.е., быть может ядерные силы на самом деле «контактные», поэтому и короткодействующие.

Если микрочастица в результате столкновения с ядром задерживается в ядре на время, большее, чем это необходимо для упругого взаимодействия (наш гипотетический шар задерживается в системе цилиндров), то это значит, что столкновение было неупругим, и кривая на рисунке 1.12, b не может представлять этот процесс, и, поэтому, не может привлекаться для его анализа. В случае примера с цилиндрами упругое взаимодействие оборвалось бы при расстоянии r_1 , рисунок 1.12, c , (внутренние стенки цилиндров шершавые или внутри находится неупругое вещество, например пластилин, которому шар может отдать энергию, и т.д.).

Известно, что для того, чтобы внедрить α -частицу в ядро, нужна энергия, равная или превышающая определенное значение E_0 . Эта энергия нужна для преодоления кулоновских сил отталкивания со стороны положительно заряженного ядра. Из этого делают вывод, что высота внешних стенок потенциального барьера для α -частицы составляет E_0 . Для реакции $Al + \alpha \rightarrow Si + H_1$, например, это составляет примерно 6.8 МэВ . Однако из эксперимента известно также, что если энергия α -частицы имеет меньшие, но строго определенные значения: 4.00 ; 4.49 ; 4.86 ; 5.25 ; 5.75 и 6.61 МэВ , частица также может проникнуть внутрь ядра Al , рисунок 1.13. Полагая, что кривая взаимодействия α -частицы с ядром Al имеет такой вид, как на рис.1.13, и что внутри ядра (в потенциальной яме) частица имеет дискретные возбужденные энергетические уровни, проникновение частицы внутрь ядра объясняют туннелированием, в данном случае «резонансным проникновением» внутрь ядра. Отметим, что в литературе не существует единого мнения относительно механизма проникновения сквозь барьер. Наиболее осторожные утверждают, что это «специфически квантовое явление». Такое утверждение равноценно известному аргументу «так Бог дал», вполне допустимому в другой области человеческой деятельности, но совсем не допустимому в точной науке.

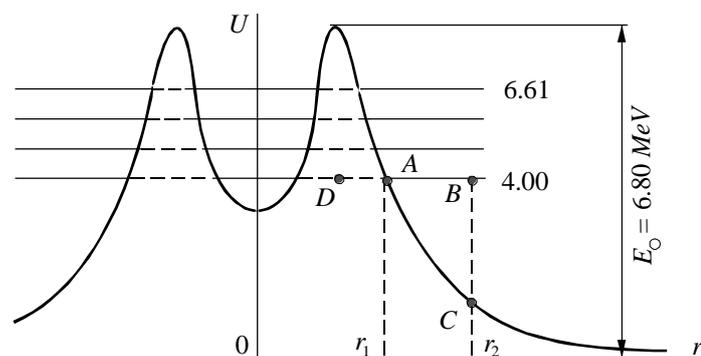


Рис. 1.13

Ситуация на рисунке 1.13 на первый взгляд кажется предельно простой и ясной. С одной стороны, высота барьера измерена с достаточной точностью, но, с другой стороны, α -частицы определенных энергий, существенно меньших высоты барьера, все же оказываются внутри ядра. Картина, изображенная на рисунке 1.13, просто подталкивает сделать вывод, что не существует никакой альтернативы, как допустить, что в микромире, в отдельных ситуациях, закон сохранения энергии выполняется лишь в среднем, статистически.

Если исследователь не дорожит законом сохранения энергии, но вместе с тем ему не терпится первым высказать свое мнение по этому поводу, он так и поступит, несмотря на то, что здесь имеется явное логическое противоречие – сперва строим кривую на законе

сохранения энергии, а затем допускаем, что на самом деле этот закон работает лишь в среднем, т.е. в каждом конкретном случае может и не работать. Вопрос о том, подчиняться или не подчиняться закону сохранения энергии, решают, по-видимому, сами микрообъекты – в соответствии с современными квантово-механическими воззрениями они обладают свободой воли.

Для корректного ведения дальнейшего анализа нам необходимо выяснить, чему соответствуют массивы точек над кривыми взаимодействия, на кривых взаимодействия и под кривыми взаимодействия. В соответствии с законом сохранения энергии пребывание частицы на потенциальной кривой означает, что оба взаимодействующие объекта неподвижны друг относительно друга. Напомним, что для упрощения анализа один из объектов удобно считать массивным и покоящимся в начале координат, а второй – движущимся в силовом поле первого объекта. Если речь идет, например, о точке *A* на кривой взаимодействия, рис.1.13, то это значит, что ядро находится при $r = 0$, а α -частица – при $r = r_1$.

Для точек над кривой потенциальной энергии, например для точки *B*, характерно наличие энергии движения *BC* (можно говорить *энергии взаимного движения тел*, но можно говорить и об *энергии движения одного тела в поле другого*). Диаграмма энергия – расстояние ничего не говорит о направлении скорости α -частицы в точке над кривой – она может быть там как положительной, так и отрицательной. Очевидно, что массив точек на кривой взаимодействия соответствует равенству нулю энергии движения взаимодействующих объектов.

Теперь зададимся вопросом: чему соответствует пребывание системы в точках под кривой взаимодействия, например в точке *D*? Имеет ли смысл этот вопрос вообще? Чаще всего в литературе утверждают, что точки под потенциальными кривыми соответствуют отрицательным значениям энергии движения, что физически абсурдно, поскольку ни масса, ни квадрат скорости не могут иметь отрицательного значения.

На наш взгляд рационально предположить, что массив точек под кривой взаимодействия соответствует замене одного из объектов на антиобъект. В нашем случае – замене α -частицы на античастицу. При такой трактовке точка *D* соответствует не пребыванию частицы внутри барьера, а пребыванию античастицы в потенциальной яме – для удобства чтения график нужно перевернуть вверх ногами. Если мы и второй объект заменим антиобъектом (ядро антиядром), то возвратимся к исходной картине.

Для проверки предположения рассмотрим взаимодействие пары более простых частиц, например электрона и отрицательного иона, или еще проще, – двух электронов, ибо в качестве самого простого отрицательного иона может выступать сам электрон. Такое взаимодействие представляет кривая 1 на рисунке 1.14.

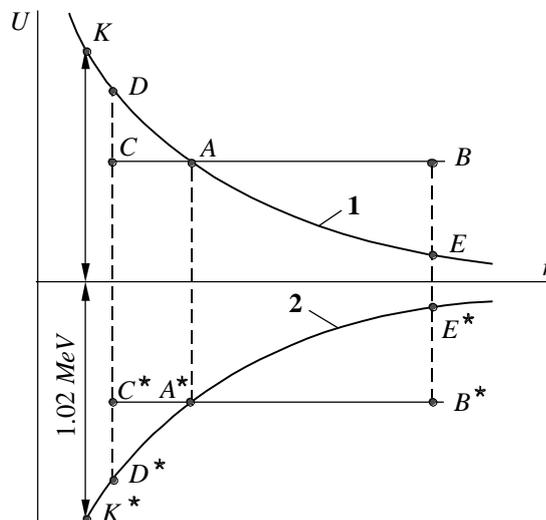


Рис. 1.14

На этом же рисунке представлена и кривая взаимодействия электрона с его античастицей, т.е. с позитроном, кривая 2. Кривые зеркально-симметричные, поскольку в конечном итоге представляют один и тот же закон – закон Кулона. Принципиальное различие между кривыми состоит в том, что в первом случае имеем взаимодействие объектов из одного мира (для двух позитронов кривая будет такой же), а во втором случае один из электронов заменен представителем антимира, т.е. позитроном. Очевидно, что это деление в известном смысле условное.

В мире обычных объектов пребывание частицы (или системы) в точке C , в отличие от точки B , не имеет физического смысла, но зато величине CD можно поставить в соответствие величину C^*D^* с ясным физическим смыслом для кривой взаимодействия при замене одной из частиц на античастицу. Величина C^*D^* представляет теперь энергию движения позитрона в поле электрона, на энергетическом уровне C^*A^* или наоборот.

В точке B мы имеем обратную ситуацию. Имеющей ясный физический смысл величине BE зеркально соответствует величина B^*E^* , на этот раз не имеющая физического смысла для кривой взаимодействия 2. Ситуация выглядит так, что в нашем мире физический смысл имеют только точки на-и-над кривой взаимодействия (точки A, A^*, B, C^* ...). В антимире, как в зеркале, физический смысл имеют точки на-и-под кривыми взаимодействия (точки $A, A^*, B^*, C...$), причем независимо от того, какие частицы при этом взаимодействуют – обычные, или одна из них представляет античастицу, или обе являются античастицами.

Полной симметрии кривых взаимодействия, однако, не наблюдается. В отличие от кривой 1, кривая 2 для электрона с позитроном обрывается на глубине 1.02 МэВ – система прекращает свое существование вследствие аннигиляции, точка K^* . В связи с этим возникает вопрос: какой физический смысл имеет зеркальная ей точка K ? Какой процесс можно назвать зеркальным процессу аннигиляции? Может ли претендовать на это процесс рождения пар? Запасенной в точке K энергии столкнувшихся электронов хватает для рождения электрон-позитронной пары, но откуда тогда родившиеся частицы возьмут энергию для взаимного отталкивания, если вся энергия столкновения израсходована на рождение пары? Что заставит разбежаться в разные стороны как старую, так и только что родившуюся пары?

Отсутствие ответов на эти простые вопросы позволяет сделать вывод, что точка K не является в полном смысле зеркальной точке K^* и кривая 1, по-видимому, может продолжать свой рост в область больших энергий. Быть может, это означает, что между миром и антимиром имеется асимметрия. Иначе говоря, антимир не должен существовать как скопление массивных антипланет, антизвезд и т.п.

Подводя итог анализу физического смысла массива точек под кривыми взаимодействия, мы можем сказать, что расстояние по оси энергии от кривой взаимодействия до данной точки в этом случае соответствует энергии движения античастицы. Поскольку частица в поворотной точке не может «вывернуться наизнанку» и стать античастицей, ставить вопрос о пребывании частицы внутри потенциального барьера просто некорректно.

Поскольку мы уже затронули вопрос проникновения α -частицы в ядро, а также вопрос выхода ее из ядра, рассмотрим эти проблемы с учетом изложенного относительно потенциальных кривых. Для облегчения восприятия идеи, позволяющей объяснить эти явления без введения понятия туннелирования, полезно будет освежить в памяти некоторые понятия физики строения молекул. Этому разделу в университетских курсах физики не уделяют должного внимания, но опыт, приобретенный при изучении потенциальных кривых молекул, оказывается полезным и при анализе других ситуаций, в которых используются потенциальные кривые взаимодействия.

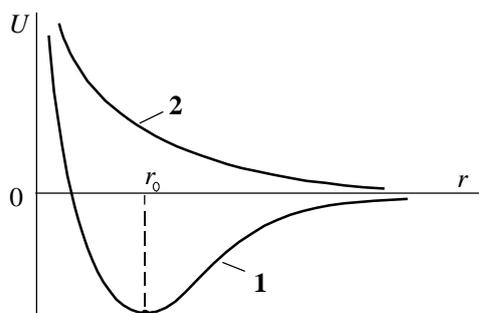


Рис. 1.15

Взаимодействия атомов характеризуются в основном двумя типами кривых – с потенциальной ямой и без нее. Если при взаимодействии двух атомов на больших расстояниях проявляются и преобладают силы притягивания, то на малых расстояниях проявляются и преобладают силы отталкивания – иначе атомы были бы взаимно прозрачными. Такой тип взаимодействия изображается потенциальной кривой с минимумом при определенном межъядерном расстоянии, рис.1.15. На этом расстоянии силы притягивания уравниваются силами отталкивания, поэтому расстояние называют равновесным и обычно обозначают через r_0 . Если энергии относительного движения атомов недостаточно для выхода атома из потенциальной ямы (можно говорить и о выходе молекулы из потенциальной ямы, но это менее наглядно), атомы оказываются связанными в молекулу. В физике молекул такое состояние называют связанным состоянием молекулы.

Если при всех расстояниях между атомами преобладают силы отталкивания, то состояние называют отталкивательным или антисвязанным, кривая 2 на рис.1.15. Формы потенциальных кривых взаимодействия атомов зависят как от состояния их внешних оболочек, так и от взаимной ориентации атомов. Два атома в основных (невозбужденных) состояниях могут образовать, в зависимости от их ориентации, целую серию потенциальных кривых как связанных, так и отталкивательных состояний, рис.1.16. Связанное состояние с наиболее глубокой ямой называют основным состоянием, остальные – возбужденными.

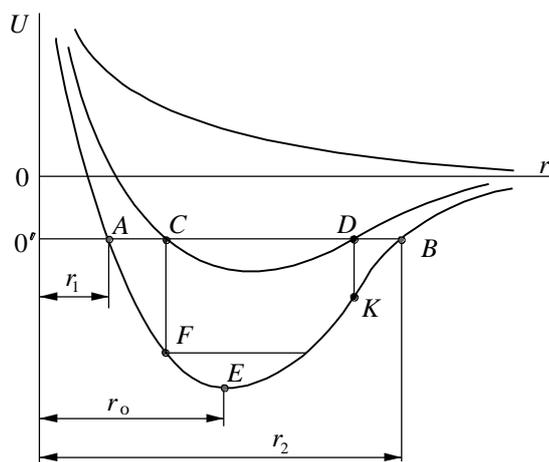


Рис. 1.16

Очевидно, что если один из атомов находится в возбужденном состоянии (возбуждена электронная оболочка), то получится новая серия потенциальных кривых, при этом они также могут быть как связанными, так и отталкивательными. Возбужденных состояний у атомов много, поэтому два атома могут образовать большое число разнообразных потенциальных кривых возбужденных состояний молекулы.

Каждую пару атомов в различных состояниях следует рассматривать как почти совершенно новый объект, несмотря на то, что отличия между ними (между парами)

заканчиваются часто всего лишь в небольших изменениях в электронной оболочке одного из атомов или даже в ориентации одного из них относительно другого.

Каждую потенциальную кривую нужно, в принципе, строить в своей отдельной сетке координат, однако если известен способ и энергия, необходимая для превращения одной пары в другую, все потенциальные кривые одной молекулы можно собрать в одной системе. В этой же системе координат можно нанести и потенциальные кривые для пары, у которой у одного из атомов отсутствует один или несколько электронов. Очевидно, что это уже потенциальные кривые молекулярного иона. Заметим, что на этой же координатной сетке можно, в принципе, нанести и потенциальные кривые для случая, когда у одного из атомов отсутствует один или несколько протонов (или присутствуют «лишние» по сравнению с предыдущим атомом), – т.е. когда имеем дело уже с другим атомом, и, соответственно, с другой молекулой – нужно только указать процесс и энергию перехода.

На рисунке 1.17 показана примерная схема потенциальных кривых двухатомной молекулы. Отметим, что у возбужденных состояний равновесные расстояния могут быть такими же, как для основного, большими или меньшими. Кривые различных состояний могут также пересекаться.

За время перестройки электронной оболочки (переход из одного состояния молекулы в другое) расстояние между атомами не успевает существенно измениться, поэтому на диаграмме переходы между состояниями изображаются вертикальными линиями. Это правило называется принципом Франка – Кондона.

Переход молекулы из основного состояния в возбужденное связан с поглощением энергии и осуществляется при ее взаимодействии с другими объектами (электронами, фотонами, ионами и т.д.). Возврат молекулы из возбужденного состояния сопровождается излучением фотонов и приводит к появлению эмиссионных молекулярных спектров.

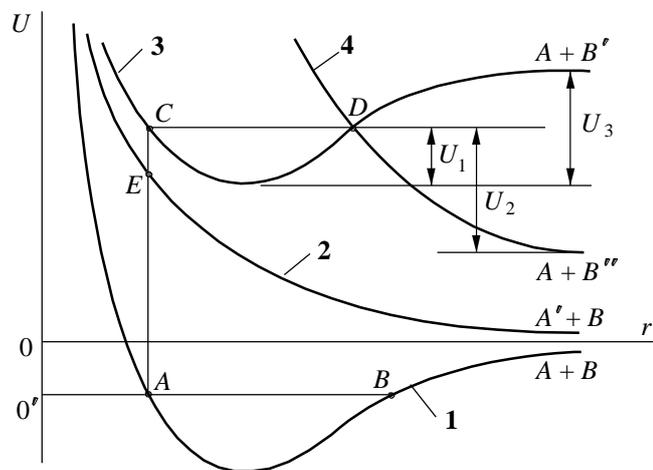


Рис. 1.17

Простота картины потенциальных кривых в значительной степени является кажущейся, и для ее чтения требуются определенные навыки. Во избежание ошибок при чтении кривых один из атомов лучше представлять себе массивным и неподвижным, а другой – легким, массой которого можно пренебречь. В этом случае кривую электронного состояния молекулы (кривую взаимодействия атомов, при котором их электронные конфигурации не изменяются) можно рассматривать как зависимость энергии одного атома в поле другого.

В связанном состоянии квантовые объекты могут принимать только дискретные значения энергии, поэтому, если молекула находится на колебательном уровне **A–B** основного состояния (электронные оболочки не возбуждены, но атомы совершают колебательные

движения друг относительно друга), минимальное расстояние, на которое могут сблизиться центры атомов, равно r_1 , рис.1.16, максимальное, на которое они могут разойтись – r_2 . В колебательно невозбужденной молекуле атомы находятся на равновесном расстоянии r_0 (если не учитывать так называемые нулевые колебания). Такая трактовка потенциальных кривых помогает избежать многих ошибок как в чтении самих кривых, так и в понимании процессов, анализируемых с их помощью.

Если мы исходим из того, что в рассматриваемом процессе закон сохранения энергии не нарушается, «траекторию» движения атома в координатах энергия – межцентровое расстояние нужно изображать прямой линией. Для молекулы, совершающей колебательное движение на уровне **A–B**, рис.1.16, – это прямая линия **AB**. Как видно из рисунка, в своем движении от **A** к **B** атому приходится дважды пересекать потенциальную кривую другого возбужденного состояния в точках **C** и **D**, однако это ни в коем случае нельзя назвать проникновением атома сквозь потенциальный барьер. Потенциальная кривая одной пары не может служить барьером для объекта из другой пары. Отметим, что из основного состояния в точку **C** возбужденного состояния можно перейти, согласно принципу Франка – Кондона, только из точки **F**, или из точки **K** через промежуточную точку **D**.

В своем колебательном движении атомы большую часть времени пребывают в точках возврата, ибо там наименьшая скорость их движения. Это значит, что переходы из одного электронного состояния в другое наиболее вероятны из поворотных точек, т.е. из точек на потенциальных кривых. Если в начале электронного перехода молекула находилась в точке **A** состояния 1, рис.1.17, то, согласно принципу Франка – Кондона, переходы возможны только в точки **E** или **C** состояния 2 и 3, при этом, если переход осуществляется в точку **C**, то пересечение с потенциальной кривой 2 в точке **E** также нельзя назвать проникновением сквозь потенциальный барьер.

Отметим, что в физике молекул такие переходы, а также переходы, показанные на рисунке 1.16, никто и не называет туннелированием, однако мы заостряем внимание читателя на этом вопросе потому, что в физике твердого тела аналогичную ситуацию трактуют как туннелирование. В главе 6 мы еще возвратимся к этому вопросу.

Особый интерес в физике молекул представляет случай, когда имеется пересечение потенциальных кривых разных состояний одной и той же молекулы. В этом случае может наблюдаться образование продуктов распада молекул, даже если кинетической энергии, которую имеет молекула в некотором возбужденном состоянии, недостаточно для преодоления потенциальной ямы этого состояния.

Примерная схема такой ситуации показана на рисунке 1.17. В соответствии с принципом Франка – Кондона, переходы из одного состояния в другое возможны только по вертикали, или в области незначительных отклонений от вертикали, называемой областью Франка – Кондона. Пусть молекула **AB** переводится из точки **A** основного состояния в точку **C** состояния 3, где один из атомов находится в возбужденном состоянии **B'**. В точке **C** молекула имеет несколько возможностей – возвратиться в исходное состояние, излучив при этом квант **CA**, излучить квант **CE**, после чего молекула распадется на два атома, или же начать колебательное движение на уровне **C–D** состояния 3 и оказаться в точке **D**. Поскольку в этой точке пересекаются кривые разных состояний – состояния **A+B'** и состояния **A+B''**, – это означает, что в этой ситуации атому **B** энергетически безразлично, в каком состоянии он находится – в **B'** или в **B''**. Энергия движения здесь для обоих состояний равна нулю, а межъядерные расстояния совпадают, следовательно, возможна перестройка электронной оболочки атома **B** из состояния **B'** в состояние **B''** без потребления или потери энергии. Если такая перестройка в электронных оболочках атомов осуществилась на самом деле, и межъядерное расстояние за время перестройки немного увеличилось, то атом из состояния **B''** уже не сможет возвратиться в **B'**, и мы получим принципиально новую ситуацию, когда оказывается, что атомы уже не притягиваются, а отталкиваются, и молекула распадается на два атома – один в состоянии **A**, а другой в состоянии **B''**.

Как видно из рисунка 1.17, для того, чтобы состояние 3 распалось на два атома, молекуле (или, что то же самое, одному из атомов) необходимо в этом состоянии иметь энергию, не меньшую, чем U_3 . Энергия U_1 , которую молекула имеет на уровне **C–D**, недостаточна для распада, однако вследствие перехода в состояние 4, молекула все же может продиссоциировать, более того, атомы при этом еще и разлетятся с энергией U_2 , и это произойдет в полном согласии с законом сохранения энергии. Этот процесс называется преддиссоциацией.

Нетрудно увидеть, что этот процесс может осуществляться и в обратном направлении. Если столкнуть атом **A** и атом **B** в состоянии **B''** с энергией U_2 , и в точке **D** на кривой взаимодействия электронная оболочка атома **B** перестроится из состояния **B''** в состояние **B'**, то атомы «перейдут» из отталкивательной кривой на кривую взаимодействия с потенциальной ямой (молекула перейдет из отталкивательного состояния в связанное). Этот процесс для удобства мы назовем «обратной преддиссоциацией».

Само собой понятно, что если энергия столкновения атомов меньше или больше U_2 , то система или не дойдет до точки **D**, или проскочит ее, поскольку электронная оболочка атома **B** за время прохождения точки **D** не успеет перестроиться из состояния **B''** в состояние **B'** и обратная преддиссоциация не реализуется. Для реализации обратной преддиссоциации энергия столкновения должна иметь строго определенное значение (или несколько значений, если имеется несколько пересекающихся кривых). Этот процесс мы используем ниже для объяснения так называемого резонансного проникновения α -частицы в ядро, о котором мы уже упоминали при анализе рисунка 1.13. Учитывая важность этого вопроса как для нашего дальнейшего анализа, так и физики в целом, а также для лучшего запоминания сути проблемы, проиллюстрируем ситуацию с помощью наглядных представлений. Пусть потенциальная кривая взаимодействия каких-либо двух объектов имеет такой вид, как изображено на рисунке 1.18, а, кривая 1. Объект, имеющий энергию движения U_1 , может преодолеть локальный барьер и оказаться в потенциальной яме глубины U_2 .

Пусть кривая 2 представляет взаимодействие тех же самых объектов, но теперь уже в случае, когда один из них находится в каком-то другом состоянии, например, изменена его ориентация. Относительно грубой, но достаточно яркой, моделью, иллюстрирующей приведенный процесс, может служить ситуация, в которой упругий шар пытаются вкатить по желобу в профиль, по форме напоминающий кривую взаимодействия 1 на рисунке 1.18, а. Внутри «потенциальной ямы» продольный желоб пересекается под некоторым углом, отличным от 90° , с другим желобом, рисунок 1.18, б.

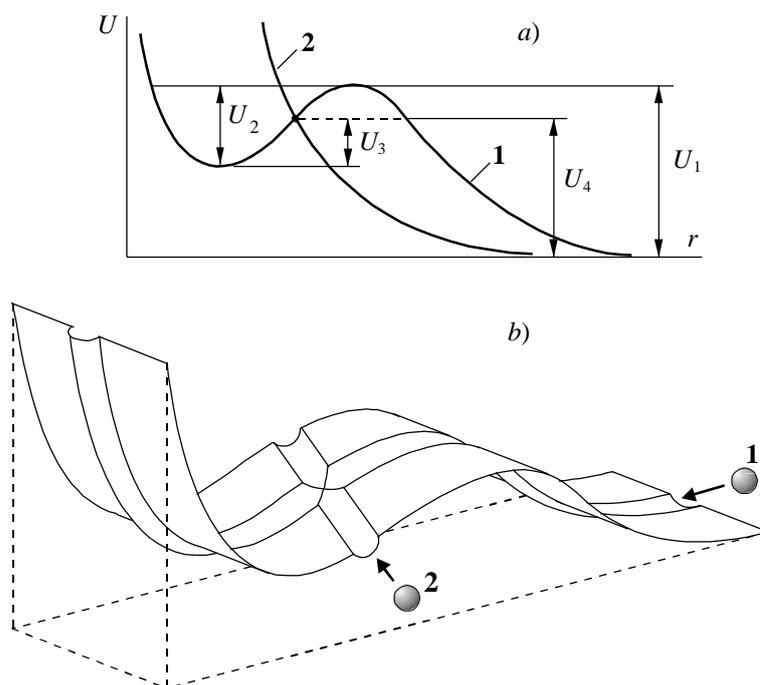


Рис. 1.18. Наглядное моделирование процесса преддиссоциации.

Для того, чтобы вкатить шар в профиль через продольный желоб, нужна энергия U_1 , чтобы выкатить его из ямы – энергия U_2 . Катаясь в продольном желобе «потенциальной ямы», шар по инерции проскакивает точку пересечения желобов, однако в случае, если его энергии U_3 хватает только для того, чтобы подняться до точки пересечения, он относительно легко может оказаться в поперечном желобе (особенно, если профиль немного вибрирует) и, таким образом, покинуть профиль. Это и есть наглядная иллюстрация загадочного процесса преддиссоциации в физике молекул, а также предлагаемое нами объяснение механизма α -распада в ядерной физике.

Процесс обратной преддиссоциации может быть проиллюстрирован попыткой вкатить шар в профиль, но не через продольный, а через поперечный канал. Поскольку точка пересечения желобов находится ниже вершины барьера, для того, чтобы вкатить шар в систему, нужна энергия U_4 , существенно меньшая, чем U_1 . Очевидно, что энергия вкатывания шара должна быть строго фиксированной, иначе шар по инерции проскочит точку пересечения желобов и не перейдет в продольный желоб. Очевидно также, что если поперечных желобов имеется несколько, то имеется и несколько возможностей вкатить в профиль шар с энергиями, меньшими U_1 .

Рассмотрим теперь процесс взаимодействия α -частицы и ядра. Быть может, этот вопрос логичнее было бы изложить в конце шестой главы, где будут приведены попытки объяснения с позиции классической физики ряда экспериментов, для объяснения которых в литературе привлекают понятие туннелирования. Однако, исходя из того, что в основе предлагаемого нами объяснения α -распада ядер и проникновения α -частицы в ядро лежит механизм прямой и обратной преддиссоциации, суть и наглядную интерпретацию которых мы только что изложили, а также учитывая важность проблемы, мы считаем целесообразным изложить этот вопрос в настоящей главе – по свежей памяти.

Известно, что целый ряд свойств атомного ядра хорошо описывается с помощью капельной модели, предполагающей, что ядро представляет собой каплю особой, ядерной жидкости. Если в капле жидкости возбуждать колебательный процесс, то до тех пор, пока силы «поверхностного натяжения» могут удержать каплю в целостности, взаимодействие ее частей можно представить в виде кривой, имеющей потенциальную яму, рисунок 1.19. Если энергия движения частей капли больше некоторой величины U_0 , капля распадется на части по образовавшейся перетяжке.

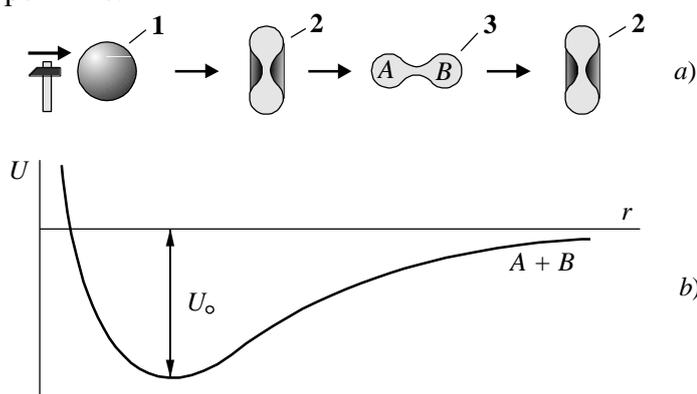


Рис. 1.19. Колебательное возбуждение капли. 1 – шар, исходное состояние, 2 – тор, 3 – гантель.

Очевидно, что форма колебательно возбужденной капли может быть и более сложной, например, с двумя или более перетяжками. Ситуация может сложиться таким образом, что в некотором положении у капли появится несколько возможностей, рисунок 1.20. Находясь в положении неустойчивого равновесия, она может с примерно

равной вероятностью распастся по одному из вариантов – варианты *a* или *c*, или не распастся совсем, вариант *b*.

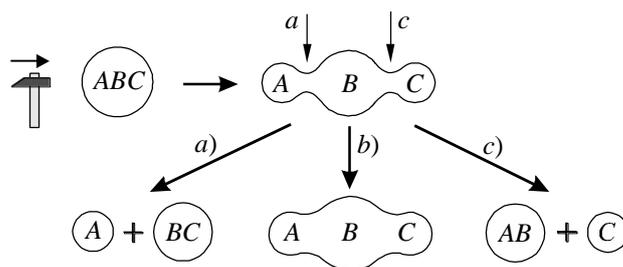


Рис. 1.20

Допустим, что вариант *a* описывается кривой взаимодействия 1, рис.1.21, а вариант *c* – кривой 2. Допустим также, что капля первоначально возбуждена так, что ее колебания можно описать кривой $AB+C$, и что колебательной энергии U_2 хватает только для движения до точки *O*, которая является общей как для кривой $AB+C$, так и для кривой $A+BC$. Пересечение кривых означает как равенство нулю энергии движения составных частей капли, так и равенство между собой расстояний между центрами взаимодействующих частей – между *A* и *BC*, а также между *AB* и *C*. В точке *O* системе безразлично кем быть – $AB+C$ или $A+BC$. Если в этом состоянии неустойчивого равновесия кулоновские силы отталкивания части *A* начнут преобладать (в этом им может помочь небольшой тепловой толчок, поскольку ядро всегда находится под небольшим влиянием (небольшим по ядерным меркам) своей электронной оболочки или потока нейтрино и т.д.), то капля ядерной жидкости перейдет на кривую взаимодействия 1, и ее части $A+BC$ разлетятся с энергией ΔU , хотя для разлета на части $AB+C$ у нее не хватало энергии. Это и есть «преддиссоциация» ядра, она же α -распад.

В случае, если капле сообщить энергию, большую, чем U_2 , она проскочит точку *O*, и при энергии U_0 , существенно большей, чем U_2 , распадется, но уже на части $AB+C$.

Если кривые пересекаются вблизи дна потенциальной ямы кривой 2, то капля окажется нестабильной (капля ядерной жидкости, конечно). Очевидно, что если часть *A* соответствует α -частице, то мы имеем качественное объяснение α -распада ядер в рамках классической физики.

Очевидно также, что если часть *A* столкнуть с частью *BC* с энергией, точно равной ΔU , две капли сольются в одну, вернее, могут слиться в одну, и мы получим «резонансное проникновение» частицы в ядро. Предложенным механизмом можно объяснить в рамках классической физики и упомянутый выше процесс бомбардировки α -частицами ядер алюминия и других ядерных реакций с проникновением частицы в ядро.

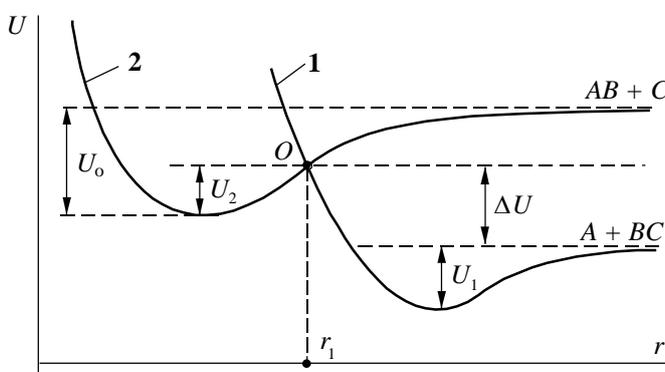


Рис. 1.21

Подводя краткий итог изложенного в главе, можно сказать следующее:

1. Потенциальная кривая, определенная как зависимость потенциальной энергии объекта в силовом поле от расстояния, является общей характеристикой как силового поля, так и взаимодействующего с ним объекта, ибо ее форма зависит от размеров и формы объекта.

2. Потенциальные стенки на кривых взаимодействия не могут быть вертикальными. В случае механических препятствий это означало бы бесконечную твердость как препятствия, так и объекта. В случае силового поля это означало бы бесконечно большую напряженность поля и недеформируемость объекта.

3. Если размеры объекта изменяются дискретно, то дискретно изменяется и глубина потенциальной ямы – в потенциальной яме, построенной как для точечного объекта, появляются «энергетические уровни».

4. Массив точек под кривой взаимодействия некоторого объекта 1 с объектом 2 соответствует энергии взаимодействия антиобъекта 1 с объектом 2 (расстояние по шкале энергий от рассматриваемой точки до кривой), поэтому вопрос о пребывании объекта под собственной кривой взаимодействия (внутри потенциального барьера) некорректен.

*Настанет время, когда потомки наши будут
удивляться, что мы не знали таких очевидных вещей.*

Сенека

2. НАГЛЯДНЫЕ МОДЕЛИ АТОМОВ

Мне кажется, что настоящий смысл вопроса: понимаете ли вы такое-то физическое положение? – будет такой: можете ли вы сделать соответствующую механическую модель?... Я никогда не чувствую себя удовлетворенным, если не могу себе представить механической модели данного явления; если я могу представить себе такую модель – значит, понимаю вопрос; если не могу – значит не понимаю его.

У.Томсон, лорд Кельвин

Идею существования атома как неделимой частицы высказал еще Демокрит, размышляя над вопросом: сколько раз нужно разрезать яблоко, чтобы добраться до такой части, когда дальнейшее деление уже невозможно. Аристотель придерживался противоположного мнения: атомы не существуют, и процесс деления можно продолжать до бесконечности. Теперь мы уже знаем, что истина оказалась где-то между этими утверждениями – атомы на самом деле существуют, но и делятся на составные части. Споры по этому вопросу (не личные, когда умер Демокрит, Аристотелю было всего 14 лет), благодаря необычайно высокому авторитету Аристотеля, были прекращены почти на 2 тысячелетия.

В дальнейшем идею атома начали возрождать сперва французский просветитель Пьер Гассенди (1592 – 1655), а затем преподаватель математики из Манчестера Джон Дальтон (1766 – 1844). Уже в 1808 году он четко сформулировал понятие о химическом элементе: элемент – это вещество, которое состоит из атомов одного типа.

Первый экспериментальный факт в пользу идеи атома был получен шотландским ботаником Робертом Броуном в 1827 году. Броун исследовал с помощью микроскопа хаотическое движение пылцы растений в воде. Теперь это явление известно под названием «броуновское движение».

Первые корректные измерения параметров атома сделал австрийский физик Йозеф Лошмидт в 1865 году. Он установил, что размеры всех атомов примерно одинаковы и составляют примерно 10^{-8} см, а вес атома водорода составляет примерно 10^{-27} кг.

Первая модель атома «с деталями» была предложена Дж. Дж. Томсоном. Он экспериментально доказал факт существования электрона и измерил в 1897 году величину отношения заряда электрона к его массе – e/m . Поскольку Дж. Дж. Томсон еще не знал о существовании у атома ядра, он первоначально предположил, что атом представляет собой совокупность электронов, которые удерживаются вместе некоторой центральной силой неизвестного происхождения. Через несколько месяцев, после измерения массы электрона в 1898 году, Дж. Дж. Томсон предложил вторую свою модель, в соответствии с которой атом состоит из большого числа Z электронов (больше тысячи, учитывая соотношения величин массы электрона и массы атома), отрицательные заряды которых компенсируются другой частью атома, имеющей положительный заряд Ze . Интересно, что если Дж. Дж. Томсон открыл электрон как частицу, как корпусулу, то его сын, Джордж Паджет Томсон, – один из открывателей волновых свойств электронов, – открыл дифракцию электронов на структуре кристалла.

Еще один Томсон – Уильям Томсон (лорд Кельвин) – предложил в 1901 году модель, в которой положительный заряд Ze был равномерно распределен по объему атома и имел большие размеры – размеры атома. Маленькие электроны располагались на периферии и допускалась возможность вращения их вокруг геометрического центра. На электроны действовала сила, направленная к центру атома, поэтому у атома водорода электрон находился в центре атома, у остальных атомов – на сферических поверхностях. Несомненным достоинством модели есть то, что из нее просматривается периодичность изменения химических свойств атомов. В литературе иногда эту модель называют моделью

булочки с изюмом, где роль теста играет положительный заряд, а роль изюминок – электроны. Нельзя сказать, что эта модель совсем неверна – какую-то долю истины она все же представляет.

В 1903 году японский физик Хантаро Нагаока предложил планетарную модель, в которой положительный заряд и основная масса атома сосредоточены в центре, а электроны вращаются вокруг этого центра, двигаясь по одной и той же орбите. Электроны распределены на орбите равномерно, поэтому большие атомы уже больше похожи на планету Сатурн с его кольцами. В модели впервые появился не только притягивающий, но и массивный центр, т.е. ядро, рис.2.1.

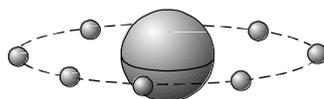


Рис. 2.1. Модель атома Нагаоки.

Нагаока впервые обратил внимание на то, что равномерно движущийся по орбите электрон в соответствии с классической электродинамикой должен излучать электромагнитные волны и в конце концов упасть на ядро, когда израсходуется весь запас энергии движения (заметим, что электрон не только должен излучать, но и излучает, например, при движении по круговым орбитам в ускорителях – т.н. тормозное излучение). Эта идея оказалась настолько привлекательной, что при выборе: классическая физика или атом с вращающимися электронами, многие отдают предпочтение модели, хотя это не единственный ее изъян – модель с вращающимися электронами, например, никак не стыкуется с хорошо известным фактом направленности межатомных связей.

Предположение Нагаоки о существовании у атома массивного положительно заряженного ядра экспериментально было доказано в 1911 году Эрнестом Резерфордом при бомбардировке тонких пластинок золота пучком α -частиц (эксперименты проводили Марсден и Гейгер в 1909 году). Регистрация небольшого числа отраженных назад, на 180° , α -частиц указывала на наличие у атомов массивного ядра. Неожиданным оказался только размер ядра – порядка 10^{-12} см.

В литературе планетарную модель атома часто связывают с именем Резерфорда, однако в своей статье от 1911 года он ничего не говорил о характере движения электронов, хотя модель атома Нагаоки была ему известна. Что касается характера расположения электронов, то в своих расчетах Резерфорд допускал, что отрицательный электрический заряд распределен равномерно по объему атома в пределах сферы 10^{-8} см, [2, с.80].

В 1913 году Нильс Бор предложил свою модель атома и, по сути дела, свою физику атома. Что касается собственно модели, то какого-либо существенного шага здесь сделано не было – наличие у атома положительно заряженного ядра уже было доказано экспериментально Резерфордом и его сотрудниками, а идея использовать центробежные силы для предотвращения падения электронов на ядро была предложена Нагаокой десятью годами раньше. Новой, и при том весьма существенно, была предложенная Бором физика. Чтобы предотвратить падение электрона на ядро, Бор предписал ему двигаться по особым, «стационарным» орбитам без излучения – просто постулировал наличие таких дискретно расположенных орбит в атоме (первый постулат Бора).

Второй постулат Бора говорит, что переходы между орбитами совершаются скачкообразно, при этом испускается (или поглощается) эйнштейновский квант света в соответствии с формулой Планка $E = h\nu$. Радиусы a орбит электронов Бор определил из предположения, что момент количества движения $m_e \cdot V \cdot a$ электрона может быть только целым кратным величины $h/2\pi$, т.е. $m_e \cdot V \cdot a = n \cdot h/2\pi$. Этих относительно простых

предположений Бора оказалось достаточным не только для того, чтобы найти новую работу гипотезам Планка и Эйнштейна и комбинационному принципу Ритца, но и с высокой точностью рассчитать энергетический спектр водорода, получить хорошо согласующееся с экспериментом значение диаметра атома, а также постоянной Ридберга. Кроме того, предположение, что по мере увеличения количества электронов они образуют оболочки и подоболочки, позволило качественно объяснить периодическую зависимость свойств химических элементов от заряда ядра, т.е. от положения элемента в таблице Менделеева.

Совпадение предсказанного результата с экспериментальными данными производит на физиков гипнотическое действие, однако, несмотря на такие ошеломляющие успехи теории Бора, ведущими физиками она была воспринята, мягко говоря, без особого одобрения. Дело здесь не только в том, что электрон на орбите должен излучать, и что атом Бора не стыкуется с таким фактом, как направленность химических связей, о которой в пылу споров почти забыли. Дело в том, что Бор ввел в физику выборочность действия классической физики, т.е. самой физики – при движении электрона по орбите на него, в соответствии с классической механикой, действует центробежная сила, и электрон не падает на ядро, но классическая электродинамика не действует, и электрон не излучает.

Кроме этого, классической физике противоречит представление о квантовых скачках – электрон может находиться на одной из орбит, но при переходе с орбиты на орбиту между орбитами находиться не может. В одной из научно-популярных радиопередач квантовые скачки молодым слушателям предлагали уяснить себе примерно следующим образом: «Представьте себе, что из Москвы в Киев летит современный физик. Если это квантовый физик, то в самолете он будет присутствовать только в аэропортах, а в полете его никто не будет видеть, и ответить на вопрос, где он был все это время, принципиально невозможно» (о туалете, конечно, забыли). Это достижение новой теории очень не любил Шредингер. Однажды в дискуссии с Бором он воскликнул: «Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я вообще сожалею, что имел дело с атомной теорией».

Ознакомившись с теорией Бора, Эйнштейн сказал: «Я все понял, но если это правильно, то это означает конец физики как науки». Приведем несколько высказываний по этому поводу других ученых: «– Теория квантов подобна другим победам в науке: месяцами вы улыбаетесь им, а затем годами плачете (Г.Краммерс). – Законы квантования в своей теперешней формулировке носят до некоторой степени теологический характер, для натуралиста совершенно неприемлемый, так что многие ученые по справедливости возмущаются этими крестьянскими законами (П. Эпштейн) – Теорию квантов можно сравнить с лекарством, излечивающим болезнь, но убивающим больного (Г.Краммерс. Х. Гольст [12])» и т.д. Со временем острота восприятия, конечно, притупляется, особенно, если с основными идеями ознакомиться еще в школьные годы. Раннее обучение не всегда полезно – цыганские дети, например, учатся ходить, говорить и курить одновременно и самостоятельно, но большой пользы от этого не наблюдается.

Дальнейшее развитие планетарная модель получила в работах Зоммерфельда, который предположил, что кроме круговых орбит существуют и эллиптические. Вместо одного квантового числа в модели Бора, в модели Зоммерфельда были введены три независимых квантовых числа: радиальное n_r , экваториальное n_θ и широтное n_φ , что дало возможность объяснить расщепление энергетических уровней. Учет зависимости массы электрона от скорости привел к медленному повороту большой оси эллиптической орбиты, в результате орбита электрона перестала быть замкнутой – так называемая розетка Зоммерфельда, рис.2.2.

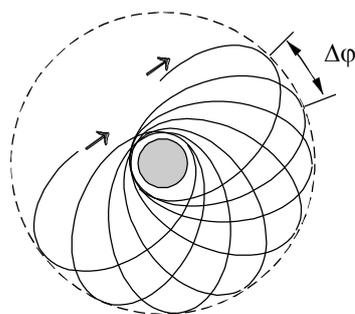


Рис. 2.2. Розетка – орбита электрона, обращающегося вокруг ядра, с учетом релятивистского изменения массы.

При каждом витке перигелий смещается на угол $\Delta\phi$, [11].

Модель Зоммерфельда позволила существенно более точно рассчитать положение энергетических уровней атома водорода, а также тонкую структуру уровней. Долгое время формула Зоммерфельда для расчета положений уровней считалась одним из немногих точных и окончательных результатов в физике. Вскоре выяснилось, однако, что модель Бора подходит только для расчета водорода и водородоподобных ионов.

На примере модели атома Зоммерфельда видно, каким обманчивым может быть совпадение результатов вычислений с данными эксперимента (совпадают шесть разрядов!), однако это далеко не единственный случай в науке – система Птолемея, например, тоже неплохо служила практике, а гипотеза теплорода могла бы получить «блестящее экспериментальное подтверждение» (поскольку горячее тело весит больше, чем холодное), если бы это позволила техника эксперимента, и т.д.

В современной квантовой механике или вовсе отказываются от попытки создания наглядной модели атома, объявляя это принципиально невозможным, или пользуются представлениями об электронном облаке – усредненном во времени положении электрона по отношению к ядру. Формы облаков получают при построении зависимости от пространственных координат величины $|\psi(x,y,z)|^2$, где $\psi(x,y,z)$ – волновая функция данного электрона в атоме.

Приведенным здесь анализом моделей атомов и выводом о принципиальной невозможности наглядного моделирования на уровне микромира в литературе обычно заканчивают знакомство читателей с этим вопросом. На самом деле существует еще целый ряд моделей атомов, о которых многие читатели даже не подозревают.

Исторически наиболее ранней моделью «с деталями» есть, по-видимому, модель атома Бошковича (1711–1787). Бошкович представлял себе атом как центр сил, которые существенным образом изменяются по мере увеличения расстояния от центра. Ближе к центру преобладают силы отталкивания между атомами, что объясняет несжимаемость твердых и жидких тел. При удалении от центра отталкивательные силы сначала уменьшаются, затем обращаются в нуль, после чего становятся притягивающими, затем снова отталкивательными и так несколько раз. Минимумы на кривой сил соответствуют образованию твердых и жидких тел, испарению молекул из жидкостей и т.д. Завершают атом силы притягивания, которые распространяются до больших расстояний в соответствии с законом всемирного тяготения. По нынешним временам модель, конечно, не представляет большой ценности, но на мировоззрение современников Бошковича, таких, как Фарадей или Максвелл, она в свое время оказала большое влияние, [12].

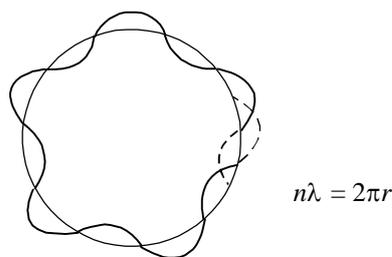


Рис. 2.3. Круговое движение волны [11].

Относительно более известной является модель атома, построенная в соответствии с волновыми идеями Л. де Бройля. В этой модели электрон представляет собой самозамыкающуюся вокруг ядра стоячую электромагнитную волну, рис.2.3. Самозамыкание получается в случае, если на длине окружности орбиты $2\pi r$ укладывается целое число длин волн де Бройля $\lambda = h/p$, т.е. $2\pi r = n\lambda$, рисунок 2.3. Несомненным достоинством этой модели есть то, что квантовые скачки здесь получают свое наглядное истолкование в рамках классической физики, если допускать, конечно, что мы знаем, что такое самозамкнутая вокруг ядра стоячая электромагнитная волна.

Наиболее сильным аргументом против модели де Бройля считают тот факт, что «такая картина существенно противоречит представлению об электроны как о точечной частице», как будто существуют эксперименты, которые однозначно указывают на точечные размеры электрона, как будто экспериментально доказанный факт наличия у электрона спина (механического момента вращения вокруг оси, проходящей через центр электрона) также свидетельствует в пользу точечного электрона.

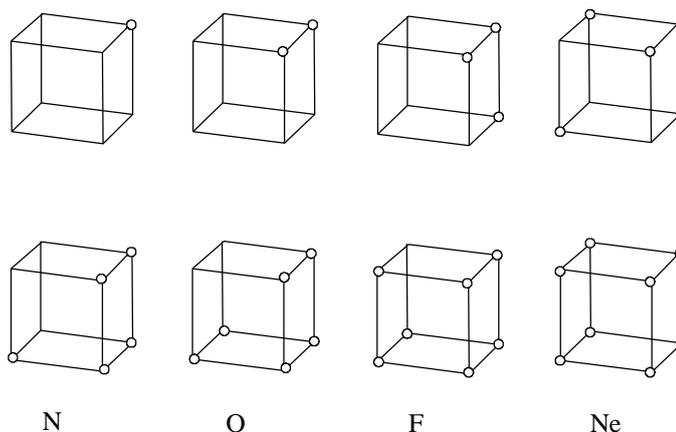


Рис.2. 4. Схемы электронных оболочек (по Льюису), [13].

Попытку состыковать свойство направленности химических связей с моделью атома следует ожидать в первую очередь со стороны химиков. В 1916 году английский химик Льюис предложил различать у каждого атома неизменный электронный «остов» и изменяемую оболочку, в которой может находиться до восьми электронов, расположенных по углам куба, рисунок 2.4, [13, с.65]. Он полагал, что электроны неподвижно удерживаются в этих положениях, но могут перескакивать из одного в другое, как из лунки в лунку. Льюис считал также, что на малых (внутриатомных) расстояниях закон Кулона не действует.

Модель атома, близкую к модели Льюиса, предложил американский физик и физико-химик Ленгмюир. Он полагал, что в атоме существуют концентрические сферические оболочки одинаковой толщины, средние радиусы которых возрастают пропорционально ряду чисел 1-2-3-4..., а поверхности – пропорционально их квадратам: 1-4-9-16.... В каждой оболочке имеются ячейки одинаковой площади. Ленгмюир считал, что в первых ячейках размещается по одному электрону, а в

остальных – по два электрона, поэтому число электронов в оболочках описывается рядом чисел 2(1-4-9-16...). Электроны, размещенные в одной ячейке, почти не влияют друг на друга. Как и в модели Льюиса, электроны в атоме Ленгмюира располагаются по вершинам куба, но при объединении атомов в молекулу куб может немного деформироваться. Схема расположения электронов в атомах гелия, неона и аргона показана на рисунке 2.5, [13, с.66].

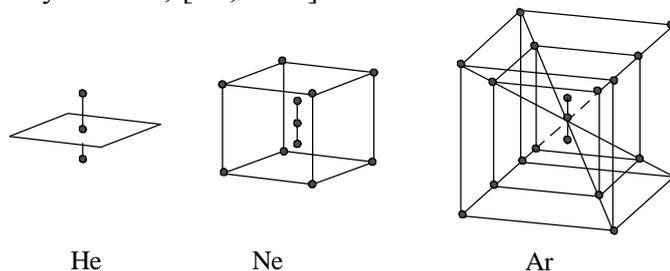


Рис. 2.5. Размещение электронов в атоме Ленгмюира, [13].

Основной недостаток атома Ленгмюира можно продемонстрировать на модели аргона. Размещение одноименно заряженных частиц вдоль одной линии по направлению к притягивающему центру является совсем неустойчивой конфигурацией. Устойчивая конфигурация получилась бы, если бы электроны последующей оболочки размещались против центра грани куба предыдущей оболочки, но, в отличие от углов, граней у куба всего шесть, а таблица Менделеева однозначно указывает на цифру 8.

Несмотря на эти явные недостатки и упрощенность представлений, Льюис и Ленгмюир удовлетворительно объяснили ряд свойств химических элементов и их соединений, в том числе и направленную валентность, а это значит, что модели правильно отражают хоть какое-то свойство атома, иначе ничего бы объяснить не удалось.

Относительно малоизвестной является модель атома, предложенная в 1926 году Шредингером после написания волнового уравнения. Возможно, что на представления Шредингера о строении атомов повлияли не только идеи де Бройля, но и Льюиса и Ленгмюира. В соответствии с идеей Шредингера заряды электронов и образуемые ими токи непрерывно распределены по объему атома с плотностями, выражающимися через волновые функции ψ . Электроны представляют собой волны материи, или волновые пакеты. В стационарном состоянии атомной системы пространственное распределение электронных зарядов и токов постоянно во времени, поэтому постоянны и их электрические и магнитные поля. Это значит, что несмотря на вращение электронов вокруг ядра, потери энергии движения на излучение отсутствуют. Поскольку существует «стационарное распределение» тока, то, как сказал сам Шредингер, «... можно в известном смысле говорить о *возвращении к электростатической и магнитостатической модели атома*», [14, с.138]. Какого-либо рисунка своей модели Шредингер в своих работах как будто не приводил.

Довольно сложную модель атома предложили М.М. Протодяконов и И.Л.Герловин, [13]. В этой модели поле ядра не имеет сферической симметрии. Точечные электроны не только вращаются вокруг ядра или возле ядра, но и участвуют в нутации, прецессии, и сильной радиальной пульсации, вызванной анизотропией поля ядра. В результате движения по такой сложной незамкнутой траектории точечный электрон в среднем создает как бы электронное облако, форма и размеры которого определяются из волнового уравнения. На рисунке 2.6 показана модель атома Протодяконова для лития и бериллия.

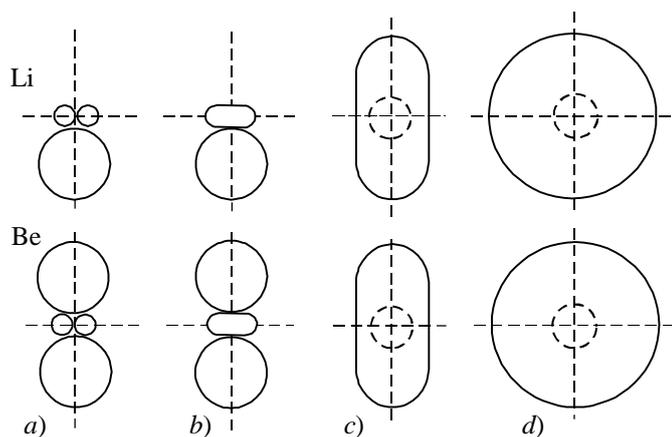


Рис. 2.6. Схема электронной оболочки лития и бериллия [13].
a – мгновенная упаковочная схема ; *b* – внутренняя оболочка размазана в тороид ; *c* – внутренняя оболочка размазана в шар, а наружная – в тороид ; *d* – внешняя оболочка размазана в шар.

На эквипотенциальной поверхности, построенной вокруг атома Протодьяконова, вследствие неодинаковой степени экранирования поля ядра, имеются «выступы» (против электронов) и «углубления» (между электронами). В эти углубления и затягивается очередной электрон – модель также в некотором смысле получается электростатической.

Мы не будем далее углубляться в детали этой гипотезы – подробное ее изложение и анализ заняли бы много места и времени. Для нас интерес в этой модели представляет часть *a*) на рисунке 2.6. На этом рисунке приведены результаты расчетов электронных облаков с соблюдением масштаба. Видно, что электронное облако $1s$ -электронов существенно меньше облака $2s$ -электрона – чем глубже (ближе к ядру) затягивает силовое поле электрон, тем меньше размеры электронного облака (облака вероятности, или объема пространства, за пределы которого электрон не может выйти в соответствии с гипотезой Протодьяконова), [13,с.47]. Независимо от того, какой смысл вкладывается в ψ -функцию, корректно выполненные расчеты имеют самостоятельную ценность.

В завершение обзора известных автору моделей атома отметим, что существуют также вихревые модели (У.Томсон, М.Клевцов, [15]), в которых составные части атома представляют собой неразрушаемые вихревые кольца эфира (кольца Гельмгольца). При этом эфир мыслится как идеальная несжимаемая жидкость, движение частей которой происходит без трения.

Модель атома, которая описывается в понятиях классической электродинамики, предложил Г.Саллгофер, [16]. Электрон в этой модели представляет собой систему электромагнитных полей в атомной среде.

Идею Саллгофера пробуют развивать И.Ю. Кривский и В.М. Симулик, [17]. Они представляют себе атомный электрон как систему электромагнитных и скалярных полей в «специфической внутриатомной среде». В работе этих авторов получено формулу Зоммерфельда для атома водорода но не на основе уравнения Дирака или Шредингера, как это делалось ранее, а на основе стационарных уравнений Максвелла.

*За объяснением дело никогда не станет:
гипотезы неистощимы.*

А. Пуанкаре

3. АТОМ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ФИКСИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

На примере планетарной модели атома до настоящего времени показывают неприменимость классической механики и электродинамики к атомным явлениям. Правда, при этом не выполняют всех требований формальной логики. Из несовместимости планетарной модели с классической физикой следует лишь, что по крайней мере одна из них непригодна. Но ведь непригодной оказалась планетарная модель.

Чтобы показать неприменимость классической физики, следовало бы доказать, что с ней несовместима вообще никакая модель атома.

А.Д. Власов, О.С. Лупандин [2]

В соответствии с канонами написания книг в качестве эпиграфов полагается приводить мудрые высказывания классиков, имя которых хорошо известно читателям и не требует комментариев. Имя Власова известно не такому уж широкому кругу читателей, но кто мешал квантовым классикам додуматься до такой хорошей мысли? Если бы автором этой мысли был кто-нибудь из них, например Л.П.Питаевский, так недружелюбно и совершенно незаслуженно критикующий Власова [18], она была бы цитирована, наверное, многими авторами.

3.1 Строение и химические свойства кластерных атомов

Если кратко подводить итоги имеющихся затруднений в моделях атомов, приведенных в предыдущей главе, то можно отметить две основные трудности: 1) если электроны не вращаются вокруг ядра (Льюис, Ленгмюир), то причина направленности химических связей имеет ясное и наглядное истолкование, но почему тогда электроны не падают на ядро? 2) Если же электроны вращаются, то почему не излучают, и как быть в этом случае с направленной валентностью? Почему в молекуле CO_2 атомы кислорода присоединяются к атому углерода по прямой линии (в четырехатомной молекуле ацетилена C_2H_2 – тоже), а в аналогичной молекуле воды атомы водорода присоединяются к атому кислорода по ломаной линии, при этом угол между направлениями связей составляет строго $104^\circ 28'$? Почему так трудно возбудить атом (всего-навсего изменить орбиту очень легкого электрона) – в отдельных случаях даже для возбуждения электронов внешней оболочки нужно более 10 эВ (примерно сто тысяч градусов)? Почему электроны в атоме не сталкиваются между собой? Этот вопрос касается, между прочим, и облака вероятности – ведь в этом случае должна существовать «отличная от нуля вероятность» такого столкновения, при котором один из электронов должен покинуть атом, аналогично молекуле с поверхности жидкости. Мы знаем, что в подобном процессе интенсивно испаряются не только тяжелые молекулы, но и довольно большие кластеры, а «самоионизации» атомов никто не наблюдал до сих пор.

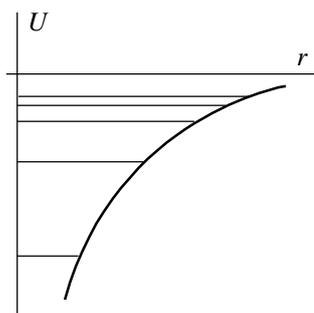


Рис. 3.1

Кроме указанных, имеется еще и затруднение, на которое мы обращали внимание читателя в первой главе – затруднения с определением понятия потенциальной кривой. При решении квантово-механической задачи для атома водорода считается, что со стороны протона на электрон действует только кулоновская сила притяжения, рис.3.1, и что электрон при этом пребывает в потенциальной яме. Однако мы уже видели, что такая кривая на самом деле не имеет потенциальной ямы, это только потенциальный порог справа. Если вещи называть своими именами, то нужно сказать, что по сути дела речь идет о некорректной постановке задачи. Как было показано в главе 1, подобная кривая может характеризовать только взаимодействие частицы и античастицы. Обрыв кривой при больших энергиях означает прекращение существования системы в прежнем виде, в данном случае – аннигиляцию.

При использовании модели с электронными облаками вероятности для ответа на вопрос, почему в этом случае электрон не падает на ядро, обычно к анализу привлекают соотношение неопределенностей и дают примерно следующий ответ: «Чем ближе электрон к ядру, тем меньше его потенциальная энергия. Но одновременно растет кинетическая энергия электрона ($\sim 1/r^2$), причем быстрее, чем убывает потенциальная ($\sim 1/r$). Приближаясь к ядру, электрон начинает двигаться настолько быстро, что упасть на ядро не может», [9, с.33].

Обращаем внимание читателя на интересный аргумент: «начинает двигаться настолько быстро, что упасть на ядро не может». Надо понимать, что не исключается и случай движения электрона в направлении ядра. Тогда почему за многие миллиарды лет вероятность такого процесса не реализовалась ни для одного из невообразимо большого числа атомов? Здесь даже комментировать ничего не надо.

Какова же физическая причина отталкивания? Если это связано с движением, то причиной может быть только центробежная сила, – т.е. мы возвращаемся к атому Бора, от которого вроде бы отказались, вдобавок к этому еще и законом сохранения энергии пренебрегли.

Почему же электрон не излучает, если «начинает двигаться настолько быстро»? Каков характер этого движения? Постоянное движение в одном направлении – это или уход от ядра, или падение на него. Движение с изменением направления в пределах электронного облака вероятности – это постоянное ускорение и торможение, которое с одной стороны должно сопровождаться излучением, а с другой стороны требует того, кто будет заниматься этим самым ускорением и торможением – не может же электрон самоускоряться и самотормозиться. Или все-таки может?

Другое дело, конечно, если у каждого электрона имеется волшебная палочка, т.е. если это специфически квантовое явление. Тут дополнительные вопросы ставить рискованно, хотя можно бы и попробовать. Почему, например, при взаимодействии с позитроном, когда сила притягивания точно такая же, как и со стороны протона, электрон не хочет двигаться «натеменно быстро, чтобы не упасть на позитрон», и драматические события завершаются со стопроцентной вероятностью за какие-нибудь 10^{-7} секунды?

Практически все указанные противоречия в моделях атомов можно устранить, если принять следующие предположения:

1. *На электрон со стороны протона (в общем случае со стороны ядра) действуют одновременно две силы – притяжения и отталкивания, причем силы отталкивания не динамического происхождения, как в атоме Бора, а статического. Это возможно в случае, если хотя бы одна из частиц не является элементарной. В природе похожие ситуации встречаются довольно часто – например, взаимодействие двух атомов – там обе силы статического характера.*

2. *Электрон и другие «твердые» частицы представляют собой самозамкнутые электромагнитные волны, электромагнитные солитоны, которые в потенциальной яме могут изменить свои параметры только скачкообразно, излучая или поглощая при*

этом порции энергии. Количество скачков (в конечном итоге число и положение энергетических уровней) определяется параметрами кривой потенциальной энергии и свойствами солитона.

3. Размеры солитонов соответствуют электронным облакам вероятности, и определяются из волнового уравнения. По мере падения электрона в потенциальную яму его размеры скачкообразно уменьшаются, а падение сопровождается рождением фотонов, и наоборот.

4. Ядро и электрон принимают примерно одинаковое участие в процессе рождения фотона.

Что касается образа электрона, как комочка самозамкнутой, самоплененной электромагнитной волны (только не вокруг ядра, как в атоме де Бройля или Шредингера, а на «самой себе»), то в следующей главе мы уделим этому вопросу достаточно внимания. Напомним только читателю, что электрон рождается в паре с позитроном при столкновении двух фотонов достаточной энергии, а все «твердые» частицы могут аннигилировать со своими античастицами, т.е. превратиться в электромагнитное излучение, в волновой природе которого мы не сомневаемся. Это значит, что ничего необычного в образе электрона как электромагнитного солитона нет, тем более что очень близкие идеи высказывали де Бройль и Шредингер (идея представить образ электрона в виде электромагнитного солитона и родилась у нас под влиянием модели атома де Бройля).

Термин «солитон» происходит от английского «solitary wave» – уединенная волна. Это особый тип волн, для образования которых среда должна проявлять свойства нелинейности и дисперсии. Существует много типов солитонов. Некоторые из них могут быть локализованными в пространстве по всем трем координатам, могут двигаться или покоиться на месте, при столкновении с другими солитонами проявляют свойства корпускул, в процессе движения не отдают среде ни внутреннюю энергию, ни энергию движения.

Совсем нетрудно представить себе атом наглядно на основании изложенных выше предположений. Представим себе, что у нас имеются различного сорта ядра и горсть электронов отдельно друг от друга. Попробуем из этого сконструировать различные атомы. При приближении электрона к ядру результат будет зависеть от того, какой заряд имеется у ядра. Если это всего лишь протон, т.е. силы притягивания минимально возможны для ядер, то предполагаемые силы отталкивания (например, контактные) не позволят электрону упасть глубоко, и атом получится в виде несимметричной гантели с маленьким и тяжелым протоном на одном конце и относительно больш́им, рыхлым и легким электроном на другом конце. Далее мы увидим, что такой несимметричный атом должен быть химически активным.

Если в качестве ядра взять α -частицу, притягивающее действие (электрический потенциал) которой больше, чем у протона, то электроны упадут глубже в потенциальную яму, излучат более энергетичные фотоны и сильнее уменьшат свои размеры (атом гелия по размерам меньше, чем атом водорода). Симметричное размещение электронов по разные стороны ядра резко уменьшит химическую активность гелия по сравнению с атомом водорода.

Если в ядре имеются три протона, то первые два электрона займут такое же положение, как и в атоме гелия, однако их заряды не смогут скомпенсировать заряд ядра. Это позволит присоединиться к ним еще одному электрону, который немного оттеснит в сторону подоспевших ранее, но сам так глубоко упасть не сможет, и его размеры, поэтому, будут существенно больш́ими, чем у $1s$ -электронов. Визуально эта картина полностью совпадает с рисунком 2.6, а. Очевидно, что такой атом окажется химически активным.

Мы полагаем, что уже этого краткого занятия с ядрами и электронами вполне достаточно, чтобы представить себе атом в виде притягивающего силового центра и

электронов, занимающих вокруг него фиксированные в пространстве места наподобие молекулам в кластере или ягодам в кисти винограда (*кластер* в переводе с английского и означает *кисть винограда*). В связи с этим, а также для удобства, мы назовем нашу модель атома с пространственно-фиксированными положениями электронов **кластерной**. Причина направленности химических связей с точки зрения предлагаемой модели становится понятной без дополнительного комментария. Далее мы увидим, что и длина, и прочность связей также получают простое объяснение через кластерную модель.

Всякое предположение заслуживает внимания лишь в том случае, если оно подтверждается экспериментально. Лучше всего, если эксперименты еще не проведены, и результаты исследований удастся предсказать. Что же можно было бы предсказать на основе кластерной модели? С момента появления идеи о наличии сил отталкивания со стороны протона по отношению к электрону автор постоянно искал аргументы за и против модели. Аргументов против оказалось значительно больше, чем этого бы хотелось.

Первым делом нужно было дать хоть какое-то объяснение природы сил отталкивания. Элементарная логика приводит к ответу, что это принципиально возможно в случае, если хотя бы одна из взаимодействующих частиц (протон или электрон) не является элементарной, что в протоне, например, имеется не только положительный, но и отрицательный электрический заряд, который электрон начинает чувствовать только с близкого расстояния – аналогично взаимодействию двух атомов. Такая мысль кажется кощунственной, если протон и электрон считать элементарными частицами, и мы имеем, таким образом, сильный аргумент против кластерной модели.

Несколько аргументов против модели было получено нами из химии. В соответствии с кластерной моделью атом водорода имеет вид гантели с протоном на одном конце и электроном на другом. Это сразу приводит к выводу, что атом водорода в ряде соединений должен быть двухвалентным, что он должен проявлять способность «сшивать» два различных атома, а мы «знаем», что атом водорода всегда одновалентный.

Из трех «гантелей» можно составить устойчивую конструкцию в виде треугольника, т.е. молекулу H_3 , а из курса химии мы «знаем», что существует только молекула H_2 , поэтому мы «имеем еще один сильный аргумент против кластерной модели».

Из образа гантели автоматически следует, что атом водорода должен обладать постоянным дипольным электрическим моментом. Это значит, что пучок атомов водорода в неоднородном электрическом поле должен расщепляться на две части, аналогично экспериментам Штерна и Герлаха в магнитном поле. Такие эксперименты были проведены Шефферсом еще в 1936 году, [24]. Оказалось, что пучок атомов водорода в неоднородном электрическом поле не расщепляется и отклоняется очень незначительно, из чего в литературе делают однозначный вывод, что атомы водорода не обладают постоянным дипольным моментом. Это очень сильный аргумент против образа гантели. Если отсутствие расщепления пучка еще можно объяснить легкостью ориентировки атомов водорода по силовым линиям поля, то отсутствие отклонения объяснить трудно, и списать на экспериментальные трудности нельзя, поскольку у того же самого автора, на той же самой установке, очень эффективно расщеплялись и отклонялись пучки существенно более тяжелых молекул NH_3 (это расщепление используется в работе мазера на молекулах NH_3).

Само собой понятно, что наличие целого ряда столь сильных аргументов против кластерной модели не позволяло относиться к ней всерьез долгие годы, (идея кластерного атома появилась у автора еще в 1980 году). Однако по мере углубления в тему выяснилось, что на самом деле почти все наоборот, и почти все факты из аргументов «против» стали аргументами «за». Все это позволяет надеяться, что мы находимся на правильном пути.

Весьма подозрительное предположение о наличии в протоне пространственного распределения положительного и отрицательного электрических зарядов можно проверить в опытах по рассеянию электронов на протонах. Но такие эксперименты были проведены еще в 1969 году (Станфордский университет). На основе полученных данных был сделан вывод, что протон состоит из пространственно разделенных положительных и отрицательных электрически заряженных частиц – партонов (так называемая партонная модель протона): «Электроны отскакивают от протона так, будто это целый рой отдельных частичек. Такой же результат дают опыты с рассеянием нейтрино на протонах и нейтронах. Анализ экспериментов показывает, что размеры частиц, рассеивающих электроны и нейтрино, по крайней мере раз в 10 меньше радиуса протона и что их свойства в точности совпадают с тем, что предсказывает теория кварков», [19, с. 21]. Отметим, что идея партонной модели принадлежит не кому-нибудь, а Р.Фейнману.

Непосредственно наличие сил отталкивания со стороны протона можно подтвердить также по рассеянным назад электронам, аналогично α -частицам в экспериментах Резерфорда. Такие результаты эксперимента также зарегистрированы, [20]. Нетрудно представить себе, какое «блестящее подтверждение» получило бы странное предположение о наличии в протоне отрицательного электрического заряда, если бы эти идеи были предложены до 50-х годов.

Что касается химических свойств кластерного атома, то оказалось, что и в этом деле мы изобрели велосипед – оказалось, что атом водорода в ряде соединений проявляет валентность два, а молекула H_3 на самом деле существует, только об этом мало кто из физиков знает. Как видим, и эти аргументы против кластерной модели стали аргументами «за».

3.1.1. Химические свойства кластерных атомов

Кластерная модель автоматически подразумевает, что все химические силы имеют электростатическую природу, поэтому определим химическую активность атома как воздействие его на воображаемый, пробный, точечный, отрицательный электрический заряд, полем которого в атомных масштабах можно пренебречь. В качестве первого примера рассмотрим свойства атома водорода. Для этого атом «укрепим» неподвижно в центре координат, рисунок 3.2. Для того чтобы оценить химическую активность атома, пробный заряд нужно перемещать по воображаемой сфере радиуса R и измерять (вычислять) величину и направление результирующей силы f действия полей электрона и ядра. Очевидно, что при $R \gg r_0$, f близка к нулю – т.е. атом как целое электрически нейтрален. Однако если R по величине сравним с размерами атома, f уже отличается от нуля, и изменяет свои величину и направление примерно так, как это показано на рисунке 3.2. С левой стороны имеем максимальное притягивание, с правой – максимальное отталкивание.

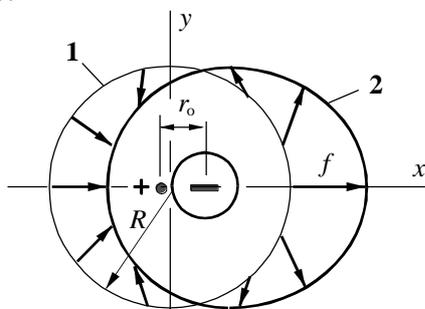


Рис. 3.2. Атом водорода:

1 – сфера радиуса R , 2 – рельефная поверхность.

Если концы векторов силы f соединить огибающей линией (в объеме – поверхностью), получится фигура 2, изображенная на рисунке жирной линией.

Поверхность 2 имеет относительно сферы некий рельеф – один выступ со стороны электрона и одно углубление со стороны протона. Назовем для удобства эту поверхность рельефной. По смыслу это понятие близко к понятию эквипотенциальной поверхности. Для атома водорода рельефная поверхность имеет форму эллипсоида вращения. Для атомов с большим числом внешних электронов она напоминает кластер с плавными переходами от выступов к впадинам, при этом число и положение выступов соответствует числу и положению внешних электронов вокруг ядра. Величина выступов и углублений определяет химическую активность атома – его энергии сродства к электрону и позитрону. Чем больше выступы и углубления, тем химически активнее атом и тем прочнее его связь в молекуле с другим атомом. Пространственная ориентация выступов определяет направленность химических связей, а их количество – максимальную валентность.

Из рисунка 3.2 видно, что атом водорода должен быть химически активным, проявляя при этом электроположительную и электроотрицательную химические активности одновременно. Из курса химии известно, что атом водорода действительно химически активный, и в целом ряде соединений проявляет валентность 2 (так называемая водородная связь). Оказывается, что в ряде соединений атом водорода может сшивать в цепочку два атома, например, в молекуле муравьиной кислоты, рис.3.3, при образовании льда, при образовании молекулы H_3 и т.д.

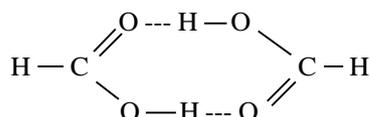


Рис. 3.3. Молекула муравьиной кислоты.

К двухзарядному ядру гелия могут приблизиться на равновесное расстояние только два электрона, после чего его рельефная поверхность, вследствие симметричного расположения зарядов, приобретает форму, близкую к сферической, и атом становится химически инертным, рис.3.4, а. Полностью сферической рельефная поверхность, естественно, быть не может. Это значит, что даже атомы инертных газов все же должны вступать в химическую связь друг с другом или с другими более активными атомами, только глубина потенциальной ямы при этом оказывается очень незначительной (доли электрон-вольта), и малейшего теплового удара уже достаточно для разрыва этой слабой связи между атомами. Известно, что даже гелий, не говоря уже о других инертных газах, может находиться не только в жидком, но и в твердом состоянии, но температура кипения при этом очень незначительная. Здесь мы имеем наглядное объяснение причины различной прочности химических связей. Очевидно, что при слабых химических связях величина межатомного расстояния (длина связи) будет большей, чем при сильных связях.

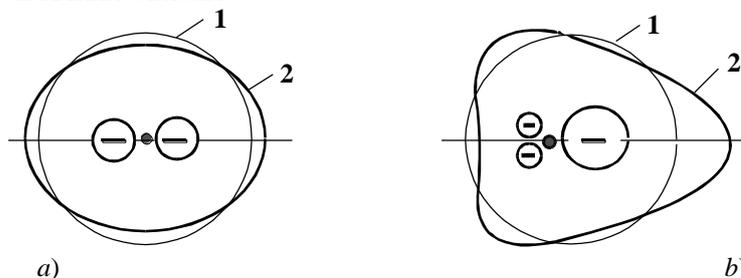


Рис. 3.4. Рельефная поверхность атома гелия а) и лития б)
1 – сфера радиуса R ; 2 – рельефная поверхность

Возбуждение атома наглядно можно представить как увеличение выступа на рельефной поверхности в месте расположения возбуждаемого электрона. Этим

объясняется увеличение химической активности возбужденных атомов по сравнению с невозбужденными. Даже атомы инертных газов становятся активными. Вывод о химической активности инертных газов еще совсем недавно был бы воспринят химиками как крамольный, а сегодня уже известно целый ряд соединений с атомами инертных газов, устойчивых не только в возбужденном состоянии (XeF , XeCl , KrF и т.д. – так называемые эксимеры), но и в основном, при нормальных условиях, например, XeF_2 . Вещество XeF_2 при обычных условиях (в атмосфере воздуха и комнатной температуре) имеет вид белого порошка, который во фторопластовом контейнере можно хранить годами.

Более глубоко расположенный электрон при возбуждении может воспринять энергию, большую, чем это необходимо для отрыва внешнего электрона. В этом случае у атома имеются две возможности – захлопнуть выступ с выбросом фотона, или без выброса фотона, но тогда противоположно размещенный электрон не удержится и отлетит. Здесь мы имеем наглядный образ процесса автоионизации из высоковозбужденного состояния.

Первые два электрона атома лития не смогут полностью скомпенсировать заряд ядра, а третий электрон вследствие нелинейной зависимости энергии электрона от расстояния, дискретности энергетических уровней, а также уменьшения размеров электронов по мере падения в потенциальную яму, не сможет приблизиться к ядру так близко, как первые два. На рельефной поверхности атома лития образуется ярко выраженный выступ, вследствие чего литий становится химически очень активным, рис.3.4, *b*. Добавление по сравнению с гелием всего одного электрона приводит к существенному, скачкообразному изменению химической активности атома. В направлении впадин атом проявляет электроположительную активность, это обеспечивает ему возможность вступления в связь с другими атомами лития и пребывания лития в твердой фазе при комнатной температуре.

В атоме бериллия имеются четыре электрона – два ближе к ядру ($1s$ -оболочка) и два на большем расстоянии ($2s$ -подоболочка). Вследствие пространственной симметрии расположения электронов величина выступов на рельефной поверхности бериллия меньше, чем у лития, поэтому и химическая активность бериллия существенно меньше, чем у лития. Аналогичным образом можно объяснить изменение химической активности при переходе к атомам бора и углерода.

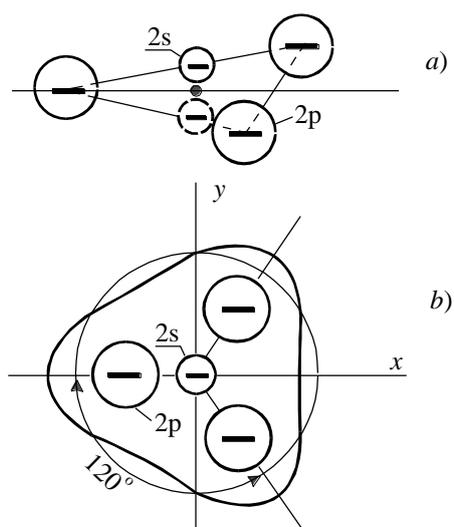


Рис. 3.5. Атом азота ($1s^2 2s^2 2p^3$) и его рельефная поверхность. $1s$ -подоболочка и ядро изображены в виде точки, (а). *b* – вид сверху.

Внешняя оболочка атома азота имеет 5 электронов, два из которых ($2s$ -подоболочка) находятся ближе к ядру и размещены на одной прямой по разные стороны от ядра, рис.3.5, а, создавая как бы два силовых полюса. Между полюсами в «экваториальной» плоскости располагаются равномерно еще три $2p$ -электрона. Это значит, что угол между направлениями валентных связей в экваториальной плоскости должен быть равным 120° . Рельефная поверхность азота имеет 5 выступов – два от «полюсных» электронов и три от «экваториальных». Это определяет максимальную валентность атома азота. В большинстве соединений валентность определяется количеством электронов в экваториальной плоскости, поэтому обычно атомы азота проявляют валентность три.

Вследствие взаимного отталкивания электронов устойчивую конфигурацию в одной плоскости (в данном случае в экваториальной плоскости) можно создать только из трех электронов, поэтому уже у следующего атома, атома кислорода, четыре $2p$ -электрона разместятся поочередно по разные стороны от экваториальной плоскости. Изобразить это сложно, но вообразить себе нетрудно.

При наличии хорошего пространственного воображения можно увидеть, как по мере увеличения количества электронов в атоме внешняя оболочка атома все более равномерно заполняется электронами вокруг ядра, и как при этом изменяются химические свойства атомов. Если количество электронов четное, химическая активность атома, вследствие пространственной симметрии размещения электронов, меньше, чем у его соседей. Как только симметрия нарушается, так сразу химическая активность атома увеличивается, уменьшаясь в целом по мере увеличения количества электронов, то есть по мере передвижения в таблице элементов вправо (см. цветную вставку).

Нетрудно увидеть, что два $2s$ -электрона и шесть $2p$ -электронов неона почти равномерно распределяются на «поверхности» атома. Рельефная поверхность неона, таким образом, окажется близкой к сферической, с восьмью небольшими выступами. Это определяет низкую химическую активность инертных газов и пребывание их в газообразном состоянии при достаточно низких температурах.

На первый взгляд кажется, что, следуя этой логике, атом фтора по химической активности не должен существенно отличаться от неона или кислорода, а между тем по химической активности ему нет равных. В соответствии с кластерной моделью во внешней оболочке фтора между полюсными $2s$ -электронами размещаются пять $2p$ -электронов. Вследствие взаимного их отталкивания по одну сторону экваториальной плоскости окажутся два электрона, а по другую – три, иначе никак не получается. При этом в одном месте по одну сторону экваториальной плоскости обязательно окажутся два электрона рядом друг с другом. Это значит, что напротив них, по другую сторону экваториальной плоскости, образуется ярко выраженная вакансия. Очевидно, что на рельефной поверхности напротив этой вакансии появится заметное углубление, которое и определит высокую активность фтора. Это и есть простое и наглядное объяснение того, что в литературе называют «стремлением атома завершить свою электронную оболочку». Кластерная модель хорошо и наглядно иллюстрирует механизм, который кроется за принципом Паули.

Отметим, что если стремление атома затянуть в углубление лишний электрон – это не что иное, как проявление закона Кулона, то «стремление завершить электронную оболочку» уже смахивает на осознанные действия. Как ни удивительно, но это странное объяснение безотказно действовало на химиков и физиков на протяжении многих десятилетий. С точки зрения кластерной модели объяснение «стремления» получается как простое следствие симметрии размещения электронов вокруг ядра и действия закона Кулона.

Если атом водорода можно сравнить среди других атомов с ребенком, то фтор – уже достаточно взрослая и привлекательная особь с сильным, притягивающим, как магнит, центром. Если недалеко находится одинокий зазевавшийся литий или натрий и т.п., то

он не успеет и сообразить, как окажется захваченным, а когда сообразит, то буде уже поздно – связь очень крепкая, ионная. В соответствии с принципом относительности можно, конечно, утверждать и наоборот – что зазевалась фтор.

При достаточно энергичном вмешательстве третьей частицы подобные образования распадаются преимущественно так, что захваченный электрон оказывается у фтора (хлора, брома и т.д. – при пространственном разводе атомов природа в большинстве случаев присуждает электрон галогенам), и тогда оба атома оказываются ионами, рисунок 3.6. Понятно, что отсюда и происходит и название молекулярной связи – ионная связь.

При рассматривании рисунка 3.6 создается впечатление, что деление природы на мужское и женское начала есть глубинным, фундаментальным ее свойством, и наблюдается уже на уровне атомов.

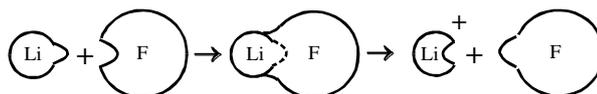


Рис. 3.6. Образование и распад с ионизацией молекулы LiF.

Способом, аналогичным изложенному выше (учитывая при этом возрастание размеров атомов и уменьшение размеров электронных «облаков» во внутренних оболочках по мере падения электронов в потенциальную яму), можно качественно объяснить строение всех атомов и их свойства в зависимости от их места в таблице Менделеева. Отметим, что у тяжелых атомов электроны самой глубокорасположенной оболочки (1s-оболочки, или K-оболочки в терминологии рентгеновской спектроскопии) так сильно уменьшают свои размеры, и падают так глубоко, что в отдельных случаях могут оказаться захваченными ядром – так называемый K-захват электрона. Очевидно, что один из протонов в ядре должен при этом превратиться в нейтрон, а атом переместится в таблице Менделеева на одно место влево, например:



Еще Берцелиус, более ста лет назад (в 1810 г.), высказал предположение, что все химические силы имеют электростатическую природу (идея Берцелиуса является развитием несколько более ранней (1806 г.) идеи Дэви). Позже эту идею развил и добился заметного успеха Коссель. Предполагалось, что атомы имеют одновременно положительный и отрицательный электрические заряды, но у одних атомов преобладает положительный (фтор, хлор, бром и т.д.), а у других – отрицательный (литий, натрий, калий и т.д.), вследствие чего они притягиваются и образуют почти нейтральные молекулы. Если компенсация заряда неполная, то молекулы вступают в связь снова и образуется многоатомная молекула и т.д. Гипотеза была отвергнута из-за того, что не могла объяснить причины образования гомоядерных молекул (молекул из атомов одного сорта – H₂, N₂, O₂, F₂ ...).

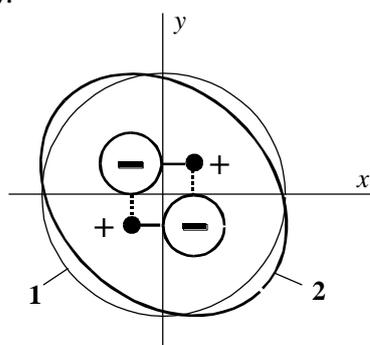


Рис. 3.7. Молекула водорода.
1 – сфера радиуса R; 2 – рельефная поверхность.

Это затруднение легко преодолевает модель атома с фиксированными положениями электронов. Образование молекулы водорода, как связанного состояния двух диполей, понятно из рисунка 3.7. В зависимости от взаимной ориентации сближающихся диполей можно получить как кривую с потенциальной ямой, так и отталкивательную кривую. Из эксперимента хорошо известно, что у молекулы водорода имеются именно такие кривые взаимодействия, правда, происхождения их связывают не с ориентацией атомов как целого, и как это следует из кластерной модели, а с ориентацией спинов электронов. Мы полагаем, что наше объяснение не менее убедительно.

Из рисунка видно, что вследствие пространственной симметрии размещения зарядов, эквипотенциальная поверхность молекулы водорода (мы полагаем, что этот термин можно использовать как равноценный термину *рельефная поверхность*, хотя и определяются они по-разному) имеет форму, близкую к сферической. Этим и объясняется относительно невысокая химическая активность молекулярного водорода (даже реакцию с кислородом нужно инициировать) и пребывание его в газообразном состоянии при нормальных условиях.

На примере молекулы водорода мы наглядно видим, как два химически высокоактивные атома водорода, объединившись в молекулу, почти полностью теряют «интерес» к другим атомам. В химии это явление называется насыщением химических связей.

Из рисунка 3.7 видно также, что связь атомов в молекуле водорода можно считать двухвалентной. Из пространственной фиксации электронов в кластерной модели следует, что при объединении атомов в молекулу электроны не теряют своей индивидуальности, несмотря на то, что в некоторых случаях, например, в молекуле водорода, электроны ничем не отличаются друг от друга, по крайней мере, не отличаются на первый взгляд.

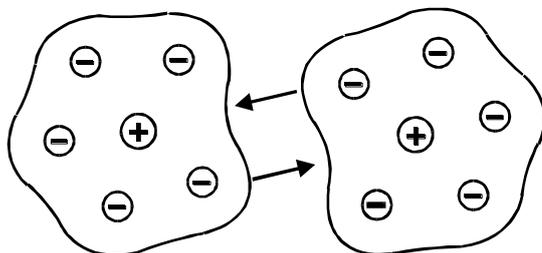


Рис. 3.8. Схема образования молекулы фтора, ковалентная связь.

На рисунке 3.8 схематически показано, как вступают в связь два атома фтора. Выступ на рельефной поверхности одного из атомов втягивается во впадину другого и наоборот. В образовании химической связи, таким образом, в равной степени участвуют два электрона – по одному от каждого атома. В химии такая связь называется ковалентной.

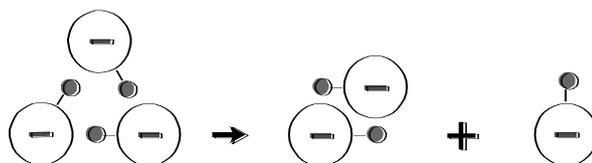


Рис. 3.9. Строение и схема распада молекулы N_3 . $N_3 \rightarrow N_2 + N$.

На рисунке 3.9 показана схема образования молекулы N_3 . Устойчивость такой фигуры определяется геометрией треугольника. При столкновении с другими частицами N_3 распадается по схеме: $N_3 \rightarrow N_2 + N$.

Объединение молекул в кластеры и далее – в капли, с предлагаемой точки зрения следует рассматривать как обычную химическую реакцию, а испарение – как разрыв химических связей тепловым движением, вернее будет сказать – преодоление потенциальной ямы, образованной вследствие действия этой связи. Мы надеемся, что химики в кластерной модели легко узнают хорошо известные им атомные и молекулярные орбитали и, в несколько измененном виде, перекрывание орбиталей, – гибридизацию орбиталей и т.д. Не исключено, что некоторые данные электронографии нужно будет переосмыслить.

В соответствии с кластерной моделью атом золота, имеющий один внешний электрон, должен быть химически активным, однако мы знаем, что золото относится к химически инертным элементам. Объяснение этому факту может быть следующее. Отдельный атом золота на самом деле химически достаточно активный, но при объединении в молекулу золота происходит насыщение химических сил, аналогично тому, как мы это видели у водорода, но не до такой степени, как у водорода, поэтому молекулы золота могут объединяться сначала в кластеры, а затем и в макрообъекты. Относительно низкая активность атомов золота не позволяет им вытеснить кого-либо из соединения, и наоборот, более активные атомы легко вытесняют золото из соединений, и атомы золота, таким образом, оказываются не у дел. Мы полагаем, что не следует сомневаться относительно существования молекулы золота, – поскольку золото существует в виде слитков, значит, молекулы золота существуют.

Подводя итог изложенному относительно химических свойств кластерного атома, можно сказать, что по предлагаемой модели между различными типами химических связей нет принципиальной разницы. Все они, включая и силы Ван-дер-Ваальса, в основе своей имеют электростатическую природу, и разница между ними определяется лишь величинами выступов и глубинами впадин на рельефных поверхностях атомов, т.е., в конечном итоге, количеством и симметрией размещения электронов.

3.2 Физические свойства кластерных атомов. Энергетические уровни

Если некоторое предположение объединяет хотя бы две причины в одну, то оно уже заслуживает внимательного к нему отношения. Кластерная модель не только объединяет целый ряд причин в одну, но и устраняет ряд противоречий, поэтому она хорошо согласуется с одним из критериев Эйнштейна, который он применял к новым идеям: «Из двух теорий, объясняющих совокупность достоверных опытных фактов в некоторой области, предпочтение следует отдать той, которая требует меньше независимых предположений», [21, с. 600]. Собственно говоря, это не критерий Эйнштейна, а так называемая методологическая бритва Оккама.

Мы полагаем, что приведенный анализ химических свойств кластерного атома дает нам основания считать, что к этой модели можно относиться достаточно серьезно, настолько серьезно, чтобы заняться вопросом выяснения причин появления и закономерностей расположения энергетических уровней атомов.

Что касается физической причины дискретности энергетических уровней, то для образа электрона как электромагнитного солитона ее можно узреть в дискретности изменения состояния солитона, помещенного в потенциальную яму, т.е. сжимаемого силовым полем с двух сторон, аналогично тому, как изменяется количества узлов стоячей волны. В соответствии с этими представлениями больше размеры электрон-солитон имеет только в свободном состоянии. Глубина падения солитона в потенциальную яму зависит от крутизны потенциальных стенок, которая определяется величиной заряда притягивающего центра, и от расстояния между стенками потенциальной ямы, которое при прочих равных условиях определяется величиной и характером сил отталкивания.

Что касается математической части, то для модели электрона как волнового образования мы имеем право использовать волновое уравнение. Для этого в уравнение

Шредингера нужно подставить выражение для потенциальной кривой с ямой, в которую мы собираемся поместить электрон. В простейшем случае, когда кривая взаимодействия определяется наличием только кулоновских сил притягивания,

$$U = -B/r, \quad \text{где} \quad B = Z e^2 / 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \quad (3.2)$$

уравнение Шредингера для атома водорода ($Z = 1$) имеет вид:

$$(\hbar^2/2m) \Delta\psi + (E + B/r) \psi = 0 \quad (3.3)$$

Его решение приводит к выражению для положений энергетических уровней E_n электрона, которые в потенциальной яме могут принимать только дискретные значения. Это выражение полностью совпадает с формулой Бора для атома водорода:

$$-E_n = B^2 m / 2 \cdot h \cdot n \quad (3.4)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ – главное квантовое число,

m – приведенная масса электрона и протона

$$m = (m_e \cdot m_p) / (m_e + m_p) \quad (3.5)$$

При значениях физических констант, приведенных в таблице 3.1, [22], нами произведены расчеты 20 энергетических уровней атома водорода по формуле Бора. Часть результатов приведена в таблице 3.2. Сравнение результатов расчета с данными эксперимента показывает, что в этом случае все расчетные уровни лежат выше экспериментальных в среднем на величину $\sim 1.4 \cdot 10^{-4}$ эВ. Это значит, что даже в отсутствие сил отталкивания со стороны ядра кулоновского притягивания недостаточно для того, чтобы «затянуть» электромагнитный солитон до необходимого уровня, см. рис. 3.10, а, где указанные энергетические уровни, изображенные короткими штрихами, а экспериментальные положения уровней показаны сплошными линиями.

В нашей предыдущей работе [5] мы допускали, что кроме кулоновской силы на электрон действует еще какая-то дополнительная притягивающая сила, которая вносит энергетическую поправку типа A/r^2 (гравитацией пренебрегаем в связи с огромным соотношением величины электрической и гравитационной сил – 42 порядка). В таблице 3.2 приведены также расчеты положений энергетических уровней, полученных по формуле Зоммерфельда, учитывающей возрастание массы электрона с увеличением скорости по мере падения его в потенциальную яму [11]. Формулу Зоммерфельда можно получить также из релятивистского уравнения Шредингера [23, с.290] или из уравнения Дирака.

Табл. 3.1

$e = 1.6021892 \times 10^{-19}$ Кл	$m_e = 9.109543 \times 10^{-31}$ кг
$h = 6.626176 \times 10^{-34}$ Дж·сек	$c = 2.99792458 \times 10^8$ м/сек
$m_p = 1.7626485 \times 10^{-27}$ кг	$\epsilon_0 = 8.85418782 \times 10^{-12}$ Ф/м
$\alpha = e^2 / 2 \cdot \epsilon_0 \cdot h \cdot c$	

Переходы 1s – n p

Таблица 3.2

n	$\lambda,$ Å	$E_{\text{exp}},$ eV	E_1 eV	ΔE_1 $\times 10^{-6}$ eV	E_2 eV	ΔE_2 $\times 10^{-6}$ eV
20	914.039	13.564542	13.564401	(-141)	13.564582	(+40)
14	916.429	13.529167	13.529018	(-149)	13.529198	(+31)
12	918.129	13.504116	13.503964	(-152)	13.504145	(+29)
10	920.963	13.462561	13.462413	(-148)	13.462594	(+33)
8	926.226	13.386064	13.385922	(-142)	13.386103	(+39)
7	930.748	13.321029	13.320878	(-151)	13.320060	(+31)

6	937.8035	13.220809	13.220664	(-145)	13.220845	(+36)
5	949.7431	13.054605	13.054461	(-144)	13.054642	(+37)
4	972.5371	12.748635	12.748497	(-138)	13.748678	(+43)
3	1025.7230	12.087592	12.087464	(-128)	12.087643	(+51)
2	1215.6737	10.198889	10.198798	(-91)	10.198967	(+78)
1	-----	00.000000	00.000000	-----	00.000000	----

E_1 – расчеты по формуле Бора, E_2 – расчеты по формуле Зоммерфельда, при $n_\phi = 1$,
 $\Delta E = E_{теор} - E_{эксп}$.

Как видно из таблицы, учет увеличения массы электрона (проявляется в виде поправки типа A/r^2) привел к существенному увеличению его притяжения – все уровни оказались перетянутыми ниже экспериментального их значения в среднем на величину $\sim 3.5 \times 10^{-5}$ эВ, рис.3.10, а), – энергетические уровни, изображенные длинными штрихами. Это значит, что для того, чтобы вернуть уровни на экспериментально определенное их место (уровни изображены сплошными линиями), нужно дополнительно вводить силы отталкивания. Учитывая изложенное ранее относительно возможности орбитального движения электронов в атоме, мы не будем говорить о таком специфически квантовом явлении, как спин-орбитальное взаимодействие (довольно странный термин, если учитывать, что при вероятностной трактовке «у микрообъектов траектории, т.е. орбиты, нет»). Мы допускаем, что силы отталкивания имеют статический характер, и в образование потенциальной ямы вносят такой же вклад того же порядка, что и «спин-орбитальное взаимодействие» в уравнении Дирака. Подбором константы C и показателя степени n для сил отталкивания C/r^n можно добиться практически полного совпадения результатов вычислений с данными эксперимента.

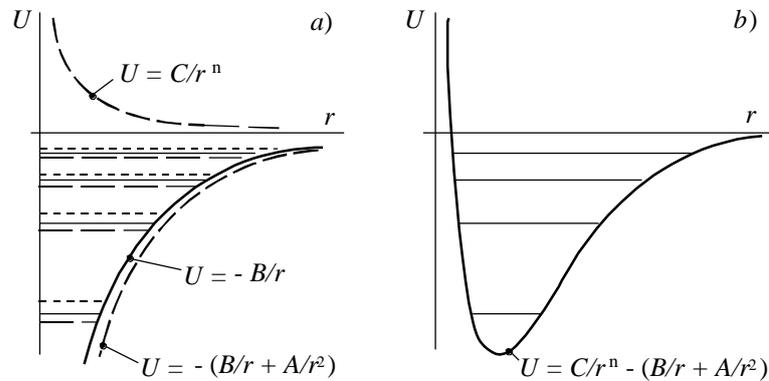


Рис. 3.10. Энергетические уровни атома водорода.

- а) Потенциальная кривая не имеет левой стенки и дна.
 1) — экспериментальные положения энергетических уровней,
 2) учет только кулоновского взаимодействия по формуле Бора, все уровни расположены выше экспериментально наблюдаемых,
 3) - - - учет кулоновского взаимодействия и зависимости $m(v)$; формула Зоммерфельда,
 б) Потенциальная кривая имеет потенциальную яму.
 При учете кулоновского взаимодействия, зависимости $m(v)$ и сил отталкивания, эксперимент и расчеты совпадают.

С физической точки зрения не менее важно, что кривая взаимодействия в этом случае имеет полноценную потенциальную яму с двумя потенциальными стенками и дном, рис.3.10, б).

$$U = C/r^n - (B/r + A/r^2) \quad (3.6)$$

При $C = 1.370 \cdot 10^{-90}$ Дж·м⁶ и $A = 1.101 \cdot 10^{-42}$ Дж·м² расхождения между вычисленными и полученными экспериментально положениями энергетических уровней наблюдаются только в последнем разряде, т.е. в шестом знаке после запятой

[5]. Это достаточно сильный аргумент в пользу предлагаемой модели, но совпадение результатов расчета с экспериментом, даже полное, является лишь необходимым условием, но не достаточным. С другой стороны, мы видим, что введение в рассмотрение сил отталкивания не только позволяет построить электростатическую модель атома, которая хорошо объясняет всю химию, но и существенно улучшает результаты расчетов энергетических уровней атома водорода.

Нужно признаться, что для нас не понятно, посредством какого механизма волновое уравнение «понимает», что масса электрона увеличивается – ведь при построении потенциальной кривой взаимодействия мы пренебрегли не только поправкой на увеличение притягивания за счет гравитации, но и самой гравитацией. При падении электрона в потенциальную яму глубиной 10 эВ скорость электрона возрастает примерно до $1.6 \cdot 10^6$ м/сек, а его масса при этом увеличивается примерно на 0.002 %, если электрон, конечно, не излучает. В связи с этим мы рискуем задать вопрос: если волновое уравнение понимает увеличение массы не через гравитацию, а через инерцию, то почему это проявляется как увеличение притягивания? Как это происходит? А может быть, здесь дело совсем в другом? Не увеличивается ли при этом электрический заряд электрона (по крайней мере, до момента испускания фотона), а волновое уравнение каким-то образом это понимает?

Если из относительно простого математического выражения можно получить далеко идущие выводы, подтверждающиеся к тому же экспериментально, это всегда выглядит поразительным. Г.Герц многие годы пытался опровергнуть теорию Максвелла, но в итоге экспериментально открыл электромагнитные волны, существование которых следовало как один из выводов из уравнений Максвелла. По этому поводу Герц писал: «Трудно избавиться от чувства, что эти математические формулы живут независимой жизнью и обладают своим собственным интеллектом, что они мудрее, чем мы сами, мудрее даже, чем их первооткрыватели, и что мы извлекаем из них больше, чем было заложено в них первоначально». (Герц считал себя, и не без оснований, соавтором этих уравнений. Эйнштейн, например, называл их уравнениями Максвелла – Герца).

Кроме указанного затруднения с увеличением притягивания по мере возрастания скорости и массы электрона на наш взгляд имеется еще одно, не менее серьезное затруднение. Мы уже обращали внимание читателя на то, что в ситуации, подобной той, которая изображена на рисунке 3.10, *a*, отсутствует потенциальная яма – имеется лишь потенциальный порог справа. Ордината U , которая зрительно воспринимается как левая стенка потенциальной ямы, на самом деле является лишь математической абстракцией и силовой нагрузки нести не может. Если мы с этим согласны, то тогда возникает вопрос: почему же волновое уравнение «не понимает», что в одних случаях имеется потенциальная яма, а в других она отсутствует, – т.е. кривые взаимодействия отличаются принципиально, но при этом результаты вычислений расходятся между собой только в шестой значащей цифре?

Проанализируем несколько подробнее процесс падения электрона на позитрон. Очевидно, что поскольку с таким же правом мы можем говорить и о падении позитрона на электрон, процесс можно назвать взаимным падением. Допустим, что у рассматриваемой пары имеются две возможности – сразу превратиться в фотоны, или ступенчато. Допустим также, что при ступенчатом превращении система может излучить сначала фотон с энергией 10 эВ, затем два фотона по 0.50997 МэВ и, наконец, еще два фотона по 10 эВ – в сумме 1.02 МэВ, рисунок 3.11.

Если для наших частиц реализуется первая возможность, то обе они сразу превращаются в фотоны, в одном акте. Если бы мы могли это видеть, то смогли бы наблюдать, как два электронных облачка размером порядка 1 \AA или более начинают втягиваться в общий центр, сжимаются, и затем разбегаются, но уже в виде «маленьких фотонов» ($\lambda \approx 0.024 \text{ \AA}$). Очевидно, что при этом исчезают как массы покоя, так и электрические заряды.

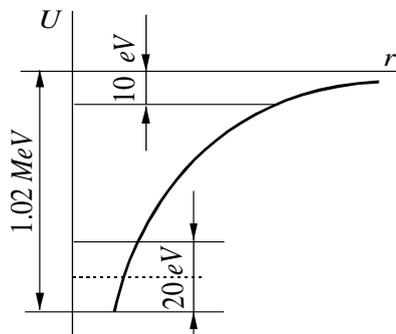


Рис. 3.11. Падение электрона на позитрон.

Если бы мог реализоваться ступенчатый процесс, причем такой, как изображен на рисунке 3.11, то электрон и позитрон исчезли бы только с излучением последних фотонов по 10 эВ . Теперь естественным образом возникает вопрос: чем отличается первый фотон 10 эВ от последних фотонов 10 эВ , окончательно унесших массы и заряды частиц, или чем, кроме величины энергии, он отличается от фотона 0.51 МэВ , испущенного в первом процессе?

Из литературы известно, что атом позитрония (электрон и позитрон) может просуществовать относительно долго (до $1.4 \cdot 10^{-7} \text{ с}$), и перед окончательной аннигиляцией может излучить несколько низкоэнергетичных фотонов, — т.е. имеем ступенчатый процесс, хотя и не совсем такой, как на рисунке 3.11. Если мы считаем, что низкоэнергетичные и высокоэнергетичные фотоны отличаются друг от друга только величиной энергии и длиной волны, то мы можем сделать вывод, что падение электрона в потенциальную яму (сопровождающееся излучением фотонов) является процессом, родственным аннигиляции, поэтому волновое уравнение и не различает их.

Теперь мы можем представить себе, как два «облачка» (некоторый вид асимметрии между которыми проявляется в виде наличия у них электрического заряда разной полярности) сжимаются к центру, скачкообразно изменяя при этом свои размеры и массу (как меру заключенной в них энергии), «выбрасывая» при каждом квантовом скачке фотон. Если со стороны одного из объектов действуют еще и силы отталкивания, то этот процесс на определенном этапе прекратится — величины притягивания окажется недостаточно для дальнейшего сжатия электромагнитного солитона, и атом окажется в устойчивом состоянии.

Нетрудно представить себе и обратный процесс, родственному процессу рождения пар — подлетевший фотон окажется поглощенным электронным облаком, вследствие чего размер облака увеличится. Тот же эффект получится, если по электрону (по атому) ударить другим электроном или атомом, и т.д.

До тех пор, пока мы не знаем, что представляет собой электрический заряд, никакая идея относительно него не должна наперед считаться безумной. Если мы придерживаемся точки зрения, что между фотонами различных энергий нет принципиальной разницы, мы можем допустить, что по мере падения электрона в потенциальную яму рождающиеся фотоны уносят не только часть энергии, но и часть электрического заряда, и что заряды электрона и ядра уменьшаются пропорционально энергии фотонов. А что, если допустить, что при падении электрона на ядро участие

партнеров в процессе рождения фотонов не полностью одинаково, или, по крайней мере, не во всех случаях одинаково? В конце концов, фотоны одной и той же частоты могут отличаться поляризацией – они могут быть линейно поляризованными, поляризованными по кругу, по эллипсу или вовсе не поляризованными.

Если внимательно присмотреться к рисунку 3.11. то можно заметить некоторую неувязку. Дело в том, что мы допускали, что в начале процесса испускается один фотон 10 эВ , а в конце – два фотона по 10 эВ . Причина в том, что в формуле Планка $E = h\nu$ не учитывается энергия отдачи, которую воспринимает квантовая система в момент испускания фотона. На самом деле в случае, если система переходит из состояния E_2 в состояние E_1 , разница $E_2 - E_1$ должна распределяться между $h\nu$ и энергией отдачи $E_3 = mV^2/2$, где m и V – масса и скорость системы после излучения фотона, т.е.

$$E_2 - E_1 = h\nu + \frac{mV^2}{2}$$

Очевидно, что соотношение между E_3 и $h\nu$ определяется законом сохранения импульса, и величину V нужно рассчитывать через импульс улетевшего фотона.

В оптической спектроскопии величину E_3 зафиксировать трудно, поскольку соотношение составляет примерно 10^{-8} от энергии фотона. В ядерной физике это соотношение уже может быть ощутимым (эффект Мессбауэра). Очевидно, что при аннигиляции в два фотона $h\nu = E_3$, т.е. энергию отдачи уносит второй фотон.

Мы видим, таким образом, что с качественной стороны проблема дискретности размещения энергетических уровней электронов в атоме находит свое неплохое объяснение в рамках кластерной модели атома при дополнительном предположении о солитонной природе электрона, которое совсем не претендует быть безумными. С количественной стороны проблем также не возникает, поскольку поведение электрона как волнового объекта описывается уравнениями волновой механики, успехи которой не требуют комментариев.

3.3. Проблема наличия дипольного момента у атома водорода

Нерассмотренными у нас остались, по крайней мере, еще два вопроса. Первый вопрос связан с интерпретацией физического смысла ψ -функции волнового уравнения, поскольку очевидно, что вероятностная интерпретация не согласуется с образом электромагнитного солитона, размеры которого в свободном состоянии сравнимы с атомными. Этот вопрос подробно будет рассмотрен в следующей главе.

Второй вопрос связан с интерпретацией поведения пучков атомов водорода в неоднородном электрическом поле, т.е. с проблемой наличия дипольного электрического момента у атома водорода в основном состоянии. В соответствии с кластерной моделью атом водорода должен иметь вид гантели с маленьким и тяжелым протоном на одном конце, и легким и «рыхлым» электроном на другом, на расстоянии примерно $\ell = 0.5 \text{ \AA}$. Очевидно, что такой атом должен иметь постоянный электрический момент $p = e \cdot \ell$. Проверить это допущение можно по крайней мере в экспериментах двух независимых типов – в исследованиях эффекта Штарка и в экспериментах с пучками частиц в неоднородном электрическом поле.

Что касается эффекта Штарка (открыт в 1913 году для линий атома водорода в видимой части спектра – серии Бальмера), то известно, что, в случае наличия у атома постоянного дипольного момента, величина расщепления энергетических уровней должна линейно зависеть от величины напряженности E внешнего электрического поля. В случае же отсутствия у атома постоянного момента эта зависимость должна быть квадратичной. Оказывается, что атом водорода – единственный из атомов, для которых эффект Штарка имеет линейный характер – т.е. как раз то, что нам нужно. В соответствии с кластерной моделью аналогом атома водорода является ион атома гелия

He⁺. Эксперимент показывает, что для него явление Штарка также линейно. Ясно, что это очень сильные аргументы в пользу кластерной модели.

Линейность эффекта Штарка для атома водорода в литературе объясняют «вырождением уровней энергии атома водорода по орбитальному квантовому числу ℓ ». С точки зрения наглядных представлений это как будто соответствует вращению электрона вокруг ядра в двух противоположных направлениях одновременно – еще одно специфически квантовое явление.

Что касается экспериментов с пучками атомов водорода в неоднородном электрическом поле, то мы должны признать, что на сегодняшний день это самый сильный аргумент против кластерной модели. Модель или теория может объяснять сотни фактов, как в свое время система Птолемея, но если имеется хотя бы один надежно установленный факт, противоречащий теории, то это или крест на теории, или повод для ее усовершенствования, как было в случае с атомом Зоммерфельда.

Нам очень трудно поставить под сомнение результаты экспериментов с пучками атомов водорода в неоднородном электрическом поле (H.Scheffers, J.Stark, 1936). С одной стороны, атомы водорода, как самые легкие из всех устойчивых атомов, и имеющие предположительно большой дипольный момент, должны отклоняться больше других атомов (не говоря уже о молекулах), а они почти не отклоняются. С другой стороны, в экспериментах тех же авторов, на той же установке весьма заметно отклоняются на два порядка более тяжелые молекулы NH₃. Для кластерного атома ситуация выглядит явно тупиковой, однако мы должны помнить, что если нам удастся предложить хотя бы одну идею, не претендующую заведомо на «безумность», вроде «одновременного вращения в двух противоположных направлениях», то это будет означать, что вероятность отыскать разумный выход для этого случая не равна нулю, и не следует отказываться от попыток найти этот выход.

По нашему глубокому убеждению, если никакой разумной идеи предложить не удастся, все равно не стоит прибегать к безумным идеям. Помня уроки истории, помня, как в истории естествознания решались некоторые проблемы, – например, почему вода из южного полушария не выливается, если Земля шарообразная, и т.п., решение проблемы лучше оставить потомкам.

Учитывая изложенное выше относительно изменения заряда электрона по мере его падения в потенциальную яму, можно допустить, что заряд электрона равен заряду протона только в случае, когда оба находятся в свободном состоянии. Если при падении электрона на протон появляются фотоны, в рождении которых электрон и протон принимают поочередно не одинаковое участие, заряд упавшего электрона может оказаться меньшим (на каком-то энергетическом уровне) или бóльшим (на другом уровне) заряда протона, и мы получим диполь с немного неравноценными плечами. Мы допускаем, что неравный вклад электрона и ядра в процесс рождения фотона как-то скажется не только на свойствах фотона, например, поляризационных, но и на параметрах электрона и ядра. Мы имеем в виду электрический заряд, конечно. Проанализируем теперь с этой точки зрения эксперименты Шеффера, рис.3.12, [24].

Первым делом отметим, что атомы водорода (если они диполи) в электрическом поле (однородном или неоднородном – не играет роли) должны легко ориентироваться вдоль силовых линий поля, поскольку масса электрона очень незначительная по сравнению с массой протона. Это значит, что вопреки ожиданиям пучок таких атомов-диполей не должен расщепляться в электрическом поле на две части. Здесь нет полной аналогии с известными опытами Штерна и Герлаха в магнитном поле. Этим самым снимается один из сильных аргументов против образа гантели для атома водорода и против кластерной модели вообще.

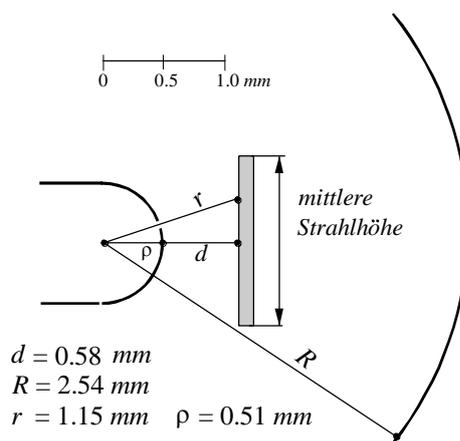


Рис. 3.12 [24].

В экспериментах Шеффера пучок атомов толщиной $b = 0.03 \text{ мм}$, высотой $h = 4 \text{ мм}$, пропускаться сквозь цилиндрический конденсатор длиной $\ell = 9.89 \text{ см}$. Остальные параметры конденсатора указаны на рисунке 3.12. Средняя напряженность поля была равной $E = 5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, при неоднородности $dE/dy = 1 \cdot 10^{11} \text{ В/м}^2$.

Наше предположение состоит в том, что отклоняющее действие конденсатора за счет неоднородности поля может компенсироваться за счет неравенства зарядов (может и усилиться, конечно, – все зависит от того, какой заряд больше). В приборе Шеффера неоднородность поля больше у центрального электрода, находящегося под положительным потенциалом (для предотвращения холодной эмиссии электронов). Еще в начале движения атомов вдоль конденсатора все они сориентируются полем так, что электроны окажутся ближе к положительно заряженному электроду. Это значит, что при равенстве зарядов на электрон в таком устройстве действует большая сила, чем на протон, и пучок диполей с равными зарядами должен отклоняться в сторону центрального электрода, зафиксировав тем самым факт наличия у объектов постоянного дипольного момента. Очевидно, что если заряд электрона немного больше заряда протона, то этот эффект усилится, если же меньше, то и эффект уменьшится. В принципе, он может быть даже отрицательным, или отрицательным при слабых полях и положительным при сильных, когда вклад в отклонение за счет неоднородности превысит вклад за счет неравенства зарядов.

Не совсем ясно, правда, как дать определение понятию дипольного момента для случая, когда заряды на концах диполя не равны друг другу по величине, $|q_1| \neq |q_2|$. Похоже, что понятие дипольного момента нужно определить как произведение разницы в зарядах Δq на расстояние r между их центрами. Тогда для диполя, состоящего из равных, но противоположных по знаку зарядов получим: $p = \Delta q \cdot r = (q - (-q)) \cdot r = 2qr$

Пусть атом-диполь влетает в неоднородное электрическое поле со средней напряженностью $E = \Delta U / \Delta y$ и неоднородностью dE/dy , рисунок 3.13. Сила, действующая на заряды, зависит от величины зарядов и от напряженности поля в местах расположения зарядов.

$$F_1 = q_1 E_1 \quad \text{и} \quad F_2 = q_2 E_2 \quad (3.7)$$

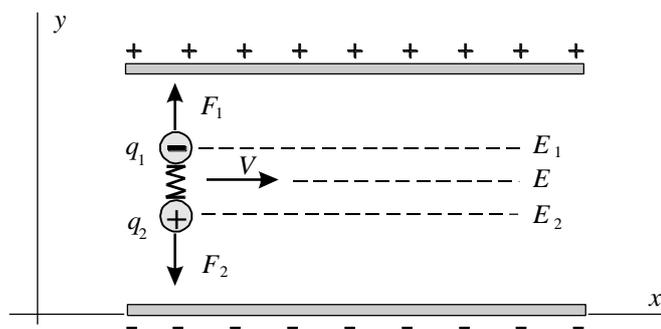


Рис. 3.13

Если бы заряды были одинаковы, $q_1 = -q_2 = q_0$, то отклоняющее действие поля определялось бы разностью сил $\Delta F_1 = F_2 - F_1$

$$\Delta F_1 = q_0 (E_2 - E_1) = q_0 \Delta E \quad (3.8)$$

Учитывая, что ΔE можно представить как $(dE/dy) \Delta y$, где Δy – расстояние между зарядами, имеем:

$$\Delta F_1 = q_0 (dE/dy) \Delta y \quad (3.9)$$

Отклоняющее действие за счет разницы в зарядах Δq можно определить как произведение Δq на среднюю напряженность поля E :

$$\Delta F_2 = \Delta q \cdot E \quad (3.10)$$

Допустим, что действие указанных факторов таково, что пучок не отклоняется совсем, т.е. $\Delta F_1 = \Delta F_2$. В таком случае имеем:

$$q_0 (dE/dy) \Delta y = \Delta q E \quad (3.11)$$

Отсюда:

$$\Delta q = (q_0 / E) \cdot (dE/dy) \cdot \Delta y \approx (1.6 \cdot 10^{-19} / 5 \cdot 10^7) \cdot 1 \cdot 10^{11} \cdot 0.53 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$$

$$\Delta q \approx 1.7 \cdot 10^{-26} \text{ Кл} \quad (3.12)$$

Учитывая, что по современным данным $q_0 = 1.6021892(46) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ (число в скобках означает среднеквадратическую ошибку последних двух разрядов [25]), мы видим, что Δq находится с хорошим запасом в пределах ошибки определения величины элементарного заряда.

Нетрудно подсчитать, что если допустить, что заряд электрона пропорционален сконцентрированной в нем энергии, то величине $1.7 \cdot 10^{-26} \text{ Кл}$ соответствует энергия $\sim 0.05 \text{ эВ}$ – такого порядка должна быть энергетическая асимметрия вкладов протона и электрона в процесс рождения фотона. Мы полагаем, что это достаточно разумная цифра.

Очевидно, что если отсутствие отклонения пучков в неоднородном электрическом поле связано с асимметрией зарядов диполя, то отклонение должно наблюдаться в однородных полях. Честно говоря, мало верится, что пучки атомов водорода будут отклоняться в однородных полях, – слишком много сошлось бы в этом случае, да и существует подозрение, что кто-то уже пробовал это сделать, поскольку эксперименты не слишком сложные. В жизни так не бывает, или если бывает, то крайне редко, однако, если кто-нибудь заинтересуется этой идеей, он должен помнить, что на нашей стороне эффект Штарка, а это очень сильный аргумент («stark» по-немецки означает «сильный»). Кроме этого, нужно надеяться, что атомам тоже надоело ходить без подходящей модели, и на этот раз они уже постараются.

На первый взгляд кажется, что все одновалентные атомы должны обладать постоянным дипольным моментом. В предыдущей нашей работе [5] мы полагали, что нелинейность эффекта Штарка для атомов лития и других одновалентных атомов является сильным аргументом против кластерной модели. Теперь мы предполагаем, что $2s$ -электрон атома лития может немного оттеснить $1s$ -электроны от ядра в

противоположную сторону, рис.3.4, вследствие чего образуются два противоположно направленных диполя, примерно компенсирующих друг друга – у одного диполя два заряда, но плечо маленькое, у другого один заряд, но плечо большое. Полной компенсации, наверно, не получится, поэтому эффект Штарка для лития и других одновалентных атомов может занимать промежуточное положение между водородом и другими атомами, т.е. постоянный дипольный момент все-таки имеется у всех одновалентных атомов, но существенно меньше, чем у водорода. Похоже, что именно это демонстрирует нам эксперимент.

Наличие асимметрии зарядов в атоме водорода может проявиться в ряде явлений. Если асимметрия Δq составляет $1.7 \cdot 10^{-26}$ Кл, то нетрудно подсчитать количество свободных атомов, которые могут создать такое же электрическое поле, как и один свободный электрон $n_0 = q_0 / \Delta q = 9.4 \cdot 10^6$. Если в закрытом объеме, производить диссоциацию молекулярного водорода, например, фотодиссоциацию с помощью мощного лазерного излучения, то внешне объем окажется «заряженным» до тех пор, пока атомы не объединятся в молекулы. Понятно, что лишний заряд при этом должны унести рождающиеся при ассоциации фотоны, и молекулярный водород, в отличие от атомарного, окажется электрически нейтральным. Если в процессе каскадного излучения фотонов атомом асимметрия в зарядах электрона и ядра поочередно изменяется от одного объекта в пользу другого (от электрона в пользу ядра и наоборот), быть может, мы получим объяснение физического смысла правил отбора, а также, возможно, причину метастабильности некоторых возбужденных уровней. Более подробно об этом будет сказано в следующей главе.

3.4. Образование электрических зарядов в грозовых облаках

С помощью гипотезы асимметрии величин зарядов электрона и протона в атоме водорода можно объяснить образование электрических зарядов в грозовых облаках. Допустим, что при определенных условиях (температура, влажность, давление, магнитное поле, наличие кластеров воды, химический состав воздуха и т.д.) происходят процессы, в результате которых появляются свободные атомы водорода. Из литературы известно, что кластеры, аналогично ядрам атомов, также бывают магическими, т.е. особо устойчивыми и обладающими сферической симметрией. Допустим, что некоторым кластерам воды для того, чтобы стать магическими, нужно избавиться от одного атома водорода (мешает как отросток у круглого арбуза), что ему просто очень легко потерять один атом водорода. В этом случае в парах воды относительно эффективно будут появляться свободные атомы водорода. Поскольку для объединения атомов в молекулу нужно определенное время, в объеме облака все время будет присутствовать определенное количество свободных атомов водорода. Это значит, что облако, в соответствии с нашим предположением, окажется электрически заряженным.

Отметим, что такое объяснение нам представляется наиболее правдоподобным, поскольку объяснить процесс зарядки облака через образование свободных зарядов существенно труднее, если вообще возможно. Во-первых, мы должны сразу же отбросить объяснение процесса зарядки облаков посредством «трения облаков» как просто несерьезное. Во-вторых, если и допускать, что свободные заряды могут образоваться в процессах фотоионизации или термоионизации и т.д., то что мешает им рекомбинировать? Какие силы заставят заряды разбежаться по разным облакам на километровые расстояния? Напомним, что если в каком-то объеме идет процесс ионизации, то количество положительных и отрицательных зарядов совпадает полностью, до последнего электрона и иона. Это значит, что со стороны такой объем должен восприниматься как электрически нейтральный.

Определим теперь количество свободных атомов водорода, необходимое для образования зарядов, наблюдающихся в грозовых облаках. Из литературы известно, что объемная плотность заряда грозового облака равна примерно $\rho = 1 \cdot 10^{-5}$ Кл/ м³ (эту же

цифру нетрудно получить и расчетным путем, зная величину пробойного напряжения для влажного воздуха). Такой заряд могут создать $n_1 = (1 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}) / q_0 \approx 6 \cdot 10^{13}$ свободных электронов в кубическом метре облака. Учитывая, что заряд свободного электрона, по нашим расчетам, могут создать $9.4 \cdot 10^6$ свободных атомов водорода, необходимую плотность заряда облака создадут $n_2 = 6 \cdot 10^{13} \cdot 9.4 \times 10^6 = 5.6 \cdot 10^{20}$ свободных атомов водорода в одном кубическом метре облака.

Цифра получилась большая, конечно, однако если учесть, что в одном кубическом метре воздуха содержится примерно $2.7 \cdot 10^{25}$ молекул, получается, что в грозном облаке один свободный атом водорода приходится примерно на $n_3 = 2.7 \cdot 10^{25} / 5.6 \cdot 10^{20} \approx 0.5 \cdot 10^5$ объектов (молекул, кластеров) в облаке, что выглядит вполне правдоподобно, и позволяет надеяться, что предлагаемая идея и в самом деле не относится к разряду безумных.

Подводя итог изложенному в главе, следует отметить, что кластерная модель атома при допущении, что электрон и другие «твердые» частицы представляют собой электромагнитные солитоны, а также с допущениями относительно заряда электрона, неплохо объясняет практически всю химию и физику атома. Нам кажется, что с одной стороны, число сделанных допущений не слишком велико, и мы не приводим здесь объяснения старых тайн при помощи новых загадок, т.е. наши допущения удовлетворяют требованиям методологической бритвы Оккама. С другой стороны, ни одно из сделанных допущений не выходит за рамки классической физики.

Что касается экспериментального подтверждения предположений, то можно считать очевидным, что если бы они были сделаны раньше, то получили бы свое «блестящее подтверждение» в экспериментах по рассеянию быстрых электронов на протонах (мы имеем в виду партонную модель протона), в существовании водородной связи, в существовании молекулы H_3 , в существовании достаточно устойчивых химических соединений инертных газов, в линейности эффекта Штарка для атомов водорода. Отметим, что если в парах золота будут обнаружены молекулы золота, то это не следует считать сильным аргументом в пользу кластерной модели, – существование слитков золота однозначно указывает на существование молекул золота. Аналогично этому существование гелия в состоянии жидкости однозначно указывает на существование молекул гелия и т.д.

Нетрудно увидеть, что кластерная модель содержит в себе рациональные моменты практически всех предшествующих моделей – от Бошковича до Протождяконова. Здесь нет ничего удивительного – в науке почти не бывает мыслей, в той или иной форме не высказанных ранее. Ничего удивительного нет и в том, что кластерная модель объединяет так много фактов, – так часто бывает при решении кроссвордов. Поскольку задания обычно допускают неоднозначные ответы, например, *столица европейского государства* или *город в Италии*, неправильно вписанная альтернатива заводит нас в заблуждение все далее и далее, пока нас не остановит вопрос, требующий однозначного ответа, например, *изобретатель лампочки Эдисона*. Ответ на этот трудный вопрос, как правило, не согласуется с предыдущими достижениями, и мы вынуждены подбирать слова заново, но при этом выясняется, что ни одна из известных нам опер Верди уже не подходит, и в энциклопедическом словаре нет полного перечня, а больше нам узнать неоткуда. Если в клетках, отведенных под оперу, уже имеется несколько угаданных букв, мы наугад вписываем остальные буквы так, чтобы получилось правдоподобное слово. Другой возможности в тот момент у нас просто нет.

Мы, конечно, не утверждаем, что кластерная модель – это правильно вписанная альтернатива в составленный Высшими Силами кроссворд, но все же надеемся. Мы надеемся также на то, что кто-нибудь не поленится и подтвердит, что придуманное нами название оперы (нам так подходит, и выглядит достаточно правдоподобно) все-таки не лишено оснований, и такое название существует на самом деле. Понятно, что мы имеем в виду предлагаемые эксперименты с пучками атомов водорода в однородном

электрическом поле, или с фотодиссоциацией молекул водорода в закрытом объеме. Можно бы поэкспериментировать и с парами воды, конечно.

3.5 Гравитация как остаточное электричество

Теперь возвратимся к уже обсуждавшейся выше проблеме (вполне возможно, что и надуманной) – каким образом уравнение Шредингера понимает, что увеличение массы электрона по мере увеличения скорости должно проявиться в виде увеличения притягивания его к протону, если гравитационное взаимодействие не учитывается? Напомним читателю один интересный факт: величина *энергия×расстояние* имеет размерность q^2 . Может быть, за этим кроется более глубокий смысл, чем это кажется на первый взгляд?

Мы рискнем предположить, что предлагаемое пространственное распределение электрических зарядов в атоме (зернистое распределение), с одной стороны, не полностью компенсирует поле ядра, но, с другой стороны, в результате может появиться эффект, когда такие объекты могут притягиваться, пусть совсем незначительно – с силой примерно в 10^{42} раз меньшей, чем они бы взаимодействовали без экранирования. Цифра, конечно, большàя, даже невообразимо большàя, но хорошо нам известная, т.е. речь пойдет о гравитации, как об «остаточном электричестве». Эту идею уже высказывал Лорентц, однако он не пытался связать ее с пространственным распределением заряда в атоме. Само собой понятно, что если это имеет место в действительности, и если у одного из объектов поменять местами заряды (сделать его антиобъектом), то такие объекты должны отталкиваться, т.е. материя и антиматерия должны гравитационно отталкиваться. ?

Работоспособность этой идеи можно оценить при помощи атома с симметричным размещением зарядов. Для простоты будем полагать, что атом имеет четыре симметрично расположенных в одной плоскости и на одинаковом расстоянии электрона, рис.3.14, (в действительности, в соответствии с кластерной моделью, два из этих электронов должны находиться существенно ближе к ядру – 1 s_2 -оболочка атома бериллия, см. цветную вставку). Если мы полагаем, что заряды электронов и протонов в точности равны друг другу, то очевидно, что в однородном электрическом поле силы, действующие на электроны и протоны, полностью компенсируют друг друга, и свободный атом в таком случае окажется неподвижным.

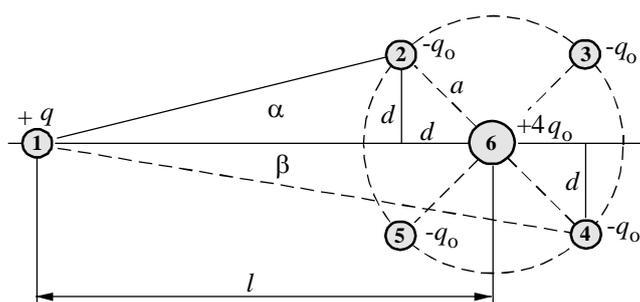


Рис. 3.14

Несколько по-иному будет выглядеть ситуация, если на наш атом действует поле точечного заряда, т.е., если поле имеет центральную симметрию. Пусть это будет поле положительного точечного заряда q . Величина притягивания нашего атома к этому заряду определится взаимодействием заряда с электронами атома, заряд которых мы обозначим через q_0 .

$$F_a = F_{1,2} + F_{1,3} + F_{1,4} + F_{1,5} \quad (3.12)$$

Из рисунка 3.14 следует, что величина составляющих силы в направлении l равна:

$$F_{1,2} = F_{1,5} = -\frac{q_0 q}{(l-d)^2 + d^2} \cos \alpha \quad (3.13)$$

$$\text{где: } \cos \alpha = \frac{l-d}{\sqrt{(l-d)^2 + d^2}} \quad \text{и} \quad d = \frac{a}{\sqrt{2}} \quad (3.14)$$

а также:

$$F_{1,3} = F_{1,4} = -\frac{q_0 q}{(l+d)^2 + d^2} \cos \beta \quad (3.15)$$

$$\text{где: } \cos \beta = \frac{l+d}{\sqrt{(l+d)^2 + d^2}} \quad (3.16)$$

(Для упрощения полагаем, что коэффициент при $q_0 q$ равен 1)

Величина отталкивания определяется взаимодействием заряда q с зарядом ядра $4q_0$.

$$F_r = F_{1,6} = \frac{4q_0 q}{l^2} \quad (3.17)$$

Общая картина взаимодействия определяется суммой (3.12) и (3.17). С учетом (3.14)-(3.17) имеем:

$$F_{\Sigma} = -\frac{2q_0 q (l-d)}{\left((l-d)^2 + d^2\right)^{3/2}} - \frac{2q_0 q (l+d)}{\left((l+d)^2 + d^2\right)^{3/2}} + \frac{4q_0 q}{l^2} \quad (3.18)$$

Нетрудно показать, что при $a \rightarrow 0$ сумма (3.18) стремится к нулю, и объекты перестают чувствовать друг друга, но для $a \neq 0$ при расстояниях $l > a$ притягивание преобладает, т.е. $F_a > F_r$, причем зависимость результирующей силы от расстояния имеет характер $\approx 1/l^2$.

Мы видим, таким образом, что симметричное распределение заряда в пространстве вокруг ядра приводит к тому, что нейтральный в целом атом притягивается к положительно заряженному точечному объекту. С физической точки зрения в этом нет ничего необычного. Как видно из рисунка 3.14, электроны 2 и 5 находятся ближе к заряду q , чем ядро атома. Вследствие нелинейного характера поля более сильное притягивание электронов 2 и 5 (по сравнению с ядром) не полностью компенсируется более слабым притягиванием электронов 3 и 4, и в результате атом испытывает слабое притяжение. Собственно говоря, выражение (3.18) – это выражение для химических сил, которые в соответствии с предлагаемой точкой зрения суть не что иное, как электростатика.

При другой ориентации «атома бериллия» также преобладает притягивание. Можно считать почти очевидным, что и равномерное непрерывное распределение отрицательного заряда вокруг ядра также приведет к притягиванию такого объекта к точечному источнику электрического поля.

Интересно отметить, что отношение сил притягивания F_a к силам отталкивания F_r для случая, изображенного на рис.3.14, при расстоянии $l = 10 \text{ \AA}$ и $a = 1 \text{ \AA}$ составляет ~ 1.007 . Если этот атом повернуть на 45° , то отношение составит ~ 1.008 , – т.е. результат слабо зависит от ориентации атома. Этот, вполне приемлемый, на наш взгляд, результат позволяет нам надеяться, что предложенная здесь идея может быть и относится к разряду недостаточно продуманных, но все же не безумных, т.е. не иррациональных.

У нас нет необходимости особо заботиться о величине притягивания атома с пространственным распределением зарядов к точечному источнику электрического поля, поскольку взаимодействие нужно ослабить (по сравнению с кулоновским взаимодействием точечных зарядов) на трудно представимую величину – на 42 порядка. Поскольку притягивание, изображенное на рис.3.14, определяется величинами зарядов q и суммарного заряда электронов, мы можем ослабить притягивание, уменьшив величину суммарного заряда электронов, т.е. допустив, что суммарный заряд

электронов в атоме несколько меньше заряда ядра. Очевидно, что в этом случае атом станет «немножко ионом», т.е. источником (хотя и не точечным по атомным меркам) слабого электрического поля атома как целого. Понятно, что пространственное размещение отрицательных зарядов в таком ионе еще уменьшит степень притягивания (если его поместить на место заряда $+q$). Мы надеемся, что в этом случае притягивание для большой группы таких атомов, т.е. для макротел, все же останется, хоть и ослабленное на 42 порядка по сравнению с электрическим взаимодействием точечных зарядов.

Можно считать очевидным, что размещение между двумя притягивающимися подобным образом атомами третьего такого же атома приведет не к экранизации взаимодействия, а к усилению притягивания, поскольку расстояние между атомами просто уменьшается. Ослабить подобное притягивание можно только размещением между взаимодействующими атомами точечного источника отрицательного электрического поля – отрицательного иона, электрона или антиатома. На первый взгляд кажется, что это противоречит ряду экспериментов, например известным экспериментам с эбонитовой палочкой и маленькими кусочками бумаги, но, может быть это только на первый взгляд?

Если два вида взаимодействия удастся свести к одному, то это весьма неплохо, конечно, но о сути электрического взаимодействия мы знаем не больше, чем о сути гравитации. Хотя у нас и нет особого доверия к изложенной только что идее относительно природы гравитации, мы рискнем представить идею, которая могла бы пролить свет на природу электрического взаимодействия, т.е. на природу электрических зарядов. В связи с тем, что для изложения этой идеи нам нужен образ электрона как волнового объекта, мы возвратимся к этой проблеме в следующей главе, после изложения идеи относительно образа электрона.

Нетрудно увидеть, что если гравитация – это действительно только «остаточное электрическое явление», то вращение любого твердого тела должно сопровождаться появлением магнитного поля. Само собой понятно, что при малых угловых скоростях вращения эффект может проявиться только для тел с большой массой, т.е. планет, звезд, звездных скоплений и т. д., а для тел обычных размеров – только при очень больших скоростях вращения (скорее всего, реально не достижимых в связи с недостаточными прочностными характеристиками обычных тел).

Электрическая сила между двумя заряженными телами чрезвычайно похожа на тяготение, она изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния... Не исключено, что тяготение и электричество связаны значительно сильнее, чем мы думаем.

Р.Фейнман

4. НАГЛЯДНЫЕ МОДЕЛИ ФОТОНА И ЭЛЕКТРОНА

Я больше не сомневаюсь в реальности квантов излучения, хотя по-прежнему в этом убеждении пребываю лишь я один.

Эйнштейн в письме к Бессо, 1918 г.

4.1. Наглядная модель фотона

Несколько слов из истории: «Известно, что гипотеза квантов света натолкнулась на очень большие трудности, и что на нее долгое время смотрели как на своеобразную ошибку молодости Эйнштейна, которую ему прощали из-за его больших заслуг в других областях. Даже экспериментальное подтверждение Милликеном законов фотоэффекта никого не убедило, в том числе и самого Милликена, и отношение к этому вопросу изменилось лишь в 1922 г. после экспериментального открытия эффекта Комптона», – Ж.Лошак, в книге, [26, с.14].

Мы видели в предыдущей главе, что образ электрона как электромагнитного солитона, как «пульсирующего» волнового комочка, хорошо послужил для объяснения ряда свойств атомов. Учитывая, что электрон может родиться в паре с позитроном при столкновении двух фотонов с энергиями не менее 0.51 МэВ , логично попытаться получить хоть какие-нибудь очертания образа электрона через образ фотона, о котором мы, к сожалению, знаем не больше, чем об электроне.

В настоящее время в литературе фактически не существует какой-либо приемлемой модели фотона, и проблема практически не обсуждается. Это объясняется противоречивыми свойствами, которые фотон, как и электрон, проявляет в различных экспериментах: в одних опытах проявляются свойства волны, в других же – свойства корпускул.

Ньютон представлял себе световые лучи в виде потока корпускул, несмотря на то, что сам достаточно подробно исследовал явления дифракции и интерференции света. Для объяснения интерференционных опытов он предполагал, что световые корпускулы движутся «приступами», хотя и не разъяснял подробно, что нужно под этим термином понимать. Такая позиция Ньютона объясняется в первую очередь большими успехами геометрической оптики.

На Гюйгенса, современника Ньютона, интерференционные опыты производили большее впечатление, чем успехи геометрической оптики, и он предложил волновую теорию света. Гюйгенс исходил из аналогии между акустическими и оптическими явлениями, и полагал, что световые колебания следует рассматривать как упругие колебания, распространяющиеся в особой среде – эфире. Эфир Гюйгенса заполняет собой все пространство – как внутри материальных тел, так и между ними. В то далекое время скорость распространения света уже была измерена достаточно хорошо ($300\,000 \text{ км/с}$, Рёмер, 1676 г.), поэтому эфир Гюйгенса обладал свойствами твердого тела – упругостью и плотностью. Свет в таком эфире распространяется сферическими поверхностями в соответствии с предположением, что каждая точка, до которой доходит возбуждение, становится в свою очередь центром вторичных волн, и т.д.

В течение всего XVIII и начала XIX веков в науке господствующее положение занимала корпускулярная теория. В XIX веке идея Гюйгенса получила развитие в работах Юнга, Френеля и Араго. Для объяснения явления поляризации света эфиру приписали свойство упругого твердого тела. Поскольку эфир не препятствует движению твердых тел (выполняется закон инерции), плотность эфира считали чрезвычайно низкой при высоком модуле упругости.

Дальнейшее развитие теория светоносного эфира получила в работах Лорентца. По представлениям Лорентца эфир – безграничная, неподвижная, проникающая во все тела

среда, единственной характеристикой которой является лишь определенная скорость распространения в ней электромагнитных возмущений.

Попытки обнаружения движения наблюдателя относительно эфира с помощью интерференционных опытов привели к отказу от понятия неподвижного эфира и созданию специальной теории относительности. Во всех этих перипетиях образу волны как возмущения в световом эфире не уделяли особого внимания. Интерес к этому вопросу возобновился после гипотезы Планка о квантовании электромагнитной энергии и особенно после объяснения Эйнштейном результатов исследования фотоэффекта, а также обнаружения волновых свойств у «твердых» частиц, предсказанных де Бройлем.

Вопрос, казалось, запутался окончательно – одному и тому же объекту приписывались свойства, как отдельного объекта, так и волнового процесса – перемещения возмущения некоторой среды. Объявление концепции корпускулярно-волнового дуализма не является полноценным выходом из ситуации, ибо это больше философское, чем физическое объяснение. По сути дела, это и вовсе не объяснение, а постулат, с которым современные физики знакомятся еще в незрелом (в прямом и переносном смыслах) возрасте. Мы считаем, что это очень плохо, ибо со временем острота восприятия притупляется, вырабатываются защитные рефлексы, и в зрелом возрасте интерес к проблеме больше не возникает.

В те не так уж далекие времена концепция корпускулярно-волнового дуализма воспринималась многими физиками, мягко говоря, без восторга. Вот слова Шредингера по этому поводу: «Конечно, достигается некоторое единство картины мира, но оно в высшей степени странное. Можно привести следующее сравнение: раньше мир был заселен людьми и лошадьми, теперь же мы имеем только один вид – кентавров», [27, с.18].

Поскольку эксперименты, вне всякого сомнения, указывают на наличие как волновых, так и корпускулярных свойств, как у фотонов, так и у твердых частиц, мы попробуем объединить их через предположение, что и фотоны, и твердые частицы на самом деле представляют собой специфические колебания светоносного эфира. Поскольку у нас нет ни приемлемых гипотез, ни экспериментальных данных относительно структуры эфира, мы попробуем вести анализ через геометрические параметры микрообъектов.

Первый вопрос, на который мы должны попытаться дать ответ, касается возможности фотона иметь форму сферической волны и вообще, нужно ответить на вопрос, какие могут быть поперечные размеры фотона.

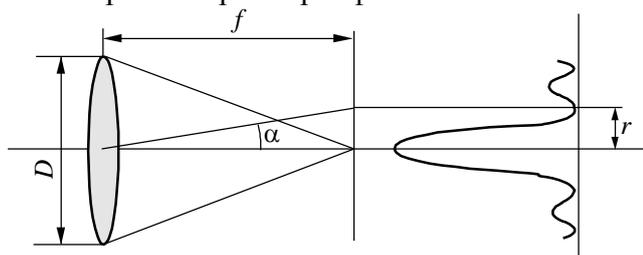


Рис. 4.1

Какие аргументы имеются в пользу «большого» фотона? В первую очередь это, конечно, результаты интерференционных опытов, для объяснения которых используется образ сферических или плоских волн, не ограниченных в поперечном сечении. Большие поперечные размеры имеют «экспериментальное подтверждение» – из теории оптических инструментов известно, что «квант света должен быть по крайней мере таким же большим, как наиболее крупные объективы; и поскольку невероятно, чтобы объем кванта зависел от величины наших инструментов, можно себе его

представить еще значительно бóльшим». Это высказывание принадлежит Лорентцу, [28, с.81]. Аналогичным образом ставил вопрос и Шредингер: «Если единичный световой импульс не будет обладать шириной волнового фронта минимум в 2,5 метра, то разрешающая способность большого 2,5-метрового телескопа-рефлектора в обсерватории Маунт Вильсон будет не лучше, чем у самого маленького», [27, с.16]. В наше время Шредингер назвал бы уже цифру 10 метров – такой теперь рекорд в деле построения оптических зеркальных телескопов. Этим вопросом интересовался, конечно, и Эйнштейн, и это видно из эпиграфа данной главы. Иногда он говорил: «До конца жизни я буду думать над тем, что такое свет».

Когда говорят, что фотон должен иметь поперечные размеры не меньшие, чем диаметр объектива телескопа, то имеют в виду следующее. Известно, что изображение точечного объекта, например, звезды, собирающая линза рисует в виде точки конечных размеров, окруженной рядом концентрических колец меньшей интенсивности, рисунок 4.1. Поскольку источник испускает фотоны хаотично, не когерентно, то появление интерференционных колец объясняют взаимодействием частей волны одного и того же фотона. При этом радиус центрального пятна может быть определен из формулы:

$$r = \frac{1.22 f \lambda}{D} \quad (4.1)$$

где λ – длина волны фотона, D – диаметр объектива, f – фокусное расстояние.

Величина r ограничивает угловое расстояние α (в радианах), которое еще удастся разрешить с помощью этого объектива (с учетом критерия Рэлея).

$$\alpha = \frac{1.22 \lambda}{D} \quad (4.2)$$

Как видно, чем больше D , тем меньше угол (при заданном λ), который может разрешить данный объектив. Формула 4.2 хорошо согласуется с экспериментом, поэтому служит серьезным аргументом в пользу «большого» фотона.

А нельзя ли выдвинуть аргументы против больших поперечных размеров фотона? Один из таких аргументов может быть следующий. Мы не сомневаемся в том, что единственный фотон достаточной энергии может выбить из металлической пластины с большой площадью электрон. Если наш фотон прибыл издалека, например, от звезды, то его фронт представляет собой уже практически плоскую поверхность. В связи с этим возникает вопрос: каким образом фотон решает, на каком из атомов пластины ему нужно сконцентрировать всю свою энергию, чтобы вырвать из пластины практически точечный электрон? Списать все на «специфически квантовое явление» не поворачивается язык – пластина диаметром 10 метров, и фотон как будто не меньше.

А как быть, если широкая волна фотона налетает не на большую пластину, а на парящую в пространстве металлическую пылинку, как в опытах Мейера и Герлаха [11, с.104], и выбивает из нее электрон? Как широкий фотон решает, с какой именно пылинкой нужно иметь дело?



Рис. 4.2

В развитие вопроса рассмотрим один мысленный эксперимент. Предположим, что в точке A , рисунок 4.2, имеется возбужденный атом, который излучает фотон в направлении небольшого отверстия (например, диаметром 1 мм) в диафрагме 1.

Глядя на этот рисунок, разве мы сомневаемся в том, что фотон может перемещаться в пространстве по прямой линии многие миллиарды лет, пройти в конце пути сквозь такую же диафрагму 2 и оказаться поглощенным атомом B такого же сорта, что и атом

A? Это не совсем надуманный эксперимент – похожая ситуация наблюдается реально, когда мы наблюдаем излучение квазаров, удаленных от нас на полтора десятка миллиардов световых лет. Очевидно, что если бы поперечные размеры фотона были большими, то, пройдя такое расстояние, фотон проигнорировал бы не только атом *B* в нашем фотоэлементе, но и весь фотоэлемент, и наблюдателя, и его планету и т.д.

Далее, если атом *A* излучает сферический фотон, то как такой фотон может быть поглощен аналогичным атомом *B*, скажем, через одну секунду – т.е. на расстоянии 300 000 километров, когда другая часть сферы будет находиться уже на 300 000 километров в противоположном направлении, в сумме 600 000 км? Допустим, что наш фотон настолько хитрый, что знает, с каким из атомов один из участков его сферы вступил во взаимодействие и умеет сконцентрировать энергию, равномерно распределенную по сфере диаметром 600 000 км, в одну точку. Сколько времени в таком случае будет длиться взаимодействие? Две секунды? Как видим, у фотона с большими поперечными размерами имеется целый ряд очень серьезных проблем.

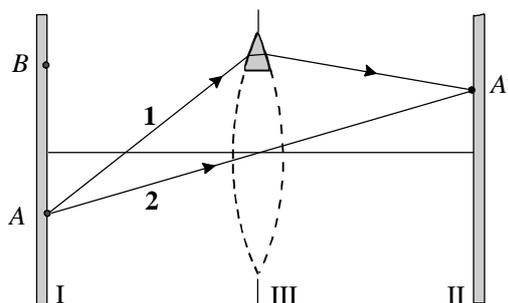


Рис. 4.3. Физическая сущность геометрической оптики.

Убедиться в том, что поперечные размеры фотона сильно ограничены, можно с помощью очень простых экспериментов. Пусть у нас имеются две стенки, одна из которых, стенка I, излучает фотоны, которые ограничены в поперечном направлении, двигаются по прямым линиям, но могут изменять направление движения под действием призмы, рис.4.3. Если в некоторой плоскости III поместить небольшую призму, то она изменит направление распространения фотона 1, испущенного из точки *A*, и направит его в точку *A'*. В эту же точку попадут и фотоны 2, не испытавшие никакого воздействия.

Очевидно, что для точки *A* можно подобрать множество маленьких призм в плоскости III, которые сведут в точку *A'* все лучи, испущенные точкой *A* в некоторый телесный угол. Оказывается, что отклоняющие призмочки можно изготовить и расставить таким образом, что получится как раз линза – тело, изготовленное из оптически более плотного материала, ограниченное двумя сферическими поверхностями. При этом оказывается, что для произвольной точки *B* на плоскости I годится линза, изготовленная для точки *A*. Несомненно, это одно из самых совершенных изобретений Природы и человека. Из рисунка 4.3 видно, что за формальным построением геометрической оптики можно подразумевать и реальное движение «узких» фотонов по прямым линиям.

Очень впечатляюще в этом плане выглядят эксперименты с линзой и пучками параллельных лучей. Для этого нужно направить пучок параллельно движущихся фотонов (лучше всего солнечных) на выпуклую сферическую линзу. Если при этом на одной из поверхностей линзы имеется небольшая неоднородность, например, пылинка (точка *A* на рисунке 4.4), то ход фотонов можно проконтролировать с помощью белого экрана *E*. При любых положениях экрана изображение пылинки будет очень резким. По мере перемещения экрана от плоскости I в сторону фокуса изображение точки будет перемещаться к оптической оси и после прохождения фокуса окажется уже в верхней

части изображения, рис.4.4, *b*. Отметим, что изображение пылинки имеет вид точки, окруженной кольцами, как на рисунке 4.1.

Двояковыпуклую линзу для наших экспериментов можно составить также из двух линз, в которых одна из сторон плоская. Если между такими линзами зажать пленку с изображением, то на экране увидим резкое изображение рисунка на пленке, причем резкость изображения не зависит от положения экрана. Все это убедительно доказывает, что поперечные размеры фотона микроскопические, ибо большой фотон просто не прочувствовал бы пылинки, на пять порядков меньшей, чем наш объектив. После этих опытов становится ясным, почему Ньютон, открыв интерференционные кольца, все же остался при убеждении, что световой луч – это поток корпускул, движущихся «приступами». Кто знает, какой точки зрения относительно фотонов придерживался бы Ньютон, если бы эксперименты со светом не проводил лично и не видел бы все это своими глазами?

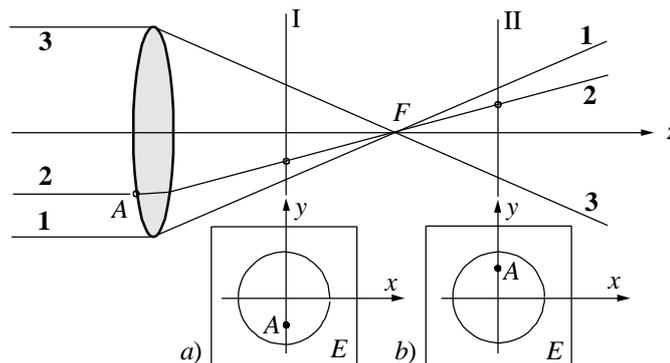


Рис. 4.4

Похоже, что у нас просто не остается никакого выхода, как допустить, что поперечные размеры фотона очень сильно ограничены – не больше размеров микроскопических пылинок, скорее всего, порядка длины волны фотона. Получается так, что независимо от того, представляет ли собой фотон особый вид материи (электромагнитного поля) или особые колебания светоносного эфира, колебательный процесс в направлении, перпендикулярном движению фотона, распространяется только на величину порядка λ . Фотон каким-то образом самоограничивает распространение колебательного процесса по двум координатам. Поскольку волновые свойства фотонов при этом не теряются, физический смысл концепции корпускулярно-волнового дуализма становится теперь более понятным с точки зрения рациональной физики.

Что касается зависимости разрешающей способности объектива от его диаметра, противоречащей образу самоограниченного фотона, то мы должны надеяться, что эту трудность удастся преодолеть и с предлагаемым образом фотона, который в настоящий момент является еще далеко не полным – мы еще не проанализировали вопрос продольных размеров фотона. Ниже мы увидим, что по крайней мере одну альтернативу все-таки можно предложить.

В литературе принято считать, что ряд экспериментов свидетельствуют в пользу длинного фотона – так называемого цуга волн. В первую очередь это результаты наблюдений интерференции в приборе Майкельсона или в опытах с пластинкой Люммера –Герке. Логика здесь следующая. Поскольку разница в длине пути взаимодействующих лучей составляет порядка 1 метра (несколько миллионов длин волн), а интерференция наблюдается в некогерентном свете, то интерферировать могут только «обрывки» одного и того же фотона. Фотон должен делиться на эти обрывки при падении на плоскопараллельную пластинку или при выходе из нее, т.е. на границе двух оптических сред. Вот мнение Лорентца по этому поводу: « ... рассмотрение простейших интерференционных явлений, например, колец Ньютона, показывает, что во всяком

случае кванты должны быть делимы, ибо лучи разлагаются на две части, которые идут по разным путям и в конце концов приходят к месту, где интерферируют», [28, с.81].

Если мы уже согласились с тем, что поперечные размеры фотона порядка его длины волны, мы должны теперь представлять себе фотон в виде «волновой змейки» с амплитудой поперечных колебаний порядка длины волны и длиной в несколько миллионов длин волн.

Какие аргументы можно выдвинуть против этого образа? При анализе этого вопроса мы будем считать твердо установленным факт, что все фотоны описываются формулой Планка $E = h\nu$. Представим себе, что атом переходит из возбужденного состояния E_1 в основное E_0 и излучает при этом фотон в виде цуга волн, который подчиняется формуле Планка $E_1 - E_0 = h\nu$. Что будет с фотоном, если в момент, когда атом уже излучил половину цуга, его ударит какая-нибудь частица? Если процесс излучения прекратится, то будет ли подчиняться формуле Планка улетевшая часть цуга, т.е. изменит ли она свою частоту и длину волны соответственно величине унесенной энергии? Или фотон «передумает» и возвратится в атом? Похоже, что мы имеем здесь серьезный аргумент против образа фотона как длинного цуга волн.

Очень близкую аргументацию приводил Шредингер при анализе возможности существования квантовых скачков, хотя он почти и не сомневался в том, что длина цуга составляет примерно один метр, и вопрос ставил в ином ракурсе: «Из основных положений квантовой теории следует, что, излучая, атом переходит из строго определенного состояния с большей энергией E_1 в строго определенное состояние с меньшей энергией E_2 . При этом квант энергии $E_1 - E_2$ излучается в виде световой волны со строго определенной частотой $(E_1 - E_2) / h$. Одним из основных допущений является утверждение, что промежуточные энергии (т.е. между E_1 и E_2) атома не встречаются, никогда не наблюдаются. Происходит ли переход из одного состояния в другое скачкообразно, так сказать, без затрат времени? Но ведь испущенный цуг волн имеет, как известно, вполне заметную длину, скажем, примерно полметра, и испускание его требует известного, с точки зрения атомных явлений не так уж малого, времени. Какую энергию имеет атом в течение этого времени, т.е. пока испускается цуг волн? E_1 или E_2 ? Оба ответа, по-видимому, ведут к трудностям. Если считать, что атом сохраняет в это время постоянную энергию E_1 , то энергия света используется, так сказать, «взаймы». Наоборот, если считать, что атом завершает скачок к E_2 до окончания процесса излучения, то имеем дело с «предварительным расчетом». В обоих случаях возникает опасение, что священный закон сохранения энергии будет находиться в опасности, если какое-нибудь энергичное вмешательство, например, соударение с другим атомом, вдруг прервет процесс излучения», [27, с.35].

Поставим вопрос немного по-другому. Пусть нашему атому, несмотря на старания соседей, все-таки удалось излучить цуг длиной в 1 метр. Пусть этот фотон падает на плоскопараллельную пластинку и делится на ее поверхности пополам (почему не в другой пропорции, не понятно, но пусть будет так) – иначе интерференцию не объяснить. Если длина волны отраженной от пластины части и части, прошедшей внутрь пластины, такая же, как и у падающего фотона (а мы знаем, что если на такую пластину направить строго монохроматический пучок, то длина волны расщепившихся пучков будет такой же самой, как и у исходного пучка – цвет пучка не меняется), то выполняется ли в этом случае закон сохранения энергии? Если выполняется, то подчиняются ли обрывки фотона формуле Планка?

В учебниках физики при изложении интерференционных опытов обычно даже не упоминают о трудностях, имеющих в объяснении некоторых опытов, и ограничиваются объяснениями с волновой точки зрения, как будто у фотонов совсем нет корпускулярных свойств. Как показал С.Вавилов, интерференционные опыты в физике представляют не более светлое место, чем вопрос о длине цуга. Мы имеем в

виду его опыты по исследованию световых флуктуаций при малых, близких к порогу восприятия человеческим глазом, интенсивностях.

В этих экспериментах адаптированный к темноте глаз экспериментатора наблюдал непрерывно и слабо светящееся пятно F контрольной лампы, рис.4.5. Световые импульсы длительностью 0.1 секунды (0.9 сек. сигнал отсутствовал) от лампы накаливания поступали на два близкорасположенных отверстия 1 и 2, но не непосредственно, а сквозь бипризму Френеля, которая ломает фронт «широкого» фотона, и сводит получающиеся фронты в одно место для интерференции. Считается, что бипризма может разделить пучок на два когерентных пучка. Таким образом, в отверстиях 1 и 2 были видны два слабосветящиеся пятна, которые по идее эксперимента должны были быть когерентными. Вот оценка результатов исследований, данная самим Вавиловым: «Хорошо известно, что интерференционные полосы можно фотографировать при крайне слабых интенсивностях (многосуточные экспозиции). С волновой точки зрения это само собой разумеется; с корпускулярной точки зрения это непостижимо, так как в интерферирующих пучках в этих условиях всегда отсутствует один из партнеров. Опыты, описываемые дальше, показывают, однако, что интерференция при малых интенсивностях не более понятна и с волновой точки зрения. ... при достижении пороговой мощности обе точки совершенно отчетливо флуктуировали одна относительно другой, и весьма редко они были видны в одно и то же время. Это явление независимых относительных колебаний когерентных лучей имеет катастрофическое значение для волновой теории, если пытаться ее защищать и в данном случае», [29, с.48].

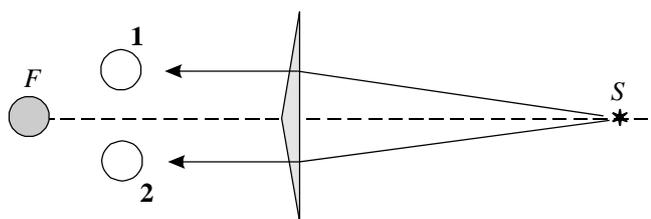


Рис. 4.5

При внимательном рассмотрении работы интерферометра Майкельсона можно обнаружить, что образ фотона как длинного цуга на самом деле больше затрудняет понимание вопроса, чем проясняет. Допустим, что плечи интерферометра равновеликие и составляют 0.5 метра, рис.4.6. Допустим далее, что длина цуга равна 1 метр (в литературе можно встретить упоминание и о более длинных цугах).

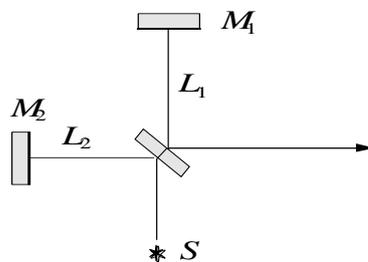


Рис. 4.6

Из рисунка видно, что независимо от того, в какую сторону уйдет первая половина цуга, при их встрече на пластинке вторая часть в лучшем случае «сядет на хвост» первой половины, в худшем – они вообще разминутся. Понятно, что во втором случае вопрос об интерференции отпадает автоматически. Что касается первого случая, то

сразу возникает вопрос: в чем заключается взаимодействие частей фотона, и в каком месте оно происходит? Если взаимодействие происходит на пластинке, когда первая половина уже практически ушла, а вторая только начинает прибывать, то как вторая половина фотона повлияет на поведение уже ушедшей первой половины? Если же взаимодействие происходит в месте наблюдения, т.е. на экране, то как вторая половина фотона может повлиять на положение уже поглощенной первой половины?

Если же плечи прибора неравновеликие, то можно подобрать такое соотношение в плечах, при котором половинки фотонов после отражения от зеркал и от пластинки будут совпадать полностью, но тогда фотонам нужно предписать всегда делиться только пополам, и первой половине фотона всегда сворачивать только в сторону длинного плеча, иначе части фотона просто разминутся. Откуда фотон может знать, какое из плеч прибора является более длинным, чтобы туда направить свою первую половину? А как быть в этом случае с формулой Планка?

Мы полагаем, что все эти логические тупики указывают на то, что фотон не может иметь форму длинного цуга волн. Приведенные аргументы против длинного фотона мы считаем достаточно сильными, чтобы прийти к выводу, что фотон не может быть длиннее, чем длина его волны – только в этом случае он будет неделим.

Таким образом, мы приходим к выводу, что фотон представляет собой волновое образование, самоограниченное, самоплененное по двум координатам, имеющее возможность распространяться только по третьей координате и имеющее размеры по всем координатам порядка длины волны. Очевидно, что такой объект обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами одновременно, проявляя в одних ситуациях больше волновые свойства, в других – корпускулярные. Отметим, что этот вывод о длине фотона фактически имеет и свое экспериментальное подтверждение. В некоторых типах современных лазеров длительность световых импульсов составляет единицы фемтосекунд (10^{-15} с). Это значит, что длина светового участка уже сравнима по порядку величины с длиной волны этого излучения. По сути дела этот экспериментальный результат ставит крест на образе фотона как длинного цуга волн.

Несколько замечаний относительно источников излучения, используемых в исследованиях интерференции фотонов. В большинстве из них используется либо солнечный свет, либо излучение лампочки накаливания. Эксперименты Вавилова показали, что в таких лучах, ослабленных с помощью нейтральных светофильтров, фотоны движутся группами примерно в 40-50 фотонов, как будто это «обрывки» индуцированного излучения. Другие исследователи, правда, дают немного другие цифры.

В связи с этим можно сказать, что для корректного исследования явлений интерференции нужно использовать источник излучения, который гарантировал бы излучение одиночных фотонов. В наше время такой источник построить совсем нетрудно. Для этого можно в газовой ячейке в условиях однократности столкновений производить возбуждение электронным ударом атомов одного из инертных газов. Электронный пучок для этого можно получить с помощью обычной электронной пушки. Распределение электронов по энергиям в таких пучках позволяет проводить возбуждение всего лишь одного уровня и получить, таким образом, строго монохроматический пучок одиночных фотонов. Величину светового потока от такого источника можно регулировать очень просто – изменением величины электронного тока.

Хорошо бы теперь объяснить явление интерференции света с позиции предложенного образа фотона. Первым делом мы должны выяснить, что можно подразумевать под взаимодействием фотонов. Известно, что даже при очень больших потоках фотонов (в солнечной короне) взаимного рассеяния фотонов не наблюдается, [29]. Если же задаться вопросом, каким образом два фотона одинаковой энергии можно

заставить занимать одно и то же место в пространстве, то в качестве ответа можно предложить только два варианта.

Первый вариант – пустить фотоны навстречу друг другу. В этом случае фотоны могут занять одно и то же место только на очень короткое время, при этом они почему-то игнорируют друг друга до энергии не меньше 0.51 МэВ , но, начиная с этой энергии, взаимодействие проявляется в виде образования электронно-позитронной пары. Вполне возможно, что это каким-то образом связано со структурой светоносного эфира, – т.е. не столько с энергией фотона, сколько с длиной его волны.

Второй вариант – свести фотоны в одном и том же месте на поверхности двух оптических сред, когда один фотон отражается от поверхности, а второй в этот момент, в том же месте и в том же направлении «выходит» из более плотной среды (или наоборот). Очевидно, что в этом случае они будут вынуждены или провзаимодействовать (оттолкнуть друг друга с общего пути), или все время бежать вместе – занимать вдвоем одно и то же место в пространстве, сохраняя при этом свою прежнюю длину волны. Но это противоречит формуле Планка, ибо мы, таким образом, фактически сконструировали новый фотон, который при данной длине волны содержит в себе энергию, вдвое бóльшую, чем предписывает формула Планка. Полагая, что это невозможно, мы приходим к выводу, что в этом случае фотоны обязаны провзаимодействовать.

Из эксперимента мы знаем, что в подобных случаях энергия фотона не изменяется, значит, не может измениться и величина его импульса, поскольку эти величины в фотоне связаны. Пока что получается так, что единственное, что может сделать фотон в этом случае – это изменить направление своего импульса. Для согласия с экспериментом нужно только допустить, что в этом случае фотоны как волновые объекты могут только дискретно изменить направление импульса и разбежаться в разные стороны под дискретно определенными углами.

Как это ни странно, но, похоже, что движение самого быстрого в природе объекта – фотона – лучше всего имитирует движение одного из самых медленных в природе существ – гусеницы, ползущей по зеркальной поверхности, рис.4.7. Периодические поперечные движения тела гусеницы сменяются периодическими поступательными движениями. На абсолютно гладкой (без трения) поверхности подобное движение невозможно, оно становится возможным только благодаря периодическому изменению коэффициента трения между отдельными частями гусеницы и поверхностью. Вполне возможно, что модель хорошо имитирует движение приступами, о которых говорил Ньютон.

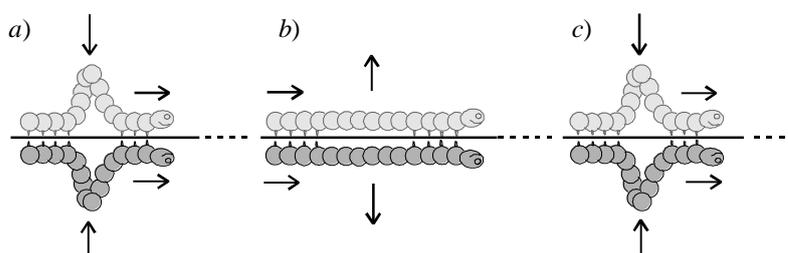


Рис. 4.7

Относительно неплохой моделью, имитирующей движение фотона, является также движение колеблющейся пружинной гантели, хотя эта модель и отличается от предыдущей принципиально: в этом случае мы имеем два независимых движения – колебательное и поступательное. В отличие от гусеницы, гантель может колебаться на месте.

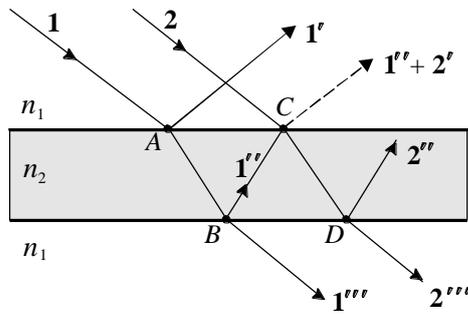


Рис. 4.8

Направим теперь поток фотонов на плоскопараллельную пластинку. Особый интерес для понимания происхождения интерференционных полос в этом случае представляет вопрос перехода фотона из среды с одним показателем преломления в среду с другим показателем, рисунок 4.8. Допустим, что для фотонов, движущихся по направлению к поверхности пластинки под некоторым углом, например, вдоль луча 1, ситуация в точке *A* зависит от того, в какой фазе, какая поляризация, угол падения и т.д., фотон подойдет к поверхности, поэтому одни фотоны отразятся, другие же проникнут внутрь пластины, изменив при этом направление движения. В терминологии Ньютона одни фотоны движутся «приступами легкого отражения», другие – приступами «легкого проникновения».

Судьба фотонов, проникших в пластинку, на границе перехода «воздух – пластинка» уже однозначно определяется длиной пути *AB*. Фаза, в которой они подойдут в точку *B*, зависит от того, сколько длин волн данного фотона уложится на пути *AB*: в одном случае $AB = n \cdot \lambda$, ($n = 1, 2, 3 \dots$), и мы получим «приступы легкого отражения»; в другом же $AB = (n - 1/2) \cdot \lambda$, ($n = 1, 2, 3 \dots$), и мы получим «приступы легкого проникновения», т.е. луч $1''$ или луч $1'''$, или наоборот.

Если лучи 1 и 2 исходят из одной точки, т.е. не параллельные, то условия прохождения и отражения будут чередоваться в зависимости от того, сколько длин волн уложится на пути от одной поверхности к другой. Отсюда – чередование светлых и темных полос. Ситуация зависит также от взаимодействия отраженных от второй поверхности и выходящих наружу фотонов с отраженными в этой же точке внешними фотонами, точка *C*. В случае совпадения направлений фотонов (условия совпадения периодически повторяются) фотоны будут взаимодействовать друг с другом, как это было проанализировано выше. Таким образом, мы можем объяснить периодические изменения интенсивности при прохождении (и отражении) световыми пучками тонких прозрачных пластинок с использованием модели фотонов как ограниченных в пространстве до размеров λ волновых образований, движущихся поодиночке.

Что касается интерференционной картины, типа той, которая наблюдается в интерферометре Майкельсона, то согласия с экспериментом можно достичь, допустив, что излучение нагретых тел существует в виде цуга фотонов (не фотон как цуг волн, а «цепочка фотонов», они же флуктуации интенсивности в экспериментах Вавилова или в опыте Брауна и Твисса [48]), в виде «обрывков индуцированного излучения» из глубины нагретого тела, которые на границе оптических сред распадаются на отдельные фотоны – часть фотонов отражается от поверхности (например, нечетные), а часть проникает в пластинку (четные). Дальше взаимодействие происходит так, как это описано выше. Для наглядности световое излучение, падающее на поверхность пластинки, можно изображать сплошной линией, а отраженное и прошедшее сквозь пластинку – штриховой линией, где отдельному штриху соответствует фотон. Ясное дело, что если изложенное здесь верно отражает истину, то интерференционная картина в случае использования источника излучения, гарантирующего эмиссию отдельных фотонов, должна отсутствовать. Идея немного похожа на идею *ad hoc*, но это все же не

достаточно сильный аргумент против нее. Во всяком случае, эксперимент можно бы поставить.

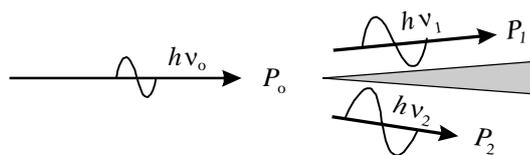


Рис. 4.9

Несмотря на довольно подробный разговор о проблеме возможности деления фотонов на части при прохождении фотонами границы с разными показателями преломления, мы еще раз возвратимся к этой проблеме. Если фотон нельзя разделить на подобном переходе, то, может быть, можно создать устройство, например лезвие ножа, налетая на которое, фотон бы мог разделиться пополам, или в другой пропорции? Допустим, что мы умеем создать такое устройство. Пусть это будет обыкновенное остро заточенное лезвие, натываясь на которое, фотоны делятся в произвольной пропорции, рис.4.9.

Пусть фотон $h\nu_0$ делится на нашем устройстве на две части $h\nu_1$ и $h\nu_2$. Очевидно, что

$$h\nu_0 = h\nu_1 + h\nu_2 \quad (4.3)$$

а также

$$P_0 = P_1 + P_2 \quad (4.4)$$

где P_0 , P_1 и P_2 – соответствующие импульсы фотонов. В соответствии с формулой де Бройля связь между величиной импульса и длиной волны следующая:

$$P_0 \lambda_0 = P_1 \lambda_1 = P_2 \lambda_2 = h \quad (4.5)$$

Импульс P_1 можно представить как уменьшение импульса P_0 на некоторую величину ΔP_2 , которая равна P_2 , т.е. $P_1 = P_0 - \Delta P_2$, и наоборот, импульс P_2 можно представить как уменьшение импульса P_0 на величину ΔP_1 . Таким образом,

$$P_0 = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (4.6)$$

Если фотон в направлении распространения занимает величину пространства ΔX , равную длине его волны, то вместо величин λ_0 , λ_1 , λ_2 в формулу 4.5 можно подставить ΔX_0 , ΔX_1 , ΔX_2 , вместо P_0 , P_1 , P_2 , можно подставить ΔP_0 , ΔP_1 , ΔP_2 . Таким образом, в общем случае, вместо (4.5) можно записать:

$$\Delta P \Delta X = h \quad (4.7)$$

Как видим, «соотношение определенностей» можно совсем легко получить из самых простых и общих соображений. Здесь нет ничего удивительного, и даже нового. По сути дела это, как сказал бы Гегель, инобытие формулы де Бройля или Планка. Физический смысл соотношения совсем прозрачный: если мы хотим и умеем «сжать» фотон, как пружину, от бесконечных размеров до размеров ΔX , то должны на это израсходовать определенную энергию. Если после сжатия в пружине срабатывает специальный механизм (в фотоне – самопленение), не позволяющий пружине возвратиться в исходное состояние, энергия, израсходованная на сжатие, окажется заключенной в пружине (механизм самопленения, по-видимому, срабатывает дискретно, отсюда выход на постоянную Планка). Чем сильнее, т.е. до меньших размеров, до меньшей длины волны, «сжат» фотон, тем больше заключенная в нем энергия, и, соответственно, импульс ΔP . С другой стороны, если от фотона «отрезать» кусочек с импульсом ΔP_1 , то этот кусочек тут же увеличится и займет в пространстве место ΔX_1 , величина которого определяется из (4.7).

Очевидно, что такой объект (центр объекта) имеет конкретные, с какой угодно большой точностью определенные пространственные координаты и импульс, но если положение центра начать определять «силовыми методами», т.е. сжимать, пока не

добреемся до центра, то объекту это не понравится, и энергия, заключенная в нем, как в сжатой пружине, будет расти до бесконечности (импульс, естественно, тоже). Из невозможности сжать волновой объект до нулевых размеров совсем не следует, что у него в принципе нет конкретных координат, конкретного импульса или конкретной траектории. Для математики безразлично, умеем мы корректно измерять параметры объекта (траекторию, импульс, скорость и т.д.) или нет, ибо это не ее, это наши проблемы. Для того, чтобы обычную стальную пружину сжать до нулевых размеров, также нужна бесконечная энергия, но кто сомневается в том, что центр пружины, даже колеблющейся, имеет конкретные координаты, импульс, скорость и, в случае полета, конкретную траекторию? Мы полагаем, что сказанного вполне достаточно для того, чтобы уяснить себе, в чем состоит разница между проблемой наличия у материального объекта свойства и проблемой экспериментального его определения. Для нас теперь очевидно, что эти проблемы нельзя смешивать.

Что касается приспособления, предназначенного для совершения обряда обрезания фотонов, то разговор на эту тему не лишен основания. Мы имеем в виду эксперименты с рентгеновскими фотонами – эффект Комптона. Роль лезвия там выполняет электрон, который отбирает у фотона часть импульса. Длина волны рассеянного фотона при этом увеличивается в полном соответствии с приведенными выше соотношениями. Тот факт, что при этом не появляется второй «живой» фотон, как на рисунке 4.9, мы считаем непринципиальным.

Мы не можем не сказать здесь несколько слов о соотношении неопределенностей $\Delta p \cdot \Delta x \geq h/4\pi$. Споры вокруг этого вопроса давно отшумели, страсти улеглись и большинство современных читателей уже мало что знает о них, поскольку учебники обычно обходят вопрос молчанием или излагают материал так, как будто никаких проблем здесь не существует и не существовало. А между тем Гейзенберг уже в первой работе, в которой он сформулировал это соотношение (в 1927 г.), в качестве одного из основных выводов, вытекающих из соотношения, утверждал, что «квантовая механика определенно установила несостоятельность закона причинности». Нетрудно представить себе, какую реакцию такое утверждение могло вызвать у классиков. Вот как характеризовал эти споры английский писатель Сомерсет Моэм в книге «Подводя итоги», 1938 г.: «Два виднейших ученых нашего времени относятся к принципу Гейзенберга скептически. Планк высказал мнение, что дальнейшие исследования устранят кажущуюся аномалию, а Эйнштейн назвал философские идеи, основанные на этом принципе, «литературой», боюсь, что это лишь вежливый вариант слова «чушь»... Сам Шредингер сказал, что никакое окончательное и исчерпывающее суждение по этому вопросу сейчас невозможно», [30, с.179]. Мы не знаем, по какому принципу подсчитывал ученых Моэм, и нет ли здесь ошибки при переводе, но ученых получилось все-таки три, и все виднейшие, и все против.

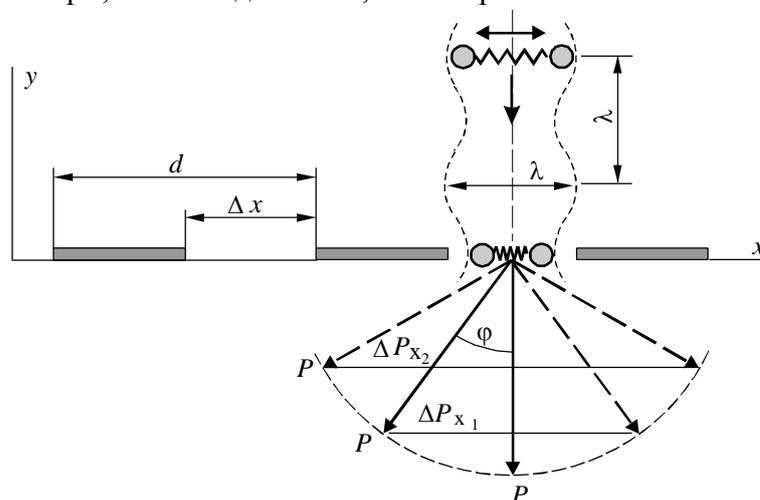


Рис. 4.10. Прохождение фотоном узкой щели.

Рассмотрим теперь, как локализованный до размеров λ фотон преодолевает узкую щель. В этом случае движение фотона удобно иллюстрировать с помощью колеблющейся гантели, рис. 4.10. Самоограниченный в поперечном направлении фотон может проникнуть в щель и там провзаимодействовать со стенками щели. В связи с большим соотношением размеров фотона и атомов, из которых состоит щель, волновыми свойствами щели пренебрегаем. На выходе из щели у такого фотона имеется несколько возможностей – продолжить движение без изменения направления или изменить его на некоторый угол в одном из направлений в плоскости рисунка.

Поскольку энергия фотона в подобных столкновениях не меняется, взаимодействие заключается в изменении направления импульса. Нам представляется вполне логичным допустить, что фотон как волновой объект может изменить направление движения только дискретно. Допустим, что полученный в поперечном направлении импульс ΔP_x зависит от «степени сжатия» фотона щелью, т.е. от ширины щели ΔX , и может изменить свою величину только дискретно, кратно некоторой величине ΔP , т.е.

$$\Delta P_x = n \Delta P \quad (4.8)$$

где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, а ΔP определяется из соотношения определенностей (4.7), т.е. $\Delta P \cdot \Delta X = h$

Как видно из рисунка,

$$\Delta P_x = P \sin \varphi \quad (4.9)$$

Учитывая (4.7), (4.8), (4.9) и формулу де Бройля $h/\lambda = P$, имеем:

$$\left. \begin{aligned} P \sin \varphi &= n \Delta P \\ \lambda P &= \Delta P \Delta X \end{aligned} \right\} \quad (4.9')$$

Откуда

$$\Delta X \sin \varphi = n \lambda \quad (4.10)$$

Формула (4.10) нам хорошо знакома и не требует комментариев. Интересно отметить, что поскольку квантовые свойства фотона мы учитывали дважды, постоянная Планка в этих нехитрых вычислениях выпадает. Как видим, самоограниченному фотону не нужно проходить сквозь две щели сразу, чтобы потом взаимодействовать со своей же частью. Через другую щель дифракционной решетки пройдет другой фотон и реализует свои возможности в соответствии с условиями прохождения его щели (фаза, в которой он подошел к щели, прицельное расстояние, соотношение в размерах щели и фотона и т.д.).

Интуитивно понятно, что большинство фотонов пройдет щель без отклонения, $n = 0$, и лишь незначительная часть отклонится в соответствии с $n = \pm 1$, и еще меньшая – в соответствии с $n = \pm 2$ и т.д. Это значит, что наибольшее количество фотонов окажется в так называемом нулевом максимуме и лишь относительно небольшая часть фотонов разделится между первыми, вторыми и т.д. правыми и левыми спектральными порядками. Именно такие характеристики имеют дифракционные решетки.

Если после плоской дифракционной решетки разместить собирающую линзу, то фотоны определенной длины волны, вышедшие из щелей под одинаковыми углами, соберутся в фокальной плоскости линзы в одной точке. Фотоны с другой длиной волны отклонятся щелями под другим углом и соберутся линзой в другой точке. В результате мы получим картину спектрального состава источника излучения. Это значит, что формула (4.10) должна описывать поведение фотонов при прохождении ими не только щели, но и дифракционной решетки, однако в формуле решетки вместо ширины щели ΔX стоит постоянная решетки d , т.е. величина, примерно в два раза больше, чем ширина щели, и эта зависимость очень хорошо подтверждается экспериментально. Согласия в формулах можно добиться, если допустить, что n на самом деле принимает ряд не целых, а полуцелых значений, т.е. $n = 0, 1/2, 1, 3/2, \dots$. Для волновых объектов в этом нет ничего удивительного.

Если в фокальной плоскости поместить светочувствительный материал, например люминесцирующий экран, то при незначительной интенсивности потока падающих фотонов и энергии, достаточной для возбуждения люминесценции, мы увидим, как фотоны после прохождения щели хаотично попадают то в одно место фокальной плоскости, то в другое, но чаще всего в нулевой порядок, существенно реже – в первый, и еще реже – во второй и т.д. После длительной экспозиции мы получим устойчивую картину спектра источника излучения. Такой эксперимент может служить прямым доказательством ограниченности поперечных размеров фотонов. При нынешнем уровне техники это вполне реальный и даже не очень сложный эксперимент.

Очевидно, что чем больше поперечные размеры фотона, тем меньше для него вероятность проскочить щель без отклонений, и в случае, если размеры фотонов превышают ширину щелей, решетка будет уже работать как зеркало. С другой стороны, если размеры фотонов слишком маленькие по сравнению с шириной щели, то большинство из них проскочат щель практически без отклонений. Кроме того, угол отклонения, который в конечном итоге задается «соотношением определенностей», окажется для них незначительным. Это значит, что нельзя изготовить дифракционную решетку, которая бы одинаково хорошо работала как для длинноволновых, так и для коротковолновых фотонов.

В реальных спектральных приборах чаще всего применяют дифракционные решетки с плотностью нарезки 1 200 *штрихов* на мм. Такие решетки неплохо работают примерно от 500 Å до 8 000 Å. Эффективность решетки после 8 000 Å резко падает, а угол отклонения уже близкий к 90°. Такую картину можно объяснить тем, что по мере увеличения длины волны фотонов им все труднее и труднее протиснуться сквозь щели, и все легче просто отразиться – для решетки 1 200 *штр/мм* шаг d нарезки равен $\sim 8\,000$ Å. Это значит, что все фотоны с размерами, меньшими 8 000 Å, могут свободно, или почти свободно, проникнуть сквозь такие щели в случае, если поступают на решетку с прицельным расстоянием, равным нулю, т.е. по центру щели. Если это верно, то для данной решетки, начиная с некоторой длины волны, длинноволновые фотоны должны отсутствовать даже в нулевом порядке спектра.

Мы не можем сомневаться в том, что реальный фотон способен пройти сквозь одну узкую щель, – дифракция на одной щели наблюдается и хорошо согласуется с (4.10), но допускаем, что может пройти и сквозь две узкие и расположенные достаточно близко щели. Образ фотона, как волнового объекта, не противоречит этому предположению. Этим допущением мы хотим объяснить явление огибания фотонами препятствия, размеры которого сравнимы с длиной волны фотонов. В результате огибания за препятствием образуется не темное, а светлое пятно – «пятно Пуассона». История этого термина довольно интересна. В 1818 году Френель доложил результаты своих исследований по дифракции света на заседании Французской Академии наук. Он исходил из предположения, что свет является волновым движением светоносного эфира, а не потоком корпускул, как это принималось в теории Ньютона. Присутствовавший на заседании Пуассон заметил, что из теории Френеля следует, что в случае, если на пути пучка света поставить небольших размеров круглый непрозрачный экран, то за экраном в центре тени должно наблюдаться светлое пятно. Эксперимент для проверки этого вывода поставил сам Френель совместно с Араго, и светлое пятно, «пятно Пуассона», было действительно обнаружено. Этот эксперимент решил судьбу корпускулярной теории Ньютона почти на сто лет – до известной работы Эйнштейна по фотоэффекту в 1905 году.

Аналогичное явление (эффект Рамзауэра–Таунсенда, 1921 г) наблюдается и при столкновении медленных электронов с атомами инертных газов – при энергии столкновения ≈ 1 эВ сечение взаимодействия близко к нулю, как будто атомы становятся прозрачными для электронов.

Ответ на вопрос, каким способом фотоны проходят сквозь щели в дифракционной решетке, можно получить в следующем эксперименте. Нужно изготовить дифракционную решетку, в которой ширина S_1 прозрачной щели намного меньше непрозрачного расстояния S_2 между щелями, рисунок 4.11.

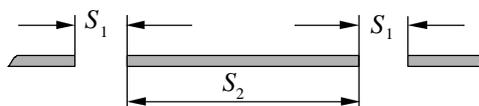


Рис. 4.11

Проходящий сквозь конкретную щель фотон не чувствует наличия соседней щели (или, в крайнем случае, это мало сказывается на его поведении) и дифрагирует в соответствии с (4.10). Если это верно, то дифракционная картина, полученная с помощью решетки, рис. 4.11, будет наблюдаться в соответствии с:

$$S_1 \sin \varphi = n \lambda \quad (4.11)$$

В противном случае – в соответствии с:

$$(S_1 + S_2) \sin \varphi = n \lambda \quad (4.12)$$

Нарезание дифракционной решетки, даже стандартной, – это совсем не простое дело, однако мы полагаем, что для тех, кто умеет это делать, это вполне осуществимая задача, если такие эксперименты уже не проводились, конечно.

Не выясненным у нас остается еще вопрос, почему разрешающая способность дифракционной решетки зависит не только от плотности нарезки штрихов, т.е. в конечном итоге от ширины щелей, но и от общего количества штрихов, – чем больше общее число штрихов, тем резче изображение линий в спектре. Чтобы ответить на этот вопрос, нужно сперва ответить на вопрос, почему интерференционная картина при прохождении фотонами одновременно открытых двух щелей принципиально отличается от суммарной картины для случая, когда сперва открыта только одна щель, а потом только вторая? Если фотон, как корпускула, проходит сквозь конкретную щель, то как он знает о состоянии второй щели, сквозь которую ему проходить не нужно?

По нашему убеждению, в литературе при сравнении результатов экспериментов по дифракции фотонов на одной и двух щелях упускают из виду, что в случае двух щелей фотоны имеют возможность не только проходить сквозь щели, но и огибать препятствие, которое образуется между щелями, создавая, таким образом, пятно Пуассона, что и приводит к существенному изменению дифракционной картины (отметим, что для предлагаемого образа фотона говорить об интерференции фотонов, по-видимому, не корректно). Фотоны, которые раньше участвовали в размывании контура линий, теперь вносят свой вклад в нулевой максимум. В нулевой максимум теперь попадают как те фотоны, которые прошли щели без изменения направления своего движения, так и те, которые обогнули препятствие. Чем больше щелей в решетке, тем заметнее этот эффект, поскольку по мере увеличения количества щелей относительный вклад этого механизма в форму линий уменьшается. Именно такая картина наблюдается в эксперименте.

Теперь рассмотрим вопрос получения изображения точечного объекта с помощью телескопического объектива. В этом случае мы должны ответить на вопрос: почему разрешающая способность оптических объективов зависит от их диаметра, если световой луч – это все-таки поток корпускул, хотя и с волновыми свойствами? Что мешает всем локализованным фотонам собраться в центре и образовать пятно, по крайней мере не больше поперечного размера фотона, т.е. его длины волны? Почему линза львиную долю фотонов загоняет в центр, а незначительную часть не может?

Наше предположение состоит в том, что если на линзу объектива падает поток параллельных фотонов (от звезды), то в точку, геометрические размеры которой порядка поперечного размера фотона, соберутся, в соответствии с законами

геометрической оптики, только фотоны, которые не контактировали с оправой линзы. Эту идею проверить совсем нетрудно. Если на объектив телескопа надеть маску с квадратным или треугольным отверстием, то изображения звезд должны получиться в виде квадратиков или треугольничков соответственно.

Количество фотонов, контактирующих с оправой, подсчитать нетрудно. Поперечное сечение фотона можно принять равным:

$$S_1 = \frac{\pi \lambda^2}{4} \quad (4.13)$$

поэтому число фотонов, контактирующих с оправой диаметром D , равно отношению площади кольца длиной $\pi \cdot D$ и шириной λ , $S_2 = \pi \cdot D \cdot \lambda$, к площади фотона:

$$n_1 = \frac{S_2}{S_1} = \frac{4 D}{\lambda} \quad (4.14)$$

Общее число фотонов, прошедших сквозь объектив, равно отношению площади объектива $S_3 = \pi \cdot D^2 / 4$ к площади фотона S_1 :

$$n_2 = \frac{S_3}{S_1} = \frac{D^2}{\lambda^2} \quad (4.15)$$

Степень k размазанности пятна можно определить как отношение количества фотонов, принимающих участие в размазывании пятна к общему количеству фотонов:

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4 \lambda}{D} \quad (4.16)$$

Таким образом, мы получили формулу, с точностью до коэффициента отражающую зависимость разрешающей способности объектива от его диаметра и длины волны фотона:

$$\alpha = \frac{1.22 \lambda}{D} \quad (4.17)$$

Мы видим, что k примерно в π раз больше, чем α , $k \approx \pi \cdot \alpha$. Очевидно, однако, что они и не должны совпадать. Это разные величины, хотя и отражают одну и ту же сущность: k предполагает, что все фотоны, которые контактировали с оправой, вносят свой вклад в размазанность изображения. На самом деле процесс взаимодействия с оправой носит вероятностный характер – одни фотоны отклонятся, другие – нет (вспомним, что при прохождении сквозь щель большинство фотонов уходят в нулевой максимум, т.е. без отклонения), одни поглощаются оправой, другие – нет, одни отклонятся в одну сторону, другие – в противоположную.

Сравнивая формулы (4.16) и (4.17), можно сказать, что и в этом случае мы имеем хорошее согласие предложенной модели фотона с экспериментом. Нужно подчеркнуть, что мы и не предлагаем модели фотона в полном смысле слова, а лишь ее очертания.

Завершая разговор об экспериментах с дифракцией фотонов (об интерференции фотонов мы пока ничего не можем сказать), следует подчеркнуть, что для всех этих опытов мы предлагаем вероятностное объяснение, но не в духе вероятностности Борна – Бора – Гейзенберга – Паули, а в духе философских взглядов на природу Ньютона и Лорентца, де Бройля и Планка, Эйнштейна и Шредингера, в духе статистического описания поведения большого числа микрообъектов в теории Максвелла, когда каждая конкретная молекула, в каждый конкретный момент времени имеет конкретные координаты, траекторию и импульс, когда каждое конкретное столкновение происходит в полном соответствии с законами сохранения и принципом причинности, но описать все это в полной мере нет абсолютно никакой возможности, но, к счастью, и никакой надобности.

4.2. Наглядная модель электрона

Попробуем теперь построить образ электрона как волнового объекта. Поскольку электрон может образоваться в паре с позитроном, нам необходимо рассмотреть некоторые аспекты этого процесса. Для наглядности сначала рассмотрим взаимодействие двух механических систем в виде пружинных гантелей, рис. 4.12. Объекты движутся навстречу друг другу со скоростью V и прицельным расстоянием ℓ . Непосредственно взаимодействуют только отдельные части объектов. Очевидно, что взаимодействие при этом заключается в обмене импульсами.

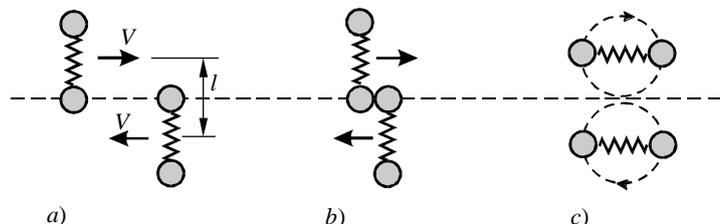


Рис. 4.12

После взаимодействия системы замедляют поступательное движение, ибо часть энергии поступательных движений переходит в энергии вращательных движений. Энергии систем в результате взаимодействия не изменились. Неразличимые до столкновения, системы остались неразличимыми и после столкновения, хотя и существенно изменили свое поведение. Этот процесс отдаленно напоминает столкновение двух фотонов с энергией 0.51 МэВ каждый.

Основными характеристиками фотонов суть заключенные в них энергия и импульс. Обе величины подчиняются законам сохранения. В результате взаимодействия исчезают неразличимые фотоны и появляются существенно отличающиеся электрон и позитрон. Это значит, что столкновение было неупругим, и в фотонах произошли качественные изменения.

Тот факт, что взаимодействие произошло, означает, что один фотон что-то отдал другому и что-то от него принял. Энергии, заключенные в электроне и позитроне, одинаковые, значит, взаимодействие скорее всего заключается в обмене импульсами, но импульсами не всего фотона как целого, а импульсами каких-то отдельных частей, каких-то компонент фотонов. Это не очень безумная идея, ибо если фотон обладает импульсом как корпускула, значит часть импульса содержится в электрической компоненте, а часть – в магнитной. Мы можем предположить, что в результате взаимодействия фотонов качественно изменилась электрическая компонента у одного фотона и магнитная – у второго. В результате на выходе мы получили существенно отличающиеся между собой объекты. Понятно, что здесь мы пытаемся хоть как-то нащупать понятие электрического заряда.

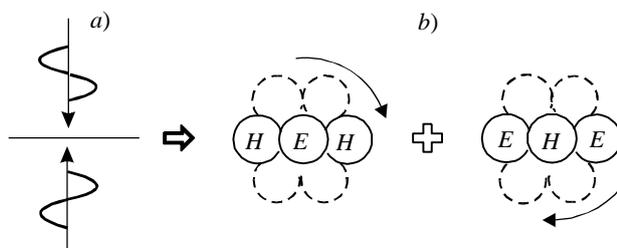


Рис. 4.13

Наглядно процесс столкновения фотонов можно представить себе следующим образом. Предположим, что в результате взаимодействия ситуация сложилась таким образом, что изменение (уменьшение) компоненты E вызывает появление поля H , но не

по одну сторону, как у фотона (как у ползущей гусеницы), а одновременно по обе стороны (как у гусеницы на скользкой поверхности). Исчезновение поля H в свою очередь вызывает появление поля E на прежнем месте, рис. 4.13. Если в следующем цикле колебаний поле H появляется не на прежнем месте, а рядом (на рисунке b показано пунктиром), получится, что вектор E колеблется на месте, а компонента H как бы вращается вокруг него. Мы видим, что таким образом можно наглядно объяснить, как сохранился импульс фотона и что представляет собой спин.

Аналогичная ситуация имеется и у второго фотона, только там, согласно предлагаемой идее, все наоборот – на месте колеблется вектор H , а вектор E вращается вокруг него. В итоге получается, что каждый фотон оказался самоплененным по всем трем координатам и волновой процесс без постороннего вмешательства не может вырваться за пределы занимаемого им пространства.

«Твердые» электрон и позитрон можно, таким образом, представить себе в виде пульсирующих комочков самоплененной электромагнитной энергии, в виде стоячих, но вращающихся электромагнитных волн. Быть может, лучше всего сюда подходит термин «электромагнитный солитон». Отметим, что для стоячих электромагнитных волн, в отличие от свободных, характерно несовпадение пучностей электрической и магнитной компонент.

Интересно отметить, что для обеспечения необходимого экспериментального значения спина, т.е. собственного механического момента, линейная скорость вращения внешних слоев «большого» (1 \AA) электрона (при допущении, что заряд электрона равномерно распределен по его объему) должна составлять $\sim 1/137$ скорости света, что вполне приемлемо, а для классического электрона ($r_e = e^2/m_e c^2 = 2.82 \cdot 10^{-13} \text{ см}$) эта скорость должна превышать скорость света в ~ 137 раз. Еще более интересно, что для протона эти прикидки не приводят ни к каким трудностям – для экспериментально определенного значения радиуса протона $r_p = 1.5 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ отношение скоростей $v/c = 0.39$, [2]).

По предлагаемой модели отличия между пульсирующими комочками самоплененной энергии заключаются лишь в том, какой вектор колеблется в центре, а какой – на периферии. Поскольку других различий между частицами по этой модели не видно, при этом одна из частиц представляет электрон, а другая – позитрон, приходим к выводу, что именно эта асимметрия, именно эта разница в способах пленения фотонов внешне каким-то образом проявляется как наличие у частиц электрического заряда. Если бы появилась физическая идея, из которой бы следовало, что такие объекты обязаны притягиваться друг к другу, она бы и объяснила нам сущность электрического заряда. Одна из таких идей, которая, однако, не претендует на многое, будет изложена несколько ниже. Она с точки зрения наглядности может оказаться весьма полезной, хотя и выглядит примитивной по сравнению, скажем, с такой высокоинтеллектуальной идеей как надбарьерное отражение.

До столкновения каждый фотон имел заключенную в себе энергию E . После столкновения эту же энергию имеет каждый из солитонов. Откуда в течение исчезающе малого времени появляется масса, если до столкновения ее не было? В рамках модели электромагнитного солитона ответ очевиден – масса ниоткуда не появилась, она была и до столкновения. В соответствии с предлагаемыми идеями масса – это мера самоплененной энергии, в конечном итоге – мера деформации или «натяжений» светоносного эфира, если он существует, конечно. Утверждение, что у фотона нет массы покоя, по этой модели можно трактовать по-иному. Можно сказать, что у фотона не потому нет массы покоя, что у него нет массы, а потому, что у него нет покоя. Хорошо известно, что в гравитационном поле фотоны двигаются как частицы, имеющие массу.

Нетрудно увидеть, что в ограниченности пространства, которое занимает электромагнитный солитон, и заключаются его корпускулярные свойства. Волновые же

свойства такого объекта определяются наличием в нем колебательного процесса. Это значит, что в высшей степени странная концепция корпускулярно-волнового дуализма получает свое очень простое объяснение в рамках классической физики. Если предположить, что фотоны представляют собой колебания светоносного эфира, то понятно, почему электромагнитные солитоны, а также макротела (как ансамбли солитонов) могут свободно перемещаться в неподвижном эфире, не ощущая никакого эфирного ветра. В этом случае вопрос об эфирном ветре, или эфирных завихрениях, получается просто некорректным.

У читателя, возможно, найдутся весомые аргументы против предложенной модели электрона или ее деталей, однако следует сказать, что мы и не претендуем на многое. Изложенное здесь следует рассматривать лишь как демонстрацию того, что наглядные представления возможны даже на уровне элементарных частиц. Вполне возможно, что настоящий электрон так отличается от предложенной модели, как кластерная модель от атома Демокрита, или еще больше. Исходя из предположения, что мир познаваем, можно выразить уверенность, что рано или поздно совершенные модели фотона, электрона и других частиц будут предложены, и предложения, возможно, будут простыми, наглядными и неожиданными. Американский физик Алекс Пановский, который первым обнаружил зернистое строение протона, с таким опозданием предсказанное нами, как-то заметил: природа, видимо, старается показать нам что-то очень простое, чего, однако, никто не видит, [19].

Мы допускаем, что вполне возможно, что в случае, если светоносный эфир существует, разница между электрической и магнитной компонентами примерно такая же, как и разница между напряжениями сжатия и сдвига, или как разница между модулем сжатия и модулем сдвига. Это значит, что фотоны, возможно, представляют собой не просто поперечные, а поперечно-продольные колебания эфира. Гусеница, ползущая по шершавой поверхности, совершает движения, напоминающие поперечно-продольные колебания.

Теперь мы можем возвратиться к проблеме физической сущности электрического взаимодействия, о которой речь шла выше, а также в конце третьей главы. Если мы согласны с тем, что фотоны – это колебания светоносного эфира (т.е. периодически сменяющие друг друга «разрежения» и «сгущения» эфира), и что твердые частицы – это также колебания эфира, только самоплененные, то ничего необычного не будет в том, если предположить, что один из вращающихся солитонов, изображенных на рисунке 4.13, создает эффект «сгущения» эфира, а второй – «разрежения».

Когда мы допускаем, что фотоны – это колебания эфира, то тем самым автоматически допускаем и наличие какой-то структуры эфира, наличие каких-то аналогов узлов кристаллической решетки твердого тела, а также «настоящего, истинного вакуума» между этими узлами. Быть может, электрон и позитрон правильнее изобразить не так, как на рисунке 1.13, а в виде некоторого «волнового вихря», который, в зависимости от направления своего вращения, может сгущать или разрежать эфир. Одиночная «волновая вертушка» в однородном эфире создаст симметричные деформации в плоскости вращения, поэтому без дополнительного импульса останется неподвижной в эфире, независимо от того, создает она деформации разрежения или сгущения, рис.4.14, *a*. Под лопастями вертушек, сгребаящих под себя узлы эфира, или расталкивающих эти узлы, быть может, лучше подразумевать гребень соответствующей волны.

Существенно иной будет ситуация, если волновой вихрь чувствует деформацию, созданную другим таким вихрем, рис.4.14, *b*). Как видно из рисунка, теперь асимметрия деформации эфира имеется для обоих солитонов. При $x > x_1$ сгущение узлов эфира создается не только солитоном *A*, но и солитоном *B*, который на своем месте создает разрежение и толкает узлы эфирной решетки в направлении к солитону A. И наоборот – разрежение при $x < x_3$ создается не только солитоном *B* – в этом ему помогает солитон

A. В результате такой взаимопомощи сгущение узлов при $x > x_3$ существенно больше, чем при $x < x_3$, а сгущение при $x > x_1$ существенно больше, чем при $x < x_1$. Это значит, что солитон **B** в своем вращении все время натывается на более плотные участки эфира, находящиеся правее его центра, отталкивается от них и вынужден, поэтому, смещаться влево. Аналогичная ситуация имеется у солитона **A**. Своей правой частью волновой вихрь «загребает» более плотные слои эфира, вследствие чего он движется вправо, в сторону солитона **B**. В этом и состоит с предлагаемой точки зрения суть притягивания разноименных электрических зарядов. Нетрудно показать, что два солитона **A** или два солитона **B** посредством предложенного механизма отталкиваются. Мы не можем указать, какой из волновых вихрей соответствует отрицательному электрическому заряду, а какой положительному, но угадать можем с вероятностью 50 %. Эффективность взаимодействия F двух вихрей прямо пропорционально зависит от способности q_1 и q_2 волновых вихрей к сгущению и разрежению эфира, а также от асимметрии сгущения эфира (в месте расположения вихрей). Последняя изменяется, по-видимому, обратно пропорционально квадрату расстояния l между вихрями.

Само собой понятно, что волновые вихри не следует представлять себе буквально такими, какими они изображены на рисунке – это только модели, иллюстрирующие влияние вихрей на состояние эфира. Отметим, что с предлагаемой точки зрения понятие энергии (а также массы) следует связать с мерой деформации эфира, с суммарной деформацией по всему объему. Понятие электрического поля при этом очевидным образом можно связать с наличием градиента плотности эфира, а понятие потенциала просто сопоставить с размером ячейки в «эфирной решетке». В этом смысле электрический потенциал является понятием абсолютным, причем нулевое его значение следует приписать недеформированным участкам эфира.

Если в каком-то объеме имеется равномерно сжатый или разреженный эфир, то это соответствует участку эквипотенциального поля, в котором волновой вихрь может покоиться, если его энергия движения равна нулю. Вполне возможно, что искривлению линий узлов эфира на рисунке 4.14 можно сопоставить идею Эйнштейна об искривлении пространства-времени, только не пустого пространства, а светоносного эфира, реальной субстанции.

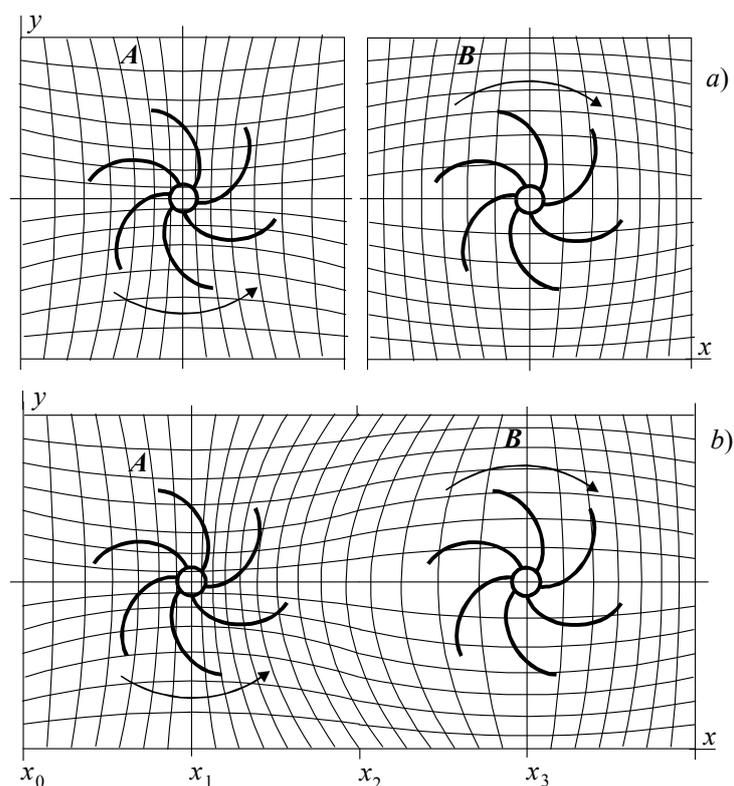


Рис. 4.14

Что касается магнитного поля, то его можно попробовать отождествить с деформациями сдвига, аналогично тем, которые наблюдаются при испытании твердых стержней на кручение, когда одна атомная плоскость пытается сдвинуться относительно другой. Эта идея ведет к образу силовых линий магнитного поля как некоторой реальности, а не математической абстракции, вводимой для удобства изображения. Если при деформациях сжатия могут наблюдаться сгущения и разрежения эфира, что мы пробуем сопоставить с электрическими зарядами разной полярности, то в деформациях сдвига этого сделать, по-видимому, нельзя, – т.е. магнитных зарядов не существует. Предложенные идеи относительно образов электрического и магнитного полей должны, естественно, отразиться и на образах электромагнитных полей, но мы не будем углубляться в эту тему, чтобы не изобретать велосипед.

Для нашего дальнейшего анализа мы воспользуемся лишь образом электрона как электромагнитного солитона, как пульсирующего и вращающегося комочка энергии, который не является точечным объектом в атомных масштабах. В связанном состоянии, когда его сжимают с двух сторон, такой объект может изменить свое состояние только скачкообразно, аналогично изменению количества узлов в стоячей волне, с поглощением или выделением при этом порций электромагнитной энергии. В этом суть квантовых скачков, квантовых переходов и вообще физики квантовых явлений, но теперь уже – как раздела классической физики.

Если попытаться кратко представить суть изложенного выше, то можно сказать, что в соответствии с предлагаемой точкой зрения весь материальный мир состоит из наполовину самоплененных электромагнитных волн как колебаний светоносного эфира (свет) и полностью самоплененных волн («твердые частицы»). Большинство же элементарных частиц – это лишь временные волновые образования. Ничто не ново под луной, не полностью нова и эта идея. Очень близкие идеи высказывал Шредингер после анализа экспериментов Дэвисона, Джермера и Томсона, подтвердивших идею де Бройля, и доказавших факт наличия у электронов волновых свойств: «Названные опыты показывают, что ширина фронта электрона должна равняться если не 2.5 м, как у света, то во всяком случае нескольким сотням атомных диаметров. И это для электрона, положение и путь которого внутри атома раньше считали возможным точно описывать исключительно с корпускулярной точки зрения.

Эти важные теоретические и экспериментальные результаты приводят к следующему выводу: вообще существуют только волны. Как свет, так и то, что раньше принималось за частицы, на самом деле являются волнами. Значит, вообще не существует частиц; и материю, которую раньше считали состоящей из частиц, мы должны представить себе как построенную из систем волн. Это в значительной степени способствовало бы достижению единства нашей картины мира», [27, с.17].

Интересно отметить, что не только Шредингер, но и Лорентц был очень близок к идее волновых корпускул: «Скорее мы вынуждены заключить, что каждая отдельная молекула прозрачна для эфира. Проще всего распространить это допущение и на атомы, а это ведет нас к мысли, что в конце концов атом является некоторой модификацией всепроникающего эфира, модификацией, которая может перемещаться в пространстве без того, чтобы сама среда сдвигалась с места. С этой точки зрения эфир представляется нам чем-то особенным, совершенно отличным от всех весомых видов материи», [28, с.16, 1902 г.]. Как видим, идея представить материю в виде «некоторой модификации эфира» почти сто лет висела в воздухе.

Образ электронов как волновых сгустков дает нам право использовать для описания их поведения уравнение Шредингера. Очевидно, что такой образ электрона противоречит вероятностной интерпретации смысла ψ -функции, и нам нужно искать новую интерпретацию. Соображения здесь могут быть следующие. Если масса – это величина самоплененной энергии, то и для ψ -функции логично искать физический смысл среди величин, связанных с энергией. Похоже, что проще всего допустить, что ψ -

функция имеет смысл напряженности электрической компоненты, а комплексно сопряженная с ней ψ^* представляет магнитную составляющую. В этом случае величина $(1/4\pi) \cdot \psi(x,y,z,t) \times \psi^*(x,y,z,t) \cdot dV$ определит количество волновой энергии, сосредоточенной в объеме dV . Интеграл от этой функции по всему объему определит количество энергии, сосредоточенной в частице, т.е. всю частицу:

$$\frac{1}{4\pi} \int_V \psi(x,y,z,t) \psi^*(x,y,z,t) dV = mC^2 \quad (4.18)$$

Очень близко к этой идее подходил Шредингер. Первоначально он предполагал, что ψ -функция представляет плотность электрического заряда, хотя и рассматривал вариант истолкования ее через энергию (этот вариант предлагал ему Лорентц): «Ни в коем случае я не считаю правильным говорить об энергии отдельных собственных колебаний, измеренной квадратом амплитуды. Последний, по моему мнению, не имеет ничего общего с энергией, а относится к заряду. Единственное свойство отдельных собственных колебаний, имеющее отношение к энергии, – это, я полагаю, их частота.», (письмо Лорентцу, 1926 г.), [14, с.311].

Несмотря на эту позицию Шредингера, Лорентц еще раз предлагал ему вариант интерпретации ψ -функции через энергию: «В Вашем письме Вы говорите, что некоторая квадратичная величина ψ может означать электрическую плотность (а не энергию), причем Вы представляете себе электрон «размазанным». Я хотел бы спросить: если мы одну из величин, встречающихся в формулах, отождествляем с плотностью зарядов, не было бы изящнее (и желательнее), если бы имели $\int \rho \cdot d\tau = \text{const}$? Это вряд ли может быть при $\rho = \psi \cdot \psi^*$. Не естественнее ли принять за ρ одно из значений, которые я в предыдущем обозначил через ε и назвал энергией? В самом деле, $\int \varepsilon \cdot d\tau = \text{const}$.

Второй вопрос: можете ли Вы различать положительный и отрицательный заряд?», [14, с.318].

Из приведенных выше слов Шредингера понятно, почему он, несмотря на предложения Лорентца, отклонил вариант интерпретации ψ -функции через энергию, но почему сам Лорентц не развил свою идею, не очень понятно. Вполне возможно, что это объясняется просто его возрастом – в то время ему было уже 73 года.

Рассмотрим теперь поведение самоплененной волны в потенциальной яме, когда частица с двух сторон зажата силовым полем. Допустим, что электрон находится в силовом поле, электрический потенциал которого изменяется по закону $\varphi = k \cdot x^2$, рис. 4.15. Для точечного заряда эта функция представляет также кривую взаимодействия, и вопрос, какой смысл для такого объекта имеет ψ -функция, некорректен, ибо волновое уравнение описывает поведение волны, а не отдельного объекта. Если вопрос все-таки посчитать корректным, то получим некорректный ответ – электрону придется приписать свойство иметь отрицательную энергию движения, или же, как это было показано в главе 1, электрон в поворотных точках кривой взаимодействия должен превращаться в античастицу всякий раз при пересечении кривой.

На рисунке 4.15 приведена зависимость $U(x)$ потенциальной энергии взаимодействия точечного электрона в силовом поле $\varphi = k \cdot x^2$. На эту кривую наложены кривые $|\psi(x)|^2$ распределения энергии в электромагнитном солитоне (электроне), зажатом в силовом поле $\varphi(x)$, для двух состояний – основного, $n = 0$, и одного из возбужденных, $n = 4$.

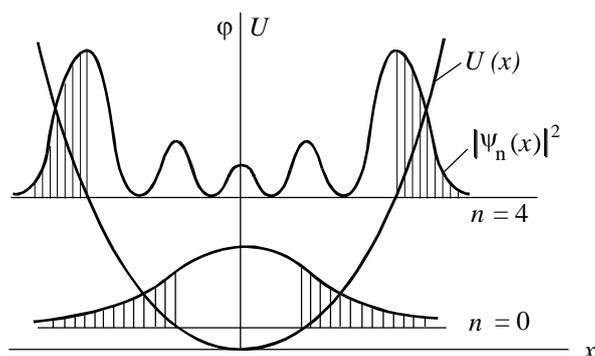


Рис. 4.15

Для вероятностной интерпретации заштрихованные области указывают на возможность электрону иметь отрицательные значения энергии движения. Если не выходить за рамки логики, то это самый серьезный аргумент против статистической интерпретации смысла волновой функции, ибо некорректность ответа указывает на некорректность постановки вопроса, в данном случае – интерпретации смысла ψ -функции. Если же волновая функция имеет смысл напряженностей электромагнитного поля, то $|\psi(x)|^2$ определит распределение энергии стоячей самозамкнутой волны в силовом поле $\varphi(x)$. Выход графика $|\psi(x)|^2$ за пределы кривой $U(x)$ не является некорректностью, ибо график $U(x)$ представляет кривую взаимодействия точечного объекта, а не волнового сгустка энергии.

В случае атома водорода левая стенка потенциальной ямы, обусловленная действием сил отталкивания, имеющих характер C/r^6 [5], идет почти вертикально и очень близко к оси ординат, но это не означает, что на такое расстояние сближаются центры протона и электрона. Дно потенциальной ямы в этом случае (на кривой, построенной для точечного объекта) находится очень глубоко (десятки кэВ), но это не означает, что волновой сгусток конечных размеров может упасть так глубоко. Если в качестве притягивающего центра выступает протон, то его силы притягивания хватает лишь для такого сжатия электрона, при котором он может упасть не глубже, чем на 13.6 эВ. Вполне возможно, что именно на этом уровне находится дно потенциальной ямы солитона, «сбросившего» совместно с протоном несколько фотонов с суммарной энергией 13.6 эВ, а уравнение Шредингера составлено таким образом, что понимает это автоматически.

Соотношение неопределенностей в представлении энергия – время с предлагаемыми образами электрона и фотона имеет не менее простой и наглядный смысл, чем в представлении координата – импульс. Представим себе, что у нас имеется электрон в потенциальной яме – электрон, зажатый в силовом поле и имеющий возможность перехода из состояния с более высокой энергией E_1 в более низкое состояние E_0 , т.е. мы имеем атом в возбужденном состоянии, где электрон зажат кулоновскими силами притягивания и силами отталкивания со стороны ядра. При переходе из состояния E_1 в E_0 электрон совместно с потенциальной ямой рождает фотон, основные характеристики которого определяются формулой Планка $E = h\nu$.

Поскольку фотон родился в процессе перехода квантовой системы из одного состояния в другое, мы можем утверждать (предполагая, что закон сохранения энергии в этом процессе выполняется), что энергия, заключенная в фотоне, равна разнице в энергиях E_1 и E_0 , т.е.

$$\Delta E = E_1 - E_0 = E \quad (4.19)$$

где ΔE – характеристика процесса перехода системы,
 E – характеристика фотона.

Можно считать очевидным, что величины времени перехода системы ($\Delta t = t_1 - t_0$) и времени рождения фотона должны совпадать, иначе получилось бы так, что фотон уже улетел, а система еще «переходит», или наоборот – система уже завершила переход, а фотон не улетает, покоится, ждет чего-то. Это значит, что времени Δt мы должны сопоставить какую-то характеристику фотона. Очевидно, что в случае, если фотон имеет длину λ , то величина $1/v = T$ совпадает по величине со временем перехода Δt .

$$\Delta t = \frac{1}{v} = T \quad (4.20)$$

где Δt – характеристика процесса перехода,
 T – характеристика фотона, период колебательного процесса.

Изложенное дает нам право записать формулу Планка следующим образом:

$$\Delta E \Delta t = h \quad (4.21)$$

Выражение (4.21) описывает процесс деления электромагнитного солитона в потенциальной яме, т.е. в связанном состоянии. В свободном состоянии он не хочет делиться, и полная его энергия (внутренняя плюс энергия движения) может быть какой угодно – в зависимости от энергии движения, но в соответствии с законом сохранения энергии.

Понятно, что выражение (4.21) – это не что иное, как «инобытие» формулы Планка, и никакой информации о процессе измерения параметров солитона оно не несет и нести не может. Это соотношение говорит лишь, что произведение времени перехода квантового объекта из состояния E_1 в состояние E_0 на разницу в энергиях состояний постоянно и равно h . Поскольку из экспериментов известно, что это касается не только электронов, но и всех квантовых объектов, можно предположить, что за записью (4.21) кроется какой-то более глубинный смысл, которого мы пока не понимаем, но который может нас вывести на понимание природы светоносного эфира или что-нибудь в этом роде.

Что касается поперечных размеров фотона, то предположение о том, что фотон, зажатый в щели ΔX , может получить в поперечном направлении дискретный ряд значений импульса $\Delta P_x = n \cdot \Delta P$, (где ΔP задается шириной щели ΔX и определяется из «соотношения определенности» (4.7), $\Delta P \cdot \Delta X = h$), требует, чтобы поперечные размеры фотона были несколько бóльшими, чем продольные, т.е. чем λ . В противном случае коротковолновые фотоны могли бы проходить щель, не чувствуя ее размера, контактируя только с одной стороной щели. Это предположение можно проверить в экспериментах по дифракции фотонов на двух щелях, если имеется возможность изменять и контролировать расстояние между щелями при неизменных размерах самих щелей. При определенном расстоянии между щелями (в процессе увеличения этого расстояния) наступит момент, когда фотоны с длиной волны λ уже не смогут обогнуть препятствие, и пятно Пуассона исчезнет. Это расстояние укажет на максимально возможные поперечные размеры фотона.

Можно также провести эксперименты с одной щелью, если имеется возможность изменять и контролировать ее ширину. В этом случае дифракционная картина, соответствующая дифракции на краю одной из сторон щели, начиная с некоторого размера (при уменьшении щели) будет зависеть от наличия второй стороны щели, что должно указать на то, что фотон с длиной волны λ уже не может пройти сквозь данную щель не задев обе ее стороны.

Нетрудно увидеть, что такой несимметричный образ фотона сразу приводит нас к выводу (по крайней мере так кажется на первый взгляд), что распространение возмущения в направлении, поперечном направлению распространения фотона, должно осуществляться со скоростью, бóльшей скорости распространения самого фотона, иначе

возмущение в светоносном эфире, распространившееся поперек на величину, бóльшую, чем λ , просто не успеет исчезнуть при распространении фотона как целого на величину λ . В некотором смысле этот вопрос может оказаться преждевременным, ибо корректно говорить на тему образа фотона можно лишь после проведения соответствующих экспериментов с источником фотонов, который гарантирует излучение одиночных фотонов. Вполне возможно, что некоторые вопросы при этом отпадут автоматически.

Поскольку формулы (4.7) и (4.21) мы не нагружали никакими другими смыслами, кроме приведенных выше, то от них и нельзя требовать бóльшего, например, ответить нам, может или не может объект иметь одновременно определенный импульс и координату, или с какой точностью мы можем измерить энергию объекта, если собираемся (или умеем) заниматься этим делом некоторый промежуток времени Δt . Для того, чтобы формулы (4.7) и (4.21) могли отвечать на подобные вопросы, их необходимо загрузить соответствующим смыслом, иначе получится аналогия с мясорубкой, в которую засыпали лебеду, но на выходе ожидают получить мясной фарш.

Если мы не допускаем возможности существования такой волшебной, «специфически квантовой» мясорубки, то не должны допускать и возможности существования волшебных математических формул, которые могут знать не только то, что в них заложено, но и о наших экспериментальных возможностях, и даже о профессиональной подготовке.

В заключение раздела отметим, что можно считать очевидным, что энергетическая интерпретация ψ -функции (в случае ее признания, конечно) возвращает физику квантовых явлений в лоно рациональной науки, превращает ее в один из разделов классической физики.

Эра вероятностной трактовки законов квантовой механики для Шредингера была и осталась до конца его дней чуждой и неприемлемой.

Полак Л.С. в книге [14].

5. ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СОЛИТОНОВ В ТВЕРДОМ ЭФИРЕ

Нам пока еще не ясно, какую роль новый эфир призван играть в картине мира будущего... мы не знаем, участвует ли он в построении элементарных электрических частиц, образующих материю.

А.Эйнштейн, 1920 г.

Предположение о существовании самоплененных электромагнитных волн допускает два варианта их существования – в полном вакууме, без какой-либо субстанции, когда электромагнитное поле представляет собой особый вид материи, а также в твердом, упругом эфире, в котором самозамкнутые волны представляют особые колебания этого эфира.

Если принять точку зрения, что «твердые» частицы – это самоплененные колебания светоносного эфира, то ответ на вопрос, каким образом макрообъекты, такие как звезды, планеты и обычные макротела, могут беспрепятственно двигаться сквозь твердый эфир, становится очевидным. С этой точки зрения вопросы, почему Земля в своем движении не увлекает за собой эфир, или не увеличивает плотность эфира передним своим фронтом, или почему не ощущается эфирный ветер и завихрения эфира, выглядят столь же наивными, как и вопросы: на чем покоится Земля, или почему вода из южного полушария не выливается (как будто на сферической поверхности северного полушария она еще как-то может удержаться).

Чтобы предотвратить появление предвзятого отношения к образу твердого эфира и некоторых следствий, вытекающих из этого образа, приведем относительно этой проблемы еще несколько высказываний Эйнштейна: «...Специальная теория относительности запрещает считать эфир состоящим из частиц, поведение которых во времени можно наблюдать, но гипотеза о существовании эфира не противоречит специальной теории относительности. Не следует только эфиру приписывать состояние движения...

С другой стороны, можно привести некоторый важный аргумент в пользу гипотезы об эфире. Отрицать эфир – это в конечном счете значит принимать, что пустое пространство не имеет никаких физических свойств. С таким воззрением не согласуются основные факты механики...

Ньютон мог бы с полным правом назвать свое абсолютное пространство «эфиром»...», [21, с.686].

В этой главе мы попытаемся выяснить, как согласуется образ твердых частиц как солитонов светоносного эфира (т.е. специфических электромагнитных колебаний эфира) с имеющимися результатами наблюдений, с известной нам физической картиной мира.

Первым делом логично допустить, что понятие энергии можно связать со степенью и мерой деформации светоносного эфира. Отсюда неизбежно следует вывод об увеличении массы солитона с увеличением его скорости движения относительно эфира, ибо масса по этим представлениям – это мера заключенной в волновой корпускуле энергии. Количественно связь между ними определяется соотношением $E=mC^2$, вывод которого не связан с теорией относительности,

$$dE = C^2 dm \quad (5.1)$$

Поскольку масса теперь изменяется, то выражение для силы имеет следующий вид:

$$F = \frac{d}{dt} (mV) \quad \text{или:} \quad F dt = m dV + V dm \quad (5.2)$$

С другой стороны, увеличение энергии на отрезке длины dS связано с действием на этом отрезке силы F . Полагая, что $dS = V dt$, имеем:

$$dE = F ds = F V dt \quad (5.3)$$

отсюда:

$$F dt = \frac{dE}{V} = \frac{C^2}{V} dm \quad (5.4)$$

Учитывая (5.2), имеем:

$$\frac{C^2}{V} dm = m dV + V dm \quad (5.5)$$

Это уравнение решается совсем легко:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C^2}{V} - V \right) dm &= m dV \\ (C^2 - V^2) dm &= mV dV \\ \frac{dm}{m} &= \frac{V dV}{C^2 - V^2} \\ \int \frac{dm}{m} &= -\frac{1}{2} \int \frac{d(C^2 - V^2)}{C^2 - V^2} \\ \ln m &= -\ln(C^2 - V^2) + C_0 \end{aligned}$$

Константу интегрирования C_0 можно представить как логарифм другой константы C'_0 , поэтому:

$$\text{Отсюда:} \quad \ln m = -\frac{1}{2} \ln(C^2 - V^2) + \ln C'_0$$

$$\ln m = \ln \frac{C'_0}{\sqrt{C^2 - V^2}}$$

$$m = \frac{C'_0}{\sqrt{C^2 - V^2}}$$

Полагая, что при $V = 0$ масса объекта равна m_0 , находим постоянную интегрирования C'_0 :

$$C'_0 = m_0 C \quad (5.6)$$

таким образом:

$$m = \frac{m_0}{G} \quad (5.7)$$

Здесь и далее в тексте:

$$G = \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} \quad (5.8)$$

В этой формуле мысленным взглядом можно увидеть следующий физический процесс: твердый эфир – деформация эфира – энергия, как мера деформации эфира – масса, как мера плененной энергии – увеличение массы, как увеличение деформации эфира. Очень важно, что она получена аналитически, без каких-либо упрощений. Напомним читателю, что введение соотношения (5.7) в уравнения механики Ньютона делает их инвариантными относительно преобразований Лорентца – форма уравнений не зависит от того, в какой системе координат (движущейся или покоящейся относительно эфира) их записать [46, с.268].

Теперь зададимся вопросом: сохранится ли форма волнового объекта, если он начинает двигаться относительно эфира? Предположим, что колебательный процесс распространяется от центра объекта к периферии и обратно. Очевидно, что если объект не движется, то возмущения достигнут краев одновременно во всех направлениях и одновременно возвратятся к центру. Что касается движущегося объекта, то первым делом мы должны ответить на вопрос: каким образом покоящийся волновой объект можно сдвинуть с места?

Очевидно, что для этого нужно создать какое-то силовое поле, действующее на объект. Похоже, что ничего другого, как создать деформацию эфира с одной стороны объекта, мы не придумаем. В этом случае волновой процесс в солитоне, натываясь на такую деформацию, отразится от нее, и волновая корпускула «поплывет» в твердом эфире в противоположном направлении. Понятно, что та часть объекта, которая контактирует с силовым полем, деформируется, и объект окажется немного «сплюснутым» с одной стороны, рис.5.1, *b*.

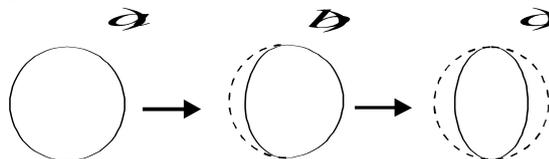


Рис. 5.1

В соответствии с предлагаемой моделью, движение солитона в твердом эфире определяется взаимодействием волнового процесса с указанной деформацией эфира, все время «наплывающей» на солитон. Поскольку созданная в солитоне деформация «плывет» вместе с солитоном, то энергия не рассеивается на сторону, т.е. выполняется закон инерции.

Что касается переднего фронта солитона, то он также должен деформироваться в направлении движения, и это объясняется ограниченностью скорости распространения сигнала в эфире, т.е. в конечном итоге просто наличием эфира. Таким образом, сферически симметричный солитон должен деформироваться в направлении движения, приобретая по мере увеличения скорости форму эллипсоида вращения. Очевидно, что наблюдатель, состоящий из волновых корпускул и движущийся относительно эфира, также сожмется в направлении движения, но никакого насилия над собой не прочувствует, поскольку эти деформации не вызывают напряженностей в смысле науки о сопротивлении материалов, т.е. напряженностей между атомами.

Один из двух принципов, на которых базируется специальная теория относительности, гласит: «Скорость S светового луча в пустоте постоянная, причем она не зависит от движения излучающего тела», [21,с.146]. На наш взгляд, для реализации этого принципа нет лучшей модели, чем модель твердого эфира, в котором световые лучи представляют колебания этого эфира, а сам излучатель и все твердые тела представляют собой ансамбли волновых образований этого же эфира. В этом предположении нет ничего особенного, – скорость распространения звука также постоянна и также не зависит от скорости движения свистка. Другое дело, умеет ли наблюдатель корректно измерять эту скорость.

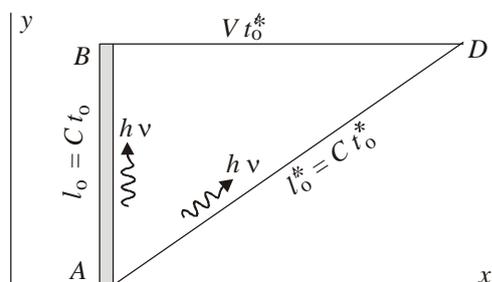


Рис. 5.2

Рассмотрим теперь вопрос распространения световых лучей, испущенных неподвижным в эфире излучателем и излучателем, движущимся в эфире равномерно и прямолинейно. Пусть у нас имеется два стержня длиной l_0 , состоящие из волновых корпускул. Один из стержней покоится, а второй движется относительно эфира со

скоростью V в направлении x , рис.5.2. Пусть в точке A имеется возбужденный атом на движущемся стержне. Испущенный атомом фотон в направлении y получает также импульс в направлении x , поэтому фотон в результате будет двигаться по линии AD . Если фотон – это специфический волновой объект в твердом эфире, то его скорость вдоль AD , очевидно, равна C , т.е. скорости света по меркам неподвижного эфира. В дальнейшем под C мы будем понимать скорость фотона в светоносном эфире, измеренную в системе координат, покоящейся в эфире.

Пусть в точке A одновременно с первым фотоном был испущен еще один фотон, но уже атомом, находящимся рядом, – на неподвижном в эфире стержне (на рисунке не показано). Со стороны мы можем наблюдать (для этого достаточно математики), как движутся передние фронты фотонов. Мы увидим, что фотон, испущенный неподвижным атомом, придет в точку B раньше (за время t_0), чем второй фотон в точку D – за время t_0^* . Впредь символы со звездочками у нас будут обозначать физические величины, измеренные для движущихся тел, но средствами покоящейся системы. В литературе эти величины не отличают от измеренных средствами движущейся системы, которые принято обозначать штрихованными символами, и это всегда приводит к путанице.

$$\text{Очевидно, что:} \quad l_0 = C t_0 \quad \text{и} \quad l_0^* = C t_0^* \quad (5.9)$$

где: l_0 – длина стержней в направлении y ,

t_0 – время движения фотона вдоль неподвижного стержня,

l_0^* – длина пути фотона, испущенного на движущемся стержне,

t_0^* – время, необходимое для преодоления фотоном расстояния l_0^* .

$$\text{Из (5.9) видно, что:} \quad \frac{l_0}{l_0^*} = \frac{t_0}{t_0^*} \quad (5.10)$$

Момент, когда мы записали, что $AD = l_0^* = C t_0^*$, очень важный. Этой записью мы ввели в геометрию свойство твердого эфира, поэтому не нужно удивляться, если впредь из обычной, казалось бы, геометрии мы сможем получить какой-нибудь важный для физики вывод. Что касается соотношения между t_0 и t_0^* , то его определить нетрудно:

$$(C t_0^*)^2 = (C t_0)^2 + (V t_0^*)^2 \quad (5.11)$$

$$\text{откуда:} \quad t_0^* = \frac{t_0}{G} \quad (5.12)$$

$$\text{где:} \quad G = \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} \quad (5.8)$$

Напомним, что t_0 и t_0^* – промежутки абсолютного времени протекания похожих, но все же разных процессов. Обе величины измерены одними и теми же часами в неподвижном эфире.

Наблюдая со стороны за обоими фотонами, мы видели, как распространение волнового процесса вдоль оси y в движущейся системе замедляется, и именно эфир является в данном случае физической причиной замедления. Если твердые частицы (электроны, протоны, нейтроны и их комбинации) – это самоплененные волны эфира, то этот вывод касается и колебательных процессов в этих частицах, и вообще любого физического процесса, поскольку любой физический процесс с предлагаемой точки зрения связан в конечном итоге с распространением деформаций или, как говорил Максвелл, натяжений эфира. Это значит, что любой движущийся хронометр, независимо от его конструкции, должен замедлять свой ход по мере увеличения скорости своего движения относительно эфира.

Мы обращаем здесь внимание читателя на то, что говорить о замедлении самого времени или изменении темпа протекания времени, как это часто можно встретить в литературе, некорректно, ибо, когда мы говорим о темпе протекания какого-либо процесса, то при этом в числителе мыслим этот процесс, а в знаменателе – время. Но что мы можем мыслить в знаменателе, когда говорим о темпе протекания «самого времени»?

Количественную меру замедления хода часов и темпа протекания физических процессов нетрудно определить с помощью хронометра в виде жесткого стержня с плоско-параллельными зеркалами на концах. Между зеркалами бегают луч света, извещая каждый раз о своем прибытии тиканием. Первым эти часы предложил, по-видимому, Лорентц. Часы теоретические, но ходят исправно. В первом варианте часы состояли из двух прогуливающихся приятелей, между которыми бегала собака.

Пусть в неподвижном эфире в точке $x = 0$ в момент $t = 0$ находились движущиеся, а также неподвижные часы Лорентца, рисунок 5.3. Попробуем измерить с помощью этих часов длительность какого-нибудь процесса (например, время перемещения вдоль движущихся часов материальной точки). Пусть время движения этой точки от одного конца до другого составляет Δt по меркам неподвижной системы K . Луч света в часах K пройдет за это время расстояние $C\Delta t$, поэтому число их колебаний можно определить как:

$$n = \frac{C \Delta t}{l_0} \quad (5.13)$$

где l_0 – длина стержней в подвижных и неподвижных часах.

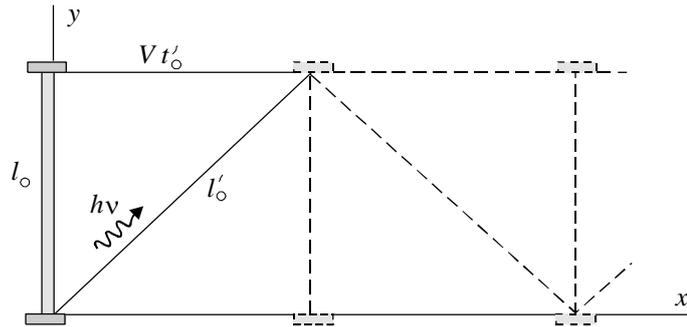


Рис. 5.3

В связи с постоянством скорости света, луч в часах K' (в литературе принято символом K обозначать неподвижную, и символом K' – движущуюся системы координат), пройдет то же самое расстояние в неподвижном эфире, но по ломанной, зигзагообразной линии, хотя наблюдателю в K' будет казаться, что луч распространяется вдоль его часов, поэтому число его колебаний окажется меньшим:

$$n^* = \frac{C \Delta t}{l_0^*} = \frac{n l_0}{l_0^*} \quad (5.14)$$

где l_0^* – длина пути в неподвижном эфире, пройденного фотоном, испущенным в движущихся часах, за один ход.

Учитывая (5.10) и (5.12) имеем:

$$n^* = n \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} = n G \quad (5.15)$$

Таким образом, гипотеза твердого эфира автоматически приводит к выводу о замедлении темпа хода движущихся относительно эфира часов. Соотношение между n и n^* – это соотношение между результатами измерений времени одного и того же процесса, длительностью Δt , но средствами разных систем координат. Мы должны

обратить внимание читателя на некоторое сходство формул (5.12) и (5.15). Формула (5.12) связывает результаты измерений неподвижными часами разных физических процессов, формула (5.15) – результаты измерений одного и того же процесса, но разными часами – подвижными и неподвижными. Можно также сказать, что n^* и n – это показания t' и t движущихся и покоящихся электромагнитных часов, поэтому вместо (5.15) мы запишем:

$$t' = t G \quad (5.16)$$

Эта формула содержит в себе как идею существования абсолютного времени, поскольку именно через абсолютное время ведется перерасчет из одной системы координат в другую, так и идею светоносного эфира, которая содержится в конструкции световых часов Лорентца. Физический смысл, входящих в (5.16) величин следующий: если в системе K от момента $t=0$ измерено t времени, то за этот же промежуток в системе K' измерено t' времени.

Если движущиеся часы помещены в начало системы K' ($x'=0$), то в системе K выполняется $x = Vt$, поэтому:

$$t' = t G = \frac{t G^2}{G} = \frac{t(1 - \frac{V^2}{C^2})}{G} = \frac{t - \frac{V}{C^2} Vt}{G} = \frac{t - \frac{V}{C^2} x}{G} \quad (5.17)$$

По внешнему виду (5.17) совпадает с преобразованием Лорентца для времени, однако в преобразовании Лорентца величина x должна иметь смысл координаты произвольной точки в системе K , а в (5.17) она имеет смысл координаты точки, в которую за время t прибудет начало движущейся системы. В связи с этим при малых скоростях движения K' и произвольном значении x преобразование (5.17) не перейдет в преобразование времени Галилея $t'=t$.

Для вывода преобразований пространственных координат предположим, что у нас имеется два длинных твердых стержня, имеющих длину l_0 в неподвижном эфире. Стержни состоят, естественно, из волновых корпускул. На обоих стержнях нанесены метки с интервалом $1m$. Величина l_0 , таким образом, означает количество промежутков между метками. Один из стержней оставляем неподвижным в эфире, т.е. в системе K , другой же, с привязанной к нему системой K' , разгоняем до скорости V . Измерим время прохождения стержня l' мимо точки $x=0$ в системе K (точка в неподвижном эфире) по часам в системе K и в системе K' , рис.5.4. Это значит, что мы измеряем *разными часами время протекания одного и того же процесса*.

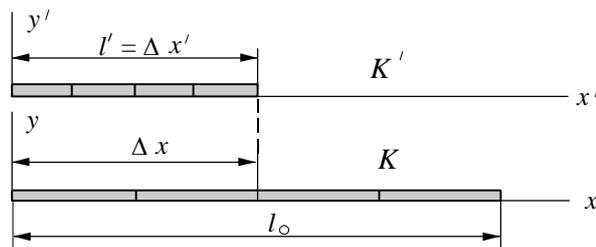


Рис. 5.4

Как это сделать практически, мы толком не знаем (похоже, что это просто невозможно), но математика этого от нас и не требует. Мы немного повторимся: математике нет дела до того, умеем мы корректно выполнять измерения или нет, но связь между корректно полученными результатами нам уже известна:

$$\Delta t' = \Delta t G \quad (5.18)$$

Что касается линейных размеров стержней, то мы уже видели, что тела, состоящие из волновых корпускул, уменьшают свои размеры в направлении движения. Нужно только выяснить, в какой пропорции.

Наблюдатель в системе K определит, что за время Δt правый конец стержня l' передвинется на расстояние Δx , меньшее, чем l_0 . Тот же самый процесс исследует наблюдатель в K' . Его часы покажут результат $\Delta t'$, а своей линейкой он намеряет величину $\Delta x'$, численно равную l_0 . Очевидно, что число тиканий его часов меньше, чем у K , ($\Delta t' < \Delta t$), но зато число делений больше ($\Delta x' > \Delta x$), ибо его линейка тоже состоит из эфирных солитонов, и тоже сократилась, рис.5.4.

Мы видим, что увеличение $\Delta x'$ (по сравнению с Δx), обусловленное сокращением стержня в направлении движения, сопровождается уменьшением результата измерений $\Delta t'$. Похоже, что тут мы имеем дело с каким-то законом сохранения, типа закона сохранения энергии при использовании рычага – выигрывая в одном, мы проигрываем в другом. Логично предположить, поэтому, что для процесса измерения движения в твердом эфире макротела, состоящего из эфирных солитонов, выполняется соотношение:

$$\Delta x \Delta t = \Delta x' \Delta t' \quad (5.19)$$

Это соотношение означает, что свойства эфира и макротел, как ансамблей эфирных солитонов, таковы, что с какой бы скоростью ни двигался объект, произведение величины преодоленного им пространства на время преодоления этого пространства не зависит от того, в какой системе выполнены измерения. По-другому можно сказать, что произведение результатов измерения (*пространство × время*) инвариантно.

Из (5.18) и (5.19) мы имеем:

$$\Delta x' = \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta t'} = \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta t G} = \frac{\Delta x}{G} \quad (5.20)$$

Из (5.20), а также из рисунка 5.4 видно, что численно $\Delta x' > \Delta x$, хотя физически они совпадают, – занимают одно и то же место в твердом эфире. Формула (5.20) определяет, сколько делений (Δx) в неподвижной системе (по меркам неподвижной системы) занимает в направлении движения подвижный стержень, имевший в неподвижной системе l_0 делений. Последнее число не зависит от состояния движения стержня. В наших экспериментах $l' = \Delta x'$ и численно равно l_0 , рис.5.4.

Интересно отметить, что в случае, если K и K' попытаются определить скорость стержня, исходя из своих результатов измерений, то они получат разные значения скорости движения стержня.

$$\text{Наблюдатель } K: \quad V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.21)$$

Наблюдатель K' , учитывая (5.18) и (5.20) :

$$V' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{\Delta x}{\Delta t G^2} = \frac{V}{G^2} \quad (5.21')$$

$$\text{Или:} \quad V' = \frac{V}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5.22)$$

Как видим, результаты получаются разные, поэтому можно сделать вывод о возможности фиксации факта своего движения относительно эфира в изолированной системе координат. В наших экспериментах мы полагали, что оба наблюдателя умеют корректно измерять время движения стержня, т.е. что на концах стержня имеются синхронизированные по фазе часы. На самом деле это непростая проблема, и, быть может, принципиально неразрешимая, по крайней мере, с помощью электромагнитных сигналов. К этой проблеме мы будем вынуждены еще возвратиться.

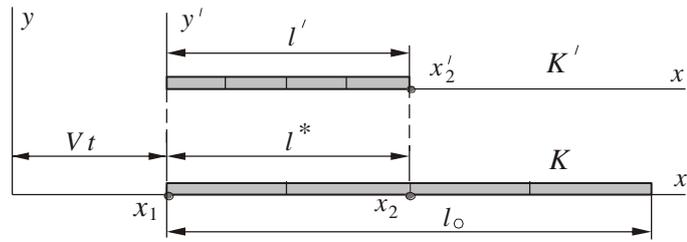


Рис. 5.5

Рассмотрим теперь общий случай, когда покоящийся стержень l_0 не находится в начале системы координат K . Проанализируем момент, когда левые концы стержней совпадают, точка x_1 , рис.5.5. Из рисунка видно, что:

$$x_2 = Vt + l^* \quad (5.23)$$

и что l^* и l' занимают одно и то же место в эфире, однако l' вместо l^* подставить в формулу (5.23) нельзя (l^* – длина движущегося стержня, измеренная средствами K). Эта формула записана для системы K и имеет свои единицы измерения длины и времени – метры и секунды в неподвижном эфире. В системе K' имеются свои метры и свои секунды, можно сказать: «движущиеся метры» и «движущиеся секунды». Слова созвучные, но отличаются довольно существенно. Между ними такая же разница, как между автором и соавтором, или между человеком авторствующим и человеком соавторствующим.

Величину l' все же можно ввести в формулу (5.23), но ее нужно перевести в покоящиеся единицы в соответствии с формулой (5.20):

$$l^* = l' G = x'_2 G$$

поэтому:

$$x_2 = Vt + x'_2 G$$

откуда:

$$x'_2 = \frac{x_2 - Vt}{G}$$

Поскольку x_2 – произвольная координата, мы можем опустить индекс

$$x' = \frac{x - Vt}{G} \quad (5.24)$$

Мы получили преобразование пространственной координаты, совпадающее с преобразованием Лорентца, и в основе его вывода лежит образ твердых тел как ансамблей солитонов светоносного эфира.

В отличие от безэфирной относительности, наблюдатель K в неподвижном эфире увидит движущийся стержень и наблюдателя K' укороченными (если успеет увидеть, конечно). В твердом эфире это не кажущееся явление – укорочение реальное, рисунок 5.5, хотя укороченный никакого насилия над собой не ощущает. С другой стороны, с точки зрения K' стержень K является удлиненным, а наблюдатель K – «утолщенным».

По сути дела, относительность сейчас состоит всего лишь в том, что если наблюдатели никогда друг друга не видели, то при встрече каждый из них может считать себя неподвижным и не изменившимся. Если же наблюдатели проводят совместный эксперимент, и до этой встречи производили сверку масштабов, но с теорией относительности они не ознакомлены, то при наличии переговорного устройства между ними мог бы состояться примерно следующий диалог:

K – Ты чего пересел на укороченный стержень? Мы так не договаривались!

K' – Я? Это ты пересел на длинный стержень, и мы действительно так не договаривались. Кстати, как ты успел так быстро растолстеть?

K – Я каким был, таким и остался, это ты – Кощей Бессмертный... и т.д.

Если наблюдатели знакомы с предлагаемой теорией относительности, то диалог, конечно, будет иным.

Очень близкой точки зрения на специальную теорию относительности придерживался Р.Фейнман: «Предусмотрев соответствующие изменения абсолютно всех процессов, происходящих в космическом корабле, удалось сочинить теорию, в соответствии с которой скорость света в космическом корабле равна 300 000 космических километров в космическую секунду, а здесь, на Земле – 300 000 моих километров в мою секунду. Это очень хитрая теория, и достойно удивления уже то, что построить такую теорию вообще оказалось возможным», [6, с.94].

Подводя промежуточный итог, можно отметить, что твердоэфирная относительность свободна от парадоксов, а парадокс, как известно – это или неверный вывод из теории, или крест на самой теории, если не выходить за рамки логики, конечно. С точки зрения эфира не существует парадокса близнецов – моложе окажется тот брат-близнец, который двигался относительно эфира, а его часы отстанут. Такой же точки зрения на этот парадокс придерживался и Эйнштейн в своих ранних работах: «...Если бы мы поместили живой организм в некий футляр и заставили бы всю эту систему совершить такое же движение вперед и обратно, как описанные выше часы, то можно было бы достичь того, что этот организм после возвращения в исходный пункт из своего сколь угодно далекого путешествия изменился бы сколь угодно мало, в то время как подобные ему организмы, оставленные в пункте отправления в состоянии покоя, давно бы уже уступили место новым поколениям. Для движущегося организма длительное время путешествия будет лишь мгновением, если движение будет происходить со скоростью, близкой к скорости света. Это – неизбежное следствие наших исходных принципов, к которым нас приводит опыт», [21, с.185].

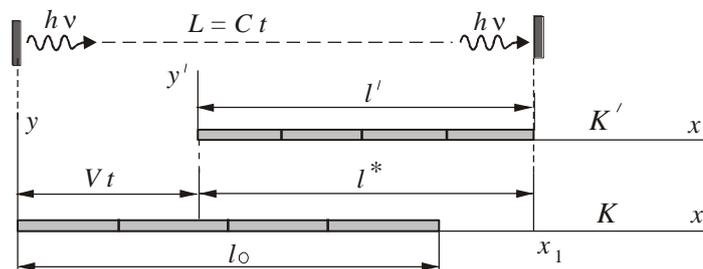


Рис. 5.6

С предлагаемой точки зрения устраняются и другие известные парадоксы безэфирной относительности: парадокс шеста и сарая, парадокс эйнштейновского поезда, парадокс войны в космосе и т.д., смотри, например, [31].

Рассмотрим теперь вопрос экспериментальной возможности обнаружить движение лабораторной системы координат относительно неподвижного эфира при условии, что наблюдатель не выходит при этом за пределы лаборатории.

Можно считать практически очевидным, что экспериментировать нужно со световыми пучками и жесткими стержнями. Первым делом нужно попробовать измерить скорость света с помощью лабораторных хронометров и лабораторных линеек, в различных направлениях, естественно. Если известно, что это делается в неподвижной системе, то ответ очевиден:

$$C = l_0 / t_0 \quad (5.25)$$

где: l_0 – длина стержня,
 t_0 – показания часов.

Пусть теперь стержень движется, и ориентирован вдоль направления движения, рисунок 5.6. Пусть фотон испущен в момент, когда левый конец движущегося стержня

находился в точке $x = 0$ (в точке $x' = 0$ левый конец стержня находится все время). Второй конец движущегося стержня фотон догонит в точке x_1 и по измерениям наблюдателя K пройдет расстояние:

$$L = Vt + l^* \quad (5.26)$$

где l^* – проекция l' на ось x .

Несмотря на то, что l^* и l' физически совпадают, это разные числа. Численно l' равно l_0 (длине покоящегося стержня по измерениям K , количеству меток), но это разные единицы измерения. Учитывая сказанное, мы можем записать:

$$l^* = l'G = l_0 G \quad (5.27)$$

здесь l_0 – длина покоящегося стержня в системе K . Если t – время движения фотона от $x = 0$ до $x = x_1$, то:

$$L = l^* + Vt = l_0 G + Vt \quad (5.28)$$

С другой стороны:

$$L = Ct \quad (5.29)$$

поэтому:

$$t = \frac{l_0 G}{C - V} \quad (5.30)$$

Это значит, что наблюдатель K определит скорость фотона как следующую величину:

$$C^* = \frac{L}{t} = \frac{l_0 G + V \frac{l_0 G}{C - V}}{\frac{l_0 G}{C + V}} = C \quad (5.31)$$

При движении в обратную сторону $V = -V$, поэтому:

$$t_2 = \frac{l_0 G}{C + V} \quad (5.32)$$

и наблюдатель K снова получит число C .

Этот результат означает всего лишь тот факт, что наблюдателю K безразлично, каким способом определять скорость фотона: измеряя время прохождения фотоном пути вдоль неподвижного стержня, или вдоль подвижного, *если только он умеет правильно это делать*.

А какие результаты получит при этом K' ? По его мнению фотон прошел путь l' (численно равный l_0). Его часы при этом покажут меньшее время, и мы знаем какое:

$$t' = tG \quad (5.33)$$

поэтому результат его измерений и расчетов должен быть следующий:

$$C^* = \frac{l'}{t'} = \frac{l_0}{t'} = \frac{C^2}{C + V} \quad (5.34)$$

Если теперь K' направит луч против движения стержня, то он получит следующий результат:

$$C^* = \frac{l'}{t_2} = \frac{l_0}{t_2} = \frac{C^2}{C - V} \quad (5.35)$$

Таким образом, если K' умеет корректно синхронизировать двое часов на концах движущегося стержня, то он может зафиксировать факт существования эфира и факт своего движения относительно эфира, не выходя за пределы лаборатории. Более того, нетрудно показать, что он может также определить, в какую сторону и с какой скоростью он движется.

Наблюдатель K' может обойти проблему синхронизации часов и поступить несколько по-иному. Вместо двух хронометров он может воспользоваться одним плюс зеркало на втором конце стержня. В этом случае проблема синхронизации отпадает, и эксперимент существенно упрощается.

Определим результат, который он получит в этом случае. Очевидно, что вместо L он подставит в формулу $2l'$, численно равное $2l_0$, а измеренное время будет равным $(t + t_2)G$, поэтому:

$$C^* = \frac{2l_0}{(t+t_2)G} = \frac{2l_0}{\frac{l_0 G^2}{C-V} + \frac{l_0 G^2}{C+V}} = C \quad (5.36)$$

Как видно, совсем небольшое усовершенствование методики эксперимента привело к тому, что в эксперименте стало возможным определение истинной скорости движения фотона, но вместе с проблемой синхронизации часов ускользнула и возможность установления факта движения относительно эфира. Не выходя за пределы лаборатории, K' так и не сможет узнать, в каких единицах он измеряет скорость движения (вернее будет сказать, скорость распространения) фотонов, – в движущихся или не движущихся. Причина такого результата состоит в том, что количество меток на стержне (измеряемая длина) не зависит от движения стержня, а укорочение его компенсируется замедлением хода часов. Для нас со стороны очевидно, что K' получит результаты в движущихся метрах за движущуюся секунду, но численно результат будет такой же, как и у K .

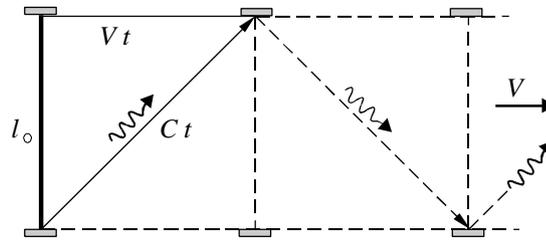


Рис. 5.7

Из рисунка видно, что: $C^2 t^2 = l_0^2 + V^2 t^2$ (5.37)

отсюда: $t = \frac{l_0}{CG}$ (5.38)

Наблюдатель K определит скорость фотона следующим образом:

$$C^* = \frac{L}{t} = \frac{Ct}{t} = C \quad (5.39)$$

Наблюдатель K' вместо L подставит l_0 , вместо t его часы измерят:

$$t' = tG \quad (5.40)$$

Учитывая (5.38), результат его измерений окажется следующим:

$$C^* = \frac{L'}{t'} = \frac{l_0}{tG} = C \quad (5.41)$$

Мы видим, что если K и K' умеют корректно синхронизировать часы (мы это молчаливо предполагали), то в рассматриваемом случае оба наблюдателя получают истинное значение C даже для случая распространения сигнала только в одну сторону, хотя и каждый в своих единицах. В этом и есть суть «постоянства скорости света» в разных системах. Оно определяется укорочением движущейся «физической координаты» и замедлением физических процессов, в том числе и хода часов.

По сути дела, в твердоэфирной относительности нужно говорить не о постоянстве скорости распространения света в различных системах координат, а о постоянстве результатов измерения скорости света.

Получив результаты (5.39) и (5.41) мы вплотную подошли к вопросу сопоставления результатов опытов Майкельсона с концепцией неподвижного, упругого эфира. На наш взгляд, полученных результатов вполне достаточно для того, чтобы прийти к выводу,

что с точки зрения неподвижного эфира интерференционная картина в опытах Майкельсона не должна зависеть от ориентации прибора. Если же этот вывод не является достаточно убедительным, можно определить время, необходимое для движения луча вперед и обратно, а также перпендикулярно движению прибора и обратно. Очевидно, что в случае, если эти времена для равновеликих в неподвижном эфире плеч прибора совпадут, можно будет уверенно говорить о том, что результаты опытов Майкельсона скорее подтверждают концепцию светового эфира и образ твердых тел как эфирных солитонов, нежели противоречат им. Вывод, по сути дела, довольно неожиданный, поскольку именно этот эксперимент изгнал с физики эфир.

Пусть у нас имеется интерферометр, в котором луч света источника S расщепляется на полупрозрачном зеркале на два взаимно перпендикулярных пучка, рисунок 5.8. Пусть известно, что в неподвижном эфире $L_1 = L_2$. Если прибор движется относительно эфира со скоростью V , то плечо L_1 окажется укороченным относительно L_2 в соответствии с:

$$L_1 = L_2 G \quad (5.42)$$

Время движения луча от полупрозрачного зеркала до M_1 и обратно определяется выражениями (5.30) и (5.32):

$$t_3 = t + t_2 = \frac{2l_0}{C} \cdot \frac{1}{G} \quad (5.43)$$

Время движения луча до M_2 и обратно определяется из (5.38):

$$t_4 = 2t = \frac{2l_0}{C} \cdot \frac{1}{G} \quad (5.44)$$

Из равенства (5.43) и (5.44) мы видим, что абсолютное время распространения электромагнитного сигнала «туда и обратно» в интерферометре Майкельсона в случае равенства плеч прибора не зависит от направления его распространения, если интерферометр состоит из эфирных солитонов. Можно также показать, что разница между t_3 и t_4 не зависит от поворота прибора, а также от соотношения плеч. Это означает, что с помощью интерференционных опытов нельзя определить, движется лаборатория относительно эфира или нет.

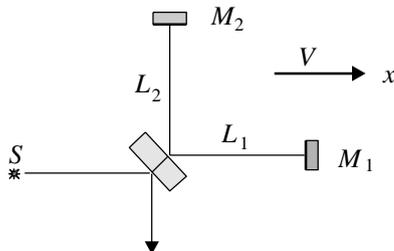


Рис. 5.8

Большинство из изложенного до настоящего момента в этой главе для подготовленного читателя было излишним, ибо одного предположения, что волновая корпускула сокращает свои размеры в направлении движения в соответствии с (5.42), вполне достаточно для того, чтобы прийти к выводу, к которому мы теперь пришли, но книга рассчитана не только на подготовленного читателя.

Гипотеза о том, что все тела, в том числе и интерферометр, сокращают свои размеры в направлении движения, впервые была высказана Фитцджеральдом и развита Лорентцем для объяснения результатов экспериментов Майкельсона. Основным аргументом, выдвигавшийся Эйнштейном против этой гипотезы, заключался в том, что гипотеза применяется для объяснения всего лишь одного опыта, т.е. является гипотезой *ad hoc*.

С позиции эфирных солитонов сокращение физических тел в направлении движения выглядит совершенно естественным, а поиски эфирного ветра, или увеличения

плотности эфира на переднем крае макротел, или завихрений эфира, – наоборот, выглядят уже несколько забавными. В свое время против предположения о том, что Земля вращается вокруг своей оси, сильным аргументом считали выводы, что в этом случае на поверхности Земли, особенно на экваторе, дул бы ветер ураганной силы, а камни, брошенные с высокой башни, падали бы наклонно, и т.д.

Опыты Майкельсона являются относительно несложными по замыслу и реализации, но влияние их на развитие физики было огромным. Лучше всего это можно проиллюстрировать словами Эйнштейна: «Успехи теории Лорентца были настолько большими, что физики не задумываясь отказались бы от принципа относительности, если бы не был получен один важный экспериментальный результат, а именно, результат опыта Майкельсона», [21, с.414]. В связи с этим возникает вопрос: а как быть в таком случае с принципом относительности?

Первым делом мы должны сказать, что принцип относительности неоднократно подвергался ревизии как со стороны Эйнштейна, так и со стороны других ученых, таких как Шредингер или Фейнман. Вот мнение Шредингера по этому поводу: «Ядро идеи относительности в самом общем выражении следующее: даже на совершенно ясно и точно поставленный вопрос (например, движется ли Земля относительно носителя света – эфира – или нет), ответом на который может быть либо «да», либо «нет», нужно все-таки ответить: «Смотря по тому, как подходить!» Конечно, в таком расплывчатом ответе еще не содержится какое-либо достижение мысли. Дело заключается в том, чтобы это «смотря по тому» действительно так построить, чтобы примирить друг с другом полные противоречий опыты и идеи...

Если вопрос, который мы поставили, не позволяет дать ясный ответ, т.е., собственно говоря, не имеет смысла, тогда научи нас, пожалуйста, как нужно ставить вопрос, чтобы он имел смысл! Какие вещи, независимые от твоего неприятного «смотря по тому», например в теории относительности, независимы от системы отсчета?», [27, с.38-40].

После столь жестко поставленного Шредингером вопроса кажется, что компромисса здесь быть не может – правым может оказаться либо Эйнштейн, либо Шредингер. А нельзя ли найти такое объяснение, чтобы правыми оказались и Эйнштейн, и Шредингер? Нам кажется, что компромиссное решение можно найти, если допустить, что светонесущий эфир на самом деле существует, но зафиксировать факт равномерного и прямолинейного движения относительно него в изолированной лаборатории все-таки невозможно. Мы вынуждены, таким образом, возвратиться к вопросу синхронизации хронометров на концах стержня, поскольку из формул (5.34) и (5.35) следует, что зафиксировать факт равномерного и прямолинейного движения лаборатории относительно эфира возможно в случае, если часы на концах стержня синхронизированы по фазе (синхронизация по темпу хода как будто не представляет проблемы).

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Пусть у нас имеется длинный жесткий стержень, состоящий из электромагнитных солитонов. Пусть этот стержень движется относительно эфира со скоростью V по меркам системы K . Пусть также длина движущегося (укороченного) стержня равна $2l_0$ по меркам K (такое обозначение мы выбираем для удобства изложения). Понятно, что если стержень остановить, его длина по меркам K увеличится и станет равной $2l_0/G$. Такие же результаты измерений длины (такое же число, только в движущихся метрах) получает в своих измерениях и наблюдатель K' .

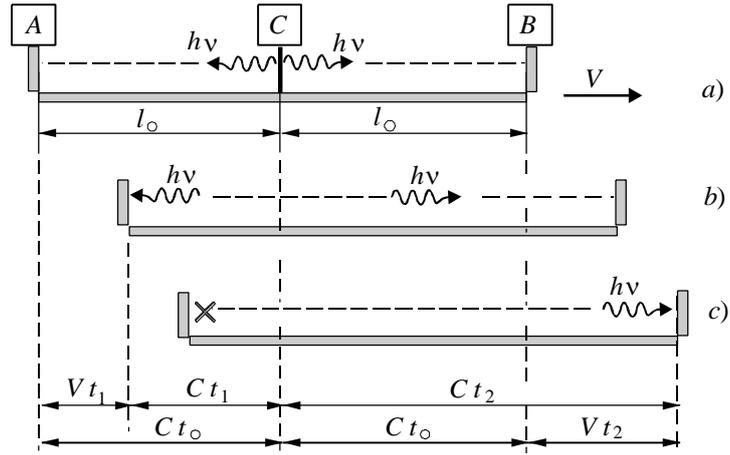


Рис. 5.9. Синхронизация часов на движущемся относительно эфира стержне длиной $2l_0$.
a – момент излучения синхроимпульсов часами *C*, *b* – момент прибытия синхроимпульса к часам *A*,
c – момент прибытия синхроимпульса к часам *B*.

В центре стержня и на его концах имеется по хронометру, рисунок 5.9. Центральный хронометр *C* имеет возможность посылать электромагнитные сигналы в направлениях к хронометрам *A* и *B*, и таким образом синхронизировать их. В отсутствие движения стержня электромагнитный сигнал доходит до обоих хронометров одновременно, за время t_0 – на такую величину хронометры *A* и *B* будут отставать от центрального.

При движении со скоростью V в направлении x хронометр *A* получит сигнал быстрее, за время t_1 , а хронометр *B* – позже, за время t_2 , поскольку сигналу теперь приходится догонять хронометр *B*. Это значит, что хронометр *A* будет отставать от центрального на время t_1 (на такую величину показания его стрелок будут меньшими), а хронометр *B* отстанет на величину t_2 . Эти величины с учетом рисунка 5.9 определить нетрудно:

$$Vt_1 + Ct_1 = Ct_0 \quad (5.45)$$

откуда:
$$t_1 = \frac{Ct_0}{C+V} \quad (5.46)$$

а также:
$$Ct_2 = Ct_0 + Vt_2 \quad (5.47)$$

откуда:
$$t_2 = \frac{Ct_0}{C-V} \quad (5.48)$$

Разница в показаниях хронометров составляет:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{Ct_0}{C^2 - V^2} 2V \quad (5.49)$$

Теперь определим, какие результаты измерений скорости движения фотонов получит наблюдатель K' , имея в своем распоряжении хронометры, синхронизированные подобным образом. Пусть с конца *A* движущегося стержня посылают сигнал, который догонит часы *B* через время t по меркам K , т.е. по абсолютному времени, рисунок 5.10.

Величину t определить нетрудно:

$$2Ct_0 + Vt = Ct \quad (5.50)$$

откуда:
$$t = \frac{2Ct_0}{C-V} \quad (5.51)$$

Через эту величину мы можем определить, какие результаты измерения времени t' получит K' :

$$t' = tG = \frac{2Ct_0}{C-V} G \quad (5.52)$$

Измеряя своей линейкой длину стержня K' получит величину в $1/G$ раз большую, чем K :

$$L' = 2l_0 / G \quad (\text{движущихся метров}) \quad (5.53)$$

(По нашему условию l_0 – это проекция половины движущегося стержня на неподвижную координату, в неподвижных единицах).

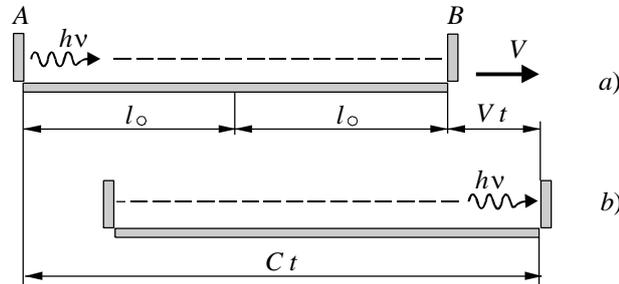


Рис. 5.10

Если бы его часы были корректно синхронизированы, то он бы получил следующий результат для скорости фотонов (учитывая, что $C = l_0 / t_0$):

$$C^* = \frac{L'}{t'} = \frac{2l_0 / G}{\frac{2Ct_0}{C-V} G} = \frac{C^2}{C-V} \quad (5.54)$$

Этот результат мы уже получали ранее, (5.34) и (5.35), только для другого обозначения длины стержня. Это значит, что K' мог бы зафиксировать факт своего движения относительно эфира, не выходя за пределы лаборатории. Если же он синхронизирует свои часы с помощью электромагнитных сигналов, то в его измерениях времени будет присутствовать ошибка Δt , которую он зафиксирует как $\Delta t' = \Delta t G$, поскольку его центральный хронометр тикает в G раз медленнее, чем покоящийся. В связи с этим его результаты измерения времени распространения сигнала от A к B окажутся следующими:

$$t' = (t - \Delta t) G \quad (5.55)$$

(Поправку Δt нужно вычитать, поскольку часы B опаздывают на бóльшую величину, чем часы A).

В итоге, с учетом (5.49) и (5.51), результат измерения скорости фотонов будет равным:

$$C^* = \frac{L'}{t'} = \frac{2l_0 / G}{(t - \Delta t) G} = C \quad (5.56)$$

Таким образом, мы видим, что синхронизация хронометров с помощью электромагнитных сигналов приводит в итоге к тому, что исследователь не сможет зарегистрировать факт своего движения относительно эфира. Мы не можем, конечно, заявлять на основании этого результата, что синхронизировать корректно часы на концах движущегося стержня принципиально невозможно, хотя похоже, что это именно так. Мы только можем сказать, что сегодня никто не может гарантировать, что уже завтра не будет открыто какое-то новое свойство эфира, о котором мы сегодня даже не подозреваем, и тогда необходимая нам синхронизация окажется возможной. Нельзя отрицать также, что в будущем не отыщется и какой-нибудь обходной путь, например, синхронизация с помощью внешнего источника синхроимпульсов – пульсара или другого астрономического объекта.

Что касается правоты Эйнштейна, то ее можно увидеть в невозможности фиксации в изолированной системе факта равномерного и прямолинейного движения относительно эфира. Такой точки зрения на эту проблему придерживался Р.Фейнман: «Нельзя

утверждать, что всякое движение относительно. Не в этом содержание принципа относительности. Он утверждает лишь, что нельзя обнаружить изнутри равномерное и прямолинейное (относительно туманностей) движение», [6, с.101].

С точки зрения твердоэфирной относительности скорость фотона относительно движущейся системы может быть как больше скорости света в неподвижном эфире, так и меньше – в зависимости от направления взаимного движения. Тот факт, что движущийся наблюдатель не может этого определить, поскольку его система координат не математическая, а физическая, подвергающаяся соответствующему укорочению, – это совсем другое дело. Очевидно, что скорость сближения фотона с покоящейся в эфире точкой равна C . Если к этой же точке с противоположной стороны стремится второй фотон, то очевидно также, что скорость сближения двух таких фотонов равна $2C$. Большой скорости сближения в твердом эфире не может существовать. Здесь нет никакого противоречия, ибо скорость сближения – это совсем не то, что скорость распространения сигнала или скорость движения тела.

Если к каждому из стремящихся навстречу друг другу фотонов привязать по математической системе координат, цена деления которых не зависит от состояния движения, то скорость распространения одного из фотонов с точки зрения второго окажется равной $2C$. Если же к каждому из фотонов привязать по физической координате, то вопрос измерения скорости одного из них по меркам второго окажется бессмысленным (бессмысленным с точки зрения фотонов), ибо они в таком случае просто «не видят» друг друга, вплоть до момента встречи. Какой бы длинный физический стержень мы ни использовали в качестве координаты, при скорости C его длина все равно окажется равной нулю по меркам абсолютной системы, т.е. по меркам системы, с точки зрения которой мы ведем анализ. Очевидно, что если смешивать данные из разных систем (физических и математических), то мы всегда будем нарываться на парадоксы, свидетельствующие о наличии ошибки в анализе ситуации или в самой теории.

Что касается вопроса, поставленного Шредингером, то его правоту можно увидеть в том, что светоносный эфир на самом деле существует, но движение относительно него можно обнаружить лишь по внешним признакам (по реперным точкам, не принадлежащим движущейся системе). Мы имеем здесь в виду открытую Д.Брадлеем так называемую астрономическую аберрацию.

В 1725 году Д.Брадлей обнаружил, что положение всех звезд на небесной сфере немного изменяется с периодом в один год. Характерной чертой этого явления есть то, что форма фигуры, которую описывает положение звезды, зависит от ее положения на небе, но не зависит от расстояния до нее. Если идущий от звезды свет падает перпендикулярно к плоскости земной орбиты, то звезда описывает на небе кружочек, видимый с Земли под углом в 41 секунду дуги. Если свет от звезды поступает в телескоп в плоскости земной орбиты, звезда наблюдается колеблющейся с периодом в один год вдоль отрезка, который с Земли видно под тем же углом в 41 секунду. Все звезды с промежуточным положением кажутся движущимися по эллипсам, которые ближе к экватору вырождаются в линии, а ближе к полюсу – в кружочки, но большие оси эллипсов при этом по прежнему видны под тем же углом в 41 секунду дуги. Точность измерения положений звезд даже по тем временам не оставляла никаких сомнений в существовании этого эффекта.

Теоретическое объяснение этого явления было предложено уже самим Брадлеем, и оно было совсем простым: годовая аберрация звезд (отклонения в положении) возникает благодаря геометрическому сложению скорости фотонов и телескопа. В результате этого фотон, вошедший в объектив телескопа по его центру, за время движения в телескопе немного сдвигается от оптической оси в сторону, противоположную движению Земли, рисунок 5.11.

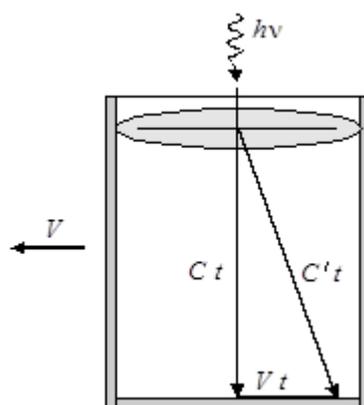


Рис. 5.11

Поскольку фотон в момент вхождения в телескоп двигался вдоль его оптической оси, его скорость в этом направлении равна C . Вследствие движения телескопа траектория фотона в движущейся системе совпадает с гипотенузой треугольника, в котором один катет пропорционален скорости C , а второй – скорости V движения телескопа (взаимодействием фотона со стеклом объектива и воздухом в трубе пренебрегаем). Это означает, что скорость C' как скорость движения фотона относительно трубы телескопа (скорость сближения фотона с той точкой фокальной плоскости, с которой он столкнется в конце своего пути внутри телескопа) может быть как больше C , так и меньше C – в зависимости от направления движения прибора. Поскольку абберация наблюдается для всех звезд, можно с достаточной уверенностью сказать, что в этом случае мы наблюдаем движение Земли относительно эфира.

Не меньший интерес представляют и эксперименты, в которых можно зарегистрировать не движение относительно эфира, а сам факт его существования. В качестве хорошего прибора для этой цели можно было бы использовать часы Лорентца. Поскольку это нереально, можно воспользоваться некоторыми микрообъектами с подходящим временем жизни. Если мы представляем себе микрообъект в виде эфирного солитона, то под временем его жизни можно понимать количество его внутренних колебаний от момента рождения и до распада. За единицу времени в этом случае можно выбрать период колебания («пульсации») микрообъекта.

Наиболее подходящими для этой цели объектами можно считать мюоны (μ -мезоны). Мюон по некоторым параметрам напоминает электрон – электрические заряды и спины совпадают по величине. В отличие от стабильного электрона мюон имеет массу, в 207 раз превышающую массу электрона, и время жизни всего $2.2 \cdot 10^{-6}$ секунды. Эти частицы приходят к нам с космическими лучами, но могут быть созданы и в лаборатории при столкновении высокоэнергетичных протонов с ядрами, а также в некоторых других реакциях.

Из экспериментов известно, что движущиеся мюоны живут существенно дольше, чем покоящиеся относительно Земли. Нетрудно подсчитать, что даже если скорость мюона близка к скорости света ($\sim 3 \cdot 10^8$ м/с), за время $2.2 \cdot 10^{-6}$ секунды он может пролететь не более 660 метров, в то время как мюоны регистрируются и на расстояниях больше 10 км от их места рождения. В лаборатории мюон, благодаря наличию у него заряда, можно заставить бегать по кругу с большой скоростью, близкой к световой. При этом оказывается, что время его жизни возрастает в соответствии с формулой:

$$t = t_0 / G \quad (5.57)$$

где: $t_0 = 2.2 \cdot 10^{-6}$ сек.

Если мы допустим, что число тиканий мюонных часов от рождения и до распада мюона не зависит от того, движется мюон или нет относительно эфира (у нас нет достаточно сильных аргументов в пользу этого предположения), то с точки зрения

неподвижного мюона движущийся так медленно колеблется, что может при указанной скорости прожить примерно на два порядка больше (по меркам абсолютного времени, конечно), чем неподвижный, и преодолеть при этом не 660 метров, а 10 километров.

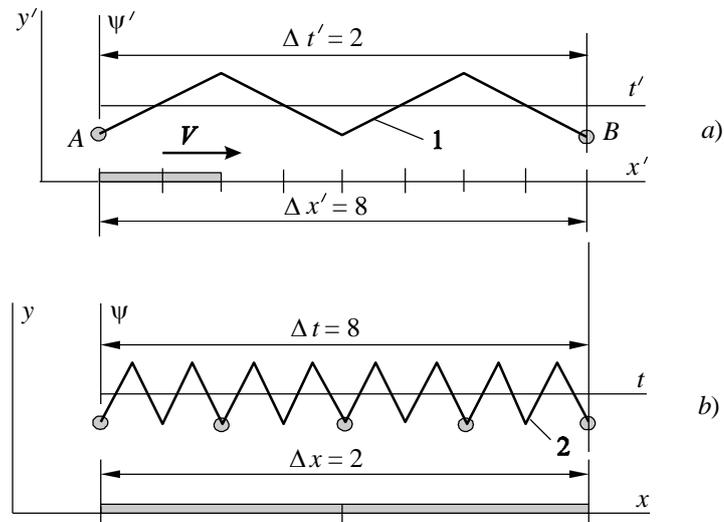


Рис. 5.12

Если бы можно было реализовать процесс, в котором гибель одного мюона сопровождается рождением другого, то за время жизни одного движущегося с околосветовой скоростью мюона в неподвижной системе успеет родиться и погибнуть около сотни мюонов. Наглядно эта ситуация изображена на рисунке 5.12. Здесь $\Delta t'$ – время жизни мюона по меркам K' (количество тиканий мюонных часов, для наглядности – два тиканья), $\Delta x'$ – количество абсолютного пространства, которое преодолел мюон за время $\Delta t'$, но в движущихся, укороченных метрах, Δx и Δt – количество абсолютного пространства, преодоленного движущимся мюоном, и величина абсолютного времени его жизни соответственно. Очевидно, что по мнению K' , движущийся мюон также совершил всего два колебания, но очень медленных по сравнению с покоящимися мюонами.

В нашем примере $\Delta t' = 2$ (2 колебания), $\Delta x' = 8$ (8 укороченных метров), $\Delta t = 8$ (8 колебаний покоящихся часов – успели родиться и погибнуть 4 мюона), и $\Delta x = 2$ (2 обычных метра). Таким образом:

$$\Delta x \Delta t = \Delta x' \Delta t' \quad (5.19)$$

Мы уже видели, что это соотношение лежит в основе преобразований Лорентца. Это значит, что в них содержится понятие абсолютного времени и абсолютного пространства. Если задуматься над этим вопросом, то можно прийти к выводу, что без использования понятий абсолютного пространства и абсолютного времени вообще нельзя построить никаких преобразований. Для этого нужна своя, какая-то особенная «математика».

Поскольку движущийся мюон родился в точке A и погиб в точке B абсолютного пространства, кривую 1 на рисунке 5.12 в координатах (x, y) можно трактовать как график движения фронта луча движущихся часов Лорентца (если мюон представить себе в виде маленьких часов Лорентца). В координатах (t', ψ') эта же кривая представляет график зависимости амплитуды колебаний от «местного времени». В координатах (x', y') кривая 1 вырождается в вертикальную линию, поскольку мюон движется вместе с K' .

Кривая 2 представляет график зависимости амплитуды колебаний неподвижных мюонов от абсолютного времени. В координатах (x, y) она вырождается в вертикальную

линию, поскольку мюоны «колеблются» на месте. Как видно, они представляют разные процессы. Кривая 2 представляет всего лишь результат измерения продолжительности процесса, который представляет кривая 1. Кружочками обозначены места «передачи эстафеты» мюонами – моменты гибели одного мюона и рождения второго. Из сопоставления кривых видно также, что с точки зрения K' физические процессы в K ускорены, но с точки зрения K в движущейся системе течение физических процессов замедлено.

В качестве примера рассмотрим вопрос сложения скоростей в движущейся системе, – случай, когда движется не только система, но и исследуемый объект. Пусть в системе K движется некий объект, который периодически излучает короткие световые вспышки. Допустим, что первую вспышку объект излучил в момент, когда он находился в начале координат ($x = 0$), а вторую – через некоторое время Δt , когда он находился на расстоянии Δx от начала координат, рис.5.13. Очевидно, что скорость объекта мы можем определить как $U = \Delta x / \Delta t$.

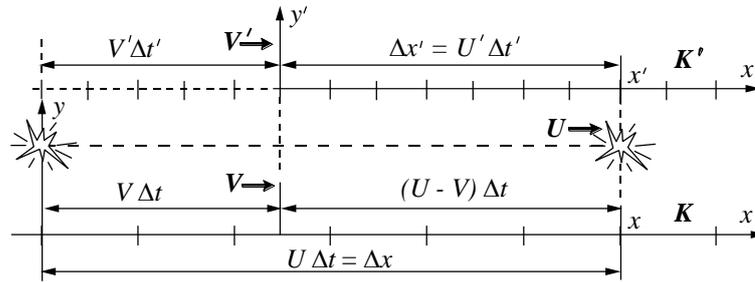


Рис. 5.13

Этот же процесс исследует наблюдатель K' , движущийся относительно K со скоростью V по меркам неподвижной системы. Для простоты анализа допускаем, что $U > V$, т.е. в системе K' объект движется также в сторону увеличения значений x' . Пусть первая вспышка произошла в момент, когда начала координат K и K' совпадали. В этот момент были запущены часы в K и K' . Поскольку часы в K' тикают медленнее, время между вспышками наблюдатель K' зафиксирует как $\Delta t' = \Delta t \cdot G$. Скорость объекта наблюдатель K' определит как $U' = \Delta x' / \Delta t'$. За время Δt начало координат K' сместится на величину $V \cdot \Delta t$. Это значит, что $\Delta x'$ (расстояние, на которое, по мнению K' , переместился объект за время между вспышками, или количество его меток, мимо которых переместился исследуемый объект) занимает в абсолютном пространстве величину $(U - V)\Delta t$ (все величины, входящие в это выражение, известны нам по условию задачи). Отсюда мы можем определить (пользуясь преобразованиями Лорентца), какое количество меток (на укороченной линейке) между вспышками зафиксирует K' , см. рисунок 5.13:

$$\Delta x' = \frac{(U - V) \Delta t}{G} \quad (5.58)$$

и какова будет по его измерениям скорость U' объекта, т.е. каким должен быть закон сложения скоростей:

$$U' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{U - V}{G^2} = \frac{U - V}{1 - \frac{V^2}{C^2}} \quad (5.59)$$

Легко видеть, что при малых значениях V формула (5.59) переходит в преобразования Галилея: $U' = U - V$. При $U = V$ скорость U' равна нулю, т.е. объект покоится в системе K' . При $U < V$ скорость U' имеет отрицательный знак, как это и должно быть, но при $V \rightarrow C$ скорость $U' \rightarrow -\infty$. Последнее находится в хорошем согласии со здравым смыслом (метки на оси координат становятся все гуще, а часы

тикают все медленнее), но в резком расхождении с общепринятым на сегодняшний день мнением, которое базируется на выражении для сложения скоростей в безэфирной относительности:

$$U' = \frac{U - V}{1 - \frac{UV}{C^2}} \quad (5.60)$$

Как видно из (5.59), в твердоэфирной относительности коэффициент (знаменатель), отвечающий за отличие полученного преобразования от преобразования Галилея (преобразования Галилея представляет числитель), зависит только от скорости V движения системы K' относительно K (в неподвижных единицах), но не зависит от скорости самого объекта. Напротив, в формуле (5.60) в знаменателе имеется еще и зависимость от скорости объекта U . Это означает, что в случае, если K' захочет одновременно измерять скорость двух объектов (почему бы нет?), свои результаты он должен пересчитывать в систему K по двум несколько разным шкалам. Похоже, что здесь мы имеем еще один парадокс безэфирной относительности.

Из рисунка 5.13 видно, что за время Δt начало системы K' сместится на расстояние $V\Delta t$. С точки зрения K' это же расстояние равно $V'\Delta t'$. Поскольку обе величины занимают одно и то же количество твердого эфира, количество меток на оси x' связано с количеством меток на оси x преобразованиями Лорентца, поэтому мы можем записать:

$$V'\Delta t' = \frac{V\Delta t}{G} \quad (5.61)$$

Учитывая, что $\Delta t' = \Delta t \cdot G$, имеем:

$$V' = \frac{V}{G^2} = \frac{V}{1 - \frac{V^2}{C^2}} \quad (5.62)$$

Это значит, что с точки зрения K' он движется относительно K (или K движется относительно него) быстрее, чем это следует из измерений K .

Результатом (5.62) можно воспользоваться для получения обратных преобразований Лорентца (для пересчета результатов измерений, полученных в штрихованной системе, в нештрихованную). В соответствии с прямыми преобразованиями:

$$x' = \frac{x - Vt}{G} \quad (5.24)$$

Напомним, что в этой формуле x соответствует положению фиксированной в эфире точки (например, узла эфирной структуры), поэтому $x \neq x(t)$, а x' соответствует положению этой же точки, но в движущейся системе координат, т.е. $x' = x'(t)$. Учитывая, что $t' = tG$, а также (5.62) имеем:

$$\begin{aligned} x'G &= x - Vt \\ x'G &= x - V'G^2 \frac{t'}{G} \\ x &= (x' + V't')G \end{aligned} \quad (5.63)$$

Как видим, обратные преобразования существенно отличаются от прямых. Если в первом случае G находится в знаменателе, то во втором – в числителе.

Наблюдатель K' может самостоятельно измерить x' , t' , V' , U' и даже C (не подозревая при этом, что он движется относительно эфира), но воспользоваться формулой (5.63) он не может – величина G (в которую входит величина V) в этой формуле заимствована из системы K . Необходимые измерения может выполнить K и сообщить своему напарнику значение величины G , и тогда K' может воспользоваться выражением (5.63). Это обстоятельство является одним из проявлений неравноправности систем координат в твердом эфире.

В безэфирной относительности обратные преобразования имеют почти такой же вид, как и прямые:

$$x = \frac{x' + V't'}{G} \quad (5.64)$$

Из рисунка 5.13 видно, что величины $V \cdot \Delta t$ и $V' \cdot \Delta t'$ имеют ясный физический смысл. Мы полагаем, что приверженцам безэфирной относительности ответить на вопрос: почему в знаменателе (5.60) имеется зависимость от U , будет очень трудно, если это вообще возможно.

Что касается твердоэфирной относительности, то мы видим, что она получается свободной от парадоксов, что в ней вместе с принципом относительности (в изолированной системе координат нельзя зафиксировать факт своего движения относительно эфира) уживается образ абсолютного пространства и времени.

Следует отметить, что во время создания безэфирной относительности были хорошо известны и результаты другого, так называемого ротационного интерференционного опыта. Идея эксперимента принадлежит Майкельсону, но осуществил ее Саньяк в 1911 году. В интерферометре Саньяка луч света, как и в обычном интерферометре, расщеплялся светоделительной пластиной на два пучка. Оба пучка с помощью четырех зеркал направлялись по замкнутым ломаным линиям во взаимно противоположных направлениях, возвращались к пластине, взаимодействовали, и вместе направлялись в зрительную трубу. Интерференционная картина фиксировалась на фотопластинке. Прибор монтировался на вращающемся диске. Во избежание деформаций под действием центробежной силы и искажений хода лучей завихрениями воздуха, скорость вращения интерферометра ограничивалась величиной 180 оборотов в минуту.

Во время вращения интерферометра одни и те же зеркала набегают на фотоны одного пучка и убегают от фотонов второго пучка. Если эфир существует, то скорость сближения фотонов с зеркалами в разных пучках будет разной: в одном случае – больше скорости света, в другом – меньше. Вследствие этого время движения фотонов в разных пучках окажется разным, и интерференционная картина должна изменяться в зависимости от скорости и направления вращения. Именно такая картина наблюдалась в опытах Саньяка. Вот как эти результаты прокомментировал С.И.Вавилов: «Если бы явление Саньяка было открыто раньше, чем выяснились нулевые результаты опытов второго порядка, оно, конечно, рассматривалось бы как блестящее экспериментальное доказательство наличия эфира. Но в ситуации, создавшейся в теоретической физике после опытов Майкельсона, опыт Саньяка разъяснил не многое», [32, с.57].

Существование эфира подтверждается еще одним интерференционным опытом, который осуществили Майкельсон и Гэль в 1925 году. В этом грандиозном эксперименте прибор был выполнен из металлических труб диаметром 30 см, из которых выкачивался воздух до давления 1 см ртутного столба. Размеры прибора составляли 613 м × 340 м. Интерференционные полосы наблюдались как при атмосферном давлении в трубах, так и в вакууме, но в вакууме картина была существенно более четкой и устойчивой. Результаты эксперимента хорошо согласуются с предположением о вращении Земли в неподвижном эфире [32], т.е. вращательное движение относительно твердого эфира можно обнаружить даже в изолированной лаборатории.

В заключение разговора о твердоэфирной относительности отметим еще раз, что неподвижный, упругий эфир был нужен не только Лорентцу или Шредингеру, но и Эйнштейну. Он не только не отвергал окончательно идею существования «бедного больного из теоретической физики, у которого изменчивая судьба, и нельзя сказать, что он уже мертв», но и неоднократно высказывался в пользу существования особого рода субстанции, в которой он нуждался как в фундаменте общей теории относительности: «Резюмируя, можно сказать, что общая теория относительности наделяет пространство

физическими свойствами; таким образом, в этом смысле эфир существует», [21, с.689, 1920 г].

Подводя итог по главе, мы можем сказать, что из гипотезы существования твердого эфира и твердых тел как ансамблей эфирных волновых корпускул не следует ни одного вывода, который приводил бы к противоречиям, т.е. к парадоксам. С другой стороны, гипотеза одинаково хорошо объясняет все известные эксперименты, в которых может проявить себя упругий эфир, в том числе и те, которые ранее считались противоречащими друг другу:

1. Астрономическую аберрацию.

2. Эксперименты с применением обычного интерферометра Майкельсона.

3. Эксперименты с интерферометром Саньяка.

4. Эксперименты с интерферометром Майкельсона – Гэля (по сути дела, это то же самое, что и пункт 3).

5. Эксперименты по исследованию времени жизни движущихся с различными скоростями μ -мезонов.

6. Эксперименты по исследованию темпа хода движущихся атомных часов (Зарегистрирована зависимость темпа хода часов от скорости их движения (Hafele J.C., Keating R.E., Science, 1972, July.), [15]).

По сути дела, предложенный вариант теории относительности не нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке, поскольку практически все мыслимые эксперименты уже проведены. В качестве возможного варианта можно еще предложить попробовать провести измерение скорости света между двумя точками в противоположных направлениях за один проход светового сигнала, используя для этого синхронизацию часов с помощью постороннего источника стабильного сигнала, например, пульсара или другого космического объекта, если такие имеются.

Можно считать очевидным, что источник синхроимпульсов должен находиться на линии, перпендикулярной к той, которая соединяет точки наблюдения, и которая проходит через ее середину. Лучше всего было бы, если бы источник синхроимпульсов находился на небесном полюсе, а пункты наблюдения – на земном экваторе. Нетрудно подсчитать, что при расстоянии между точками излучения и приема световых сигналов, равном 30 км (что вполне реально), и скорости движения 30 км/с (что соответствует скорости движения Земли вокруг Солнца), разница во времени прохождения светового сигнала (с востока на запад и наоборот) должна составлять примерно $2 \cdot 10^{-8}$ сек. Мы допускаем, что при современном уровне развития техники подобные эксперименты могут оказаться вполне реальными, несмотря на проблему точной ориентации на источник синхроимпульсов. Вполне возможно, что такой эксперимент будет осуществлен в будущем.

Не менее важным результатом можно считать вывод, что гипотеза упругого эфира позволяет представить энергию как меру упругой деформации эфира, а массу – как величину самоплененной энергии. Что касается заряда, то похоже, что он каким-то образом связан с импульсом, возможно, со способом пленения импульса – сталкивающиеся фотоны имеют импульсы, а электрон и позитрон, родившиеся из фотонов, могут покоиться на месте, но при этом обладают моментом вращения относительно оси, проходящей через их центры, – спином.

Если при равномерном и прямолинейном движении тел укорочение движущимися объектами никак не ощущается, то при вращательном движении ситуация существенно иная. Во вращающемся теле части, которые находятся на периферии, движутся с бóльшей линейной скоростью, следовательно, и деформируются больше – атомы внешних слоев в бóльшей степени эллипсоиды вращения, чем внутренние. Поскольку уменьшению размеров внешнего слоя, (например, во вращающемся диске) препятствуют внутренние слои и центробежные силы, между атомами и молекулами в

таком слое возникает дополнительное напряжение в смысле науки о сопротивлении материалов. Не исключено, что это предположение можно проверить экспериментально.

Если изложенное здесь верно отражает действительность, то дальнейшее развитие физики в этом направлении должно осуществляться через создание модели самого эфира, из которой бы автоматически следовали образы электрического, магнитного, электромагнитного, гравитационного и т.д. полей, а также образы «твердых» элементарных частиц как различного рода электромагнитных солитонов. Тот факт, что из уравнений Максвелла можно получить формулу Зоммерфельда для атома водорода [16], по-видимому, можно считать определенным аргументом в пользу развиваемых здесь идей.

Почему, собственно, люди всегда болтают о моей теории относительности? Ведь я сделал и другие полезные вещи, быть может, даже лучшие. Но это широкая публика вообще не замечает.

А. Эйнштейн

6. АНАЛИЗ ПРИЧИН И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Наука не является каким-то изолированным отпращиванием человеческого духа, она произрастает на той же исторической почве, что и прочие отпращивания человеческого духа и разделяет с ними умонастроения своего века.

Э. Шредингер

Понимание природы как объективной реальности считают устаревшим предрассудком, и квантовые теоретики из нужды делают добродетель. Люди больше подвержены внушению, чем лошади, поэтому у них в каждый период – своя мода, и большинство не знает источника этой тиранши.

А. Эйнштейн

6.1. Анализ причин

Поскольку мы претендуем на то, что предлагаемая физическая картина мира более правильно отображает реальность, чем предлагавшиеся ранее, то естественно уделить внимания анализу причин, позволивших квантовой концепции так прочно укрепиться в современной физике. Первым делом нужно отметить, что современных физиков уже со школьной скамьи, когда у человека еще не сформирована устойчивая система физических и философских взглядов, приучают к восприятию основных идей квантовой теории и основных, наиболее ярких ее следствий, таких как понятие туннелирования, надбарьерного отражения, взаимодействия состояний, одновременного вращения в двух противоположных направлениях и т.д.

Мы уже видели, что и создатели, и приверженцы квантовой теории не обращают внимания на разницу между кривыми потенциала и потенциальной энергии, а также используют в своем анализе кривые взаимодействия с вертикальными участками. Это, несомненно, является очень грубой ошибкой, особенно, если учесть последствия, к которым она приводит. Однако нам кажется, что это не единственная, возможно даже, и не главная причина того, что эти безумные идеи прижились в физике. Основная причина, похоже, кроется в отношении к делу, к физике, к науке как таковой, и вообще к миру как объективной реальности. Мы убеждены, что причина намного серьезнее, чем это кажется на первый взгляд, ибо она более глубинная. Именно этими убеждениями объясняется тот факт, что в данной главе мы будем вести речь о вещах, на первый взгляд совсем далеких от проблем физики.

В 20-50 годах в физике на самом высоком уровне шел ожесточенный спор между приверженцами и противниками квантовой теории в ее вероятностной интерпретации, который прекратился, хотя и не до конца, только после присуждения М.Борну Нобелевской премии (1954) и с уходом из жизни Эйнштейна (1955).

Почти 28 лет Шведская Академия Наук не хотела смириться с вероятностной интерпретацией – в первую очередь благодаря отрицательной позиции Эйнштейна, конечно. Эйнштейн был другом Борна, но в этой ситуации не пошел на компромисс с совестью. После Эйнштейна уже мало кто осмеливался критиковать квантовую концепцию, и это объясняется, с одной стороны, «экспериментальным подтверждением» концепции и, с другой стороны, отсутствием альтернативных предложений. Р.Фейнман, например, не осмелился на большее, чем заявить, что квантовую теорию не понимает никто в мире (в том числе и он как создатель квантовой электродинамики, конечно), и что к ней можно только привыкнуть. После ухода Эйнштейна любую критику квантовых позиций стали связывать с неспособностью воспринимать высокоинтеллектуальные идеи. М.Борн, например, открыто заявлял, что

непризнание Эйнштейном квантовой теории базируется на «недостаточном понимании квантовой механики», [45, с.81], т.е., попросту говоря, связано с нехваткой интеллекта.

Об интеллекте и поговорим, – об интеллекте как способности к восприятию новых идей, а также как способности к рациональному пониманию мира, [33]. Очевидно, что если в понятие интеллекта включаем способность к рациональному пониманию мира, то с этой точки зрения способность к иррациональному пониманию – это или морально-этическая проблема, когда делают вид, что понимают то, чего никак не могли понять Эйнштейн, Шредингер или Фейнман, или это просто медицинская проблема.

В великом споре относительно квантовой теории плеяду физиков нового поколения представляли в первую очередь Н.Бор, М.Борн, В.Гейзенберг, В.Паули и П.Дирак. Группу физиков, придерживавшихся классических позиций, возглавляли Эйнштейн, Шредингер, Лорентц, Планк, Л. де Бройль и Лауэ. Без особого риска быть обвиненными в подтасовке или натяжках, мы можем зачислить сюда и ранее работавших классиков (динозавров, по выражению Эйнштейна) – вплоть до Ньютона и Галилея.

Не первый, но основной интеллектуальный прорыв в новую физику сделал М.Борн, предложивший вероятностную интерпретацию смысла ψ -функции волнового уравнения Шредингера. Остальные физики из «прогрессивной» группы довольно быстро повторили прорыв, легко распрощались с классической физикой на уровне микромира и поднялись на новую ступень интеллекта. Со второй группы этого не смог сделать никто. В современной литературе довольно часто можно прочесть в смягчающих тонах, что даже сам Эйнштейн не смог этого понять, или что Шредингер на первых порах тоже «неправильно понимал физический смысл ψ -функции своего же уравнения и поначалу даже выступал против правильной интерпретации».

Известно, что получить доказательство какой-либо математической теоремы очень трудно – сперва нужно увидеть и осознать проблему, сформулировать теорему и затем найти логическое доказательство – иногда на это занятие уходят десятки лет напряженного труда. Повторить же доказательство в тысячи раз легче, и это относительно легко выполняют студенты. Применительно же к обсуждаемой здесь проблеме можно отметить довольно странное обстоятельство, заключающееся в том, что Борн довольно легко совершил свой интеллектуальный прорыв, но Эйнштейн, Шредингер, Лорентц и другие так и не смогли повторить этот путь, хотя известно, что пытались. Может быть они представляют собой звезды меньшей величины?

Если у М.Борна «отобрать» вероятностную интерпретацию, то кроме хороших книг, что в большей степени нужно отнести к педагогической, а не к научной деятельности, у него останется не так уж много. Если у Н.Бора отнять планетарную модель атома как несостоятельную, а также философские достижения относительно закона сохранения энергии, то он тоже не потянет на «динозавра» типа Галилея или Ньютона.

Известно, что большинство классиков относились к науке как к святыне, и годами, десятилетиями не пытались обнародовать свои идеи. Так, закон тяготения вынашивался Ньютоном более 20 лет, – его не устраивала точность, с которой ему удалось рассчитать орбиту Луны (впоследствии выяснилось, что прав был Ньютон). Первый экземпляр своего труда «Об обращении земных сфер» Коперник получил накануне своей смерти, в 1543 году, через 36 лет после того, как были получены основные выводы. Вершиной отношения к науке можно считать, по-видимому, поступок Дж.Бруно. Восходя на костер, он сказал: «Пусть сожгут меня, но не загородит мой труп тех путей, которые приведут человечество к светлому будущему». Этот поступок он совершил даже не за свои идеи, а за свои убеждения.

Э.Шредингер неоднократно пытался сделать интеллектуальный прорыв к новой истине: «Верно ли то, как говорят физики – сторонники матриц и q -чисел, что волновое уравнение описывает лишь поведение статистической совокупности, аналогично тому, как это делает так называемое дифференциальное уравнение в частных производных Фоккера? Я охотно этому бы поверил, ибо это представление действительно намного

более удобно, если бы я только мог успокоить свою совесть тем, что не столь уж легкомысленно так просто отделяться от трудностей... Если действительно нужно, постараюсь привыкнуть и к таким вещам», [27, с.231, 1927 г.]. Однако Шредингер все же не смог пойти на сговор с совестью, не привык к новой физике, и в 1954 году, находясь на вершине славы и почета, когда его имени уравнение встречалось практически в каждой, или в каждой второй, работе по теоретическим исследованиям, а самого его считали одним из творцов принципиально новой физики, заявил следующее: «Новая наука самонадеянно присваивает себе право третировать все наше философское воззрение... Говоря так резко, я вовсе не хочу обидеть моих друзей, придерживающихся этой точки зрения (не осознавая, как обстоит дело). Но я хочу ясно сказать, что отныне и впредь беру на себя всю ответственность за свое упрямство. Я иду против течения. Но направление потока изменится.», [14, с.295].

Для иллюстрации отношения к физике Эйнштейна приведем несколько его высказываний. Ознакомившись с теорией атома Бора, Эйнштейн сказал: «Я все понял, но если это правильно, то это конец физики как науки». Уже значительно позднее, в 1950 году, в письме Шредингеру, он писал: «Кто хочет рассматривать квантовую теорию (в принципе) как окончательную, тот должен полагать, что более полное описание бесцельно, потому, что для него невозможно установить законов. Если бы это было так, то физика представляла бы интерес лишь для лавочников и инженеров. Все это было бы очень печально.», [27, с.243].

Образцом отношения к физике могут послужить поступки Планка, который выдвинул идею квантования энергии излучения и сам же долго выступал против нее. В своих письмах к коллегам он просил не принимать гипотезу квантов окончательно. Физика была ему дороже собственной славы и признания.

А как обстоят дела в этом плане в лагере прогрессивных физиков? Наиболее ярко их можно проиллюстрировать словами М. Борна: «Меня никогда не привлекала возможность стать узким специалистом. И я всегда оставался дилетантом даже в тех вопросах, которые считаются моей областью... Мой метод работы состоит в том, что я стремлюсь высказать то, чего в сущности и высказать еще не могу, ибо пока не понимаю сам.», [34, с.97]. Вот так, а Ньютон молчал более двадцати лет, а в архивах Гаусса обнаружена разработка неевклидовой геометрии, которую он не осмелился опубликовать, а Пастер годами мучился, понимая, что получил важное открытие, о котором так хочется возвестить мир, но нужно бороться с собой, пытаюсь опровергнуть свои результаты, чтобы не ошибиться, и т.д.

Мы, конечно, не ставим под сомнение профессиональный уровень Борна, и тот факт, что он сам называл себя дилетантом, на самом деле есть не что иное, как своего рода кокетство, однако очевидно, что его отношение к физике существенно отличалось от отношения «динозавров».

Известно, что Н. Бор несколько раз высказывался в том смысле, что закон сохранения энергии в микромире выполняется лишь в среднем, статистически. При знакомстве с этой позицией Бора остается ощущение, что у него имелся какой-то особый ген, запрограммированный на негатив, на разрушение общепринятых устоев, – своего рода большевизм в физике. Здесь имеется в виду объяснение явления β -распада ядер – распада ядер с выбросом электронов. Электроны при этом могут иметь различные значения энергии, изменяющейся непрерывно в довольно широком диапазоне. Бор, Крамерс и Слэтер довольно быстро выдвинули предположение о невыполнении закона сохранения энергии. Паули верил в закон сохранения энергии больше, и выдвинул идею существования особой частицы (нейтрино), и написал об этом Бору. Несмотря на простоту идеи и тот факт, что в этом случае все чудесно сходилось в рамках классической физики, Бор довольно долго не хотел признать эту идею. Идея несохранения энергии ему нравилась больше!

Вот как об этом вспоминает голландский физик Х.Казимир, человек, близко знавший Бора, и отзывавшийся о нем с восторгом, но сквозь восторг невольно пробивается и другая линия: «В этой связи следует упомянуть, что Бор проявлял определенный интерес к закону сохранения энергии, который он вместе с Крамерсом и Слэтером в свое время поставил под сомнение, и теперь это сомнение возникло снова в процессе изучения непрерывных бета-спектров. Однажды пришло письмо от Паули, и Бор, не решаясь что-либо высказать по поводу изложенных в нем мыслей, попросил свою жену написать Паули, что «Нильс ответит в понедельник». Спустя три-четыре недели пришло новое письмо от Паули... Насколько мне известно, в своем письме, на которое Бор так медлил с ответом, Паули высказал мысль о спасении закона сохранения энергии при бета-распаде путем введения нейтрино.», [7, с.190].

Для Бора, как и для Борна, также было характерным стремление к немедленному обнародованию своих идей. Из воспоминаний О.Клейна, близко знавшего Бора, узнаём, что «Бор, как обычно, сразу же начал писать, или, вернее, диктовать. По ходу дела у него постоянно появлялись новые мысли и сомнения, поэтому написанное накануне отвергалось на следующий день... В течение всей осени 1927 г. и зимы 1928 г. продолжалось постоянное исправление одной корректуры за другой, в нем принимали участие многие сотрудники Института. В один прекрасный момент старую корректуру пришлось заменить совершенно новой, ибо ввиду многочисленных исправлений ее было почти невозможно читать. Окончательная корректура была отослана лишь весной 1928 г.», [7, с.305].

Разницу в отношениях к физике Бора и Эйнштейна можно прочувствовать, анализируя их дискуссии по поводу квантовой теории. Веря в единство мира, Эйнштейн не хотел расстаться с причинностью в физике, на что Бор ответил: «Чего вы, собственно, хотите достичь? Вы человек, который сам ввел в науку понятие о свете, как о частицах! Если вас так беспокоит ситуация, сложившаяся в физике, когда природу света можно толковать двояко, ну что же, обратитесь к правительству Германии с просьбой запретить пользоваться фотоэлементами, если вы считаете, что свет – это волны, или запретить употреблять дифракционные решетки, если свет – частицы.». На что Эйнштейн с горечью заметил:

– Видите, как получается: приходит ко мне такой человек, как вы, встречаются, казалось бы, два единомышленника, а мы никак не можем найти общего языка. Может быть, стоило бы нам, физикам, договориться о каких-либо общих основаниях, о чем-то общем, что мы твердо будем считать положительным, и уже затем переходить к дискуссиям?

На эти слова Бор запальчиво возражал:

– Нет, никогда! Я счел бы величайшим предательством со своей стороны, если бы, начиная работу в совершенно новой области знаний, позволил себе прийти к какому-то предвзятому соглашению», [8, с.312].

Эти слова Бора можно фактически рассматривать как компромат, но у сторонников квантовой теории они имеют противоположную ценность. В словах Бора можно довольно отчетливо прочувствовать оттенок превосходства над сторонниками классических воззрений (очень характерная черта совершивших интеллектуальный прорыв), не сумевшими подняться на новую ступень интеллекта.

Со стороны же Эйнштейна мы наблюдаем предельно корректную и мягкую форму дискуссии: «давайте договоримся об общих основаниях...». Судя по бурной реакции Бора, он даже не понял глубинного смысла слов Эйнштейна – ни во время дискуссии, ни после нее, а ведь Эйнштейн намекал на то, что Бор не понимает вопроса.

Чтобы у читателя не сложилось впечатление, что мы рисуем портрет Бора только черными красками, приведем отрывок из характеристики Бора, которую он дал себе сам в статье, написанной на честь Планка: «В глубине души я ощущал настоящую потребность в том, чтобы подчеркнуть, насколько сильно новое познание потрясло весь

фундамент строения понятий, на котором зиждется не только классическая интерпретация физики, но и весь наш привычный образ жизни». Нетрудно увидеть, что на самом деле речь идет скорее всего не о потребности подчеркнуть, как познание потрясло фундамент, а о самой потребности потрясать фундамент, что он довольно успешно и делал.

Известно, что Эйнштейн имел очень хорошо развитое чувство юмора и был острым на язык, но не позволял себе высокомерия по отношению к людям, ниже себя рангом: «Общение с Эйнштейном доставляло необычайное удовлетворение. Несмотря на гениальность и славу, он держал себя абсолютно просто, без малейших претензий на превосходство... Он был не только великим ученым, но и великим человеком.», [8, с.299]. А вот Дирак однажды после доклада обратился к аудитории со словами: «Вопросы есть?». Один из слушателей задал вопрос, который нередко можно услышать на любом семинаре или конференции: «Я не понимаю, как вы получили это выражение», на что Дирак ответил: «Это утверждение, а не вопрос. Вопросы есть?». Этот случай в литературе часто приводят как образец чувства юмора у физиков (совсем нетрудно вообразить себе хохот в аудитории, последовавший после этих слов Дирака), однако не лишним будет каждому представить себя на месте задавшего вопрос. Услышать такой ответ от корифея, и войти подобным образом в историю, не так уж безобидно для входящего. Мы допускаем, что этот случай на самом деле не типичный для Дирака. Судя по ряду его высказываний, по своим взглядам на природу он стоял все-таки ближе к классикам, чем к неоклассикам.

Далеко не каждый может спокойно переносить критику своих идей, тем более, в насмешливой форме. Из истории химии известно, что английский химик Д.Ньюлендс очень близко подошел к формулированию периодического закона химических элементов, но его доклад в Лондонском химическом обществе вызвал резкую критику и бурю насмешек. Докладчик был удручен и так расстроен, что в дальнейшем уже не осмеливался развивать свою мысль. Вера в себя была потеряна, [34, с.85].

Нельзя, конечно утверждать, что такое отношение к людям рангом ниже характерно для всех физиков нового поколения, совершивших интеллектуальные прорывы, но тенденция явно просматривается. В подтверждение сказанному приведем пример из биографии Л.Ландау, довольно яростно боровшегося против старой физики. Слова, характеризующие Ландау с этой стороны, заимствованы нами из книги талантливого грузинского физика-экспериментатора Э.Андроникашвили «Воспоминания о гелии – 2», хорошо и на протяжении многих лет знавшего Ландау: «Свою молодость Ландау провел в борьбе за становление нового. Он боролся методом шумных споров, методом «отлучения от церкви», методом тотального презрения к старому, отжившему, неправильному. Так проведенная молодость оставила след на многие годы. И теперь, создавая новую теорию сверхтекучести, Дау продолжал оставаться непримиримым и резким. Огромное число людей, особенно экспериментаторов, его побаивались. Даже товарищи по работе, те, что помоложе, подолгу не решались спросить Ландау о чем-нибудь.

Обычно желавший поинтересоваться его мнением долго стоял у дверей лаборатории и прислушивался к ученым беседам, которые вел Ландау со своими сотрудниками, разгуливая по длинным коридорам Капичника. Удостоверившись, что Дау находится в хорошем настроении, жаждущий приобщиться высказывал из-за дверей и выпаливал:

– Дау, я хотел спросить вас...

– Чушь, кричал Ландау, не дослушав вопроса, и жаждущий немедленно скрывался за дверью.

Конечно, репертуар его выкриков был значительно богаче: «патология», «ахинья», «галиматья», «ерунда», «глупости», «позор говорить такие вещи» – необычайно разнообразили слышимую реакцию Дау на задаваемые ему вопросы», [35, с.126]. Как

видим, и в Ландау сидел какой-то ген, запрограммированный на «тотальное презрение к старому, отжившему, неправильному».

Дальше всех в плане неуважительного отношения к собеседнику продвинулся, по-видимому, Паули. Иногда от него доставалось не только вежливому Бору, но и кусающемуся Л.Ландау (на дверях кабинета Ландау висела табличка с надписью «Л.Ландау. *Осторожно – кусается!*»):

«Эренфест видел большое сходство в способе мышления Паули и Ландау, а также в их подходе к проблемам физики, в стиле их творчества.

По общему мнению, совпадали они еще в одном: в острокритических способностях и в острых оценках собратьев-физиков – как принято говорить, невзирая на лица, – и их работы.

Паули в таких случаях не стеснялся в выражениях и не подбирал слов помягче. Он бывал язвителен, безжалостен, а «пострадавшему» казалось, что и просто груб. Однако в этой части весьма обидной по форме критики заключалось важное и полезное содержание. Паули бескомпромиссно воевал с ошибками и лишь потом – с упорствующими в них физиками. Все это полностью относится и к Ландау.

Даже Бору, вспоминают очевидцы, доставалось от Паули.

– Замолчите! – крикнул он однажды Бору. – Не стройте из себя дурака!

– Но, Паули, послушайте... – мягко возразил Бор.

– Нет. Это чушь. Не буду больше слушать ни слова.

А во время одной конференции в кулуарном разговоре Паули точно так же оборвал Ландау, и когда тот попытался объяснить или объясниться, ответил:

– Ах, нет, Ландау, подумайте сами.

Близко знавшие Ландау говорят, что сцена выглядела весьма неординарно.», [47, с.48].

В конце 50-х годов после доклада Гейзенберга и Паули Н.Бор подвел итог дискуссии словами, ставшими впоследствии крылатыми: «Все мы согласны, что ваша теория безумна. Вопрос, который нас разделяет, состоит в том, достаточно ли она безумна, чтобы иметь шанс быть истиной.», [34, с.17]. Конечно, эти слова произносились как в определенной мере шутка, но известно, что в каждой шутке содержится лишь доля шутки, порой совсем незначительная.

Об отношении Гейзенберга к физике, к реальности, достаточно привести его слова по поводу сформулированного им соотношения неопределенностей: «квантовая механика определенно установила несостоятельность закона причинности». Нам кажется, что в этих словах можно довольно отчетливо прочувствовать оттенок злорадства по отношению к классической физике – ген, запрограммированный на разрушение, потихоньку выполнял свое дело.

Подобных примеров можно привести значительно больше, но и приведенных достаточно, чтобы убедиться в том, что физики новой волны бравировали безумностью своих идей. Мы же из всего этого можем сделать предположение, что одна из причин появления принципиально новой теории лежит намного глубже, чем просто в отношении к физике – в отношении к самой реальности. Более ярко эту версию можно проиллюстрировать в другой области деятельности человека – в изобразительном искусстве.

Безумные идеи в физике привели к «открытию» (или созданию?) нового, особого, невиданного ранее мира странных явлений, вернее, странных объяснений явлений, странных представлений, странным образом подтверждающихся экспериментально. Несмотря на резкие возражения классиков, значительная часть физиков нового поколения, повинувшись гену разрушения, восторженно приветствовала приход искаженной физики, такой себе «пикассо-физики». Название, на наш взгляд, очень

удачное [34, с.55], автор термина, к сожалению, не назван. Вероятнее всего, это «гордое название» придумал кто-то из представителей новой культуры, нового мышления.

То, что будет изложено ниже относительно причин появления «новой культуры», довольно сильно выходит за рамки общепринятого в деле написания книг. Так писать книги, в принципе, нельзя (читать можно). Это, несомненно, будет работать против автора, но при создавшемся положении с культурой (в широком смысле слова), когда тотальное зомбирование идет по всем направлениям, широким фронтом, мы считаем такое изложение еще допустимым. Основная мысль, которую мы попытаемся здесь изложить, состоит в том, что так называемые интеллектуальные прорывы в большинстве случаев связаны с отклонением от нормы, от рационального. Мы допускаем также, что в отдельных случаях в основе этих отклонений лежат биохимические процессы, т.е. человек, как личность, по сути дела, не виноват.

Пользуясь методом аналогий, рассмотрим некоторые примеры из пикассо-искусства, под которым будем понимать любое искусство, представляющее реальность в сильно искаженном виде, искусство, которое гордится своей иррациональностью. Памятуя, что и физика, и искусство, и быт и управление обществом, и т.д. – это лишь части большого целого, единой культуры, мы будем подразумевать, что пикассо-художнику по образу мышления соответствует пикассо-физик, пикассо-политик и т.д.

На склоне лет Пикассо, когда ему уже было все равно, какой будет его дальнейшая слава, но совесть еще немного грызла, как-то признался журналистам, что он однажды решил подшутить над публикой и критиками, нарисовав что-нибудь несусветное. К его большому удивлению в среде профессионалов, специализирующихся на комментировании чужих творений (у них такая природная ниша), это вызвало бурю восторга, и чем больше он дурачил их, тем бóльшим был восторг. Восторг, вероятнее всего, был поддельный, по крайней мере у части восторгающихся, но деньги за картины кто-то платил настоящие, хотя и далеко не последние.

Это старый и надежный прием одурачивания – в прежние времена «опытные люди» на базаре могли теленка продать как корову, но по цене вола. С тех пор прошло не так уж много времени, но как выросли продающие! Кусок холста с пятном случайной формы могут продать по цене целого имения, и это даже не преувеличение – пятно совсем случайной формы, а имя многим и не снилось. Для иллюстрации достаточно вспомнить об интеллектуальном прорыве в виде черного квадрата, занимающего почти всю площадь холста (и больше на этом холсте ничего нет), и этого оказывается достаточно для того, чтобы получить не просто признание, а мировое признание, а как же – человек совершил открытие!

Вы можете совершить интеллектуальный прорыв и в случае, если оставите холст чистым с гениально поставленной точкой в одном из углов (к сожалению, это тоже не преувеличение). Можно также нарисовать нетвердой рукой несколько пересекающихся не прямых линий – в этом случае интеллектуальность состоит, прежде всего, в умении придумать название, например, «Лимит времени – 5 минут». На следующем холсте добавляете левой рукой еще несколько таких же линий – и уже «Лимит времени – 8 минут» и т.д. (этот пример тоже из реальной жизни). Если запастись большой партией холстов, да приступить к делу с утра пораньше, да если еще знаешь, что минуты состоят из секунд, то до вечера можно столько натворить да наинтеллектуальнее...

Задавать вопросы, что это значит, рискованно – вам дадут понять, что у вас не все в порядке с интеллектом, что вы еще не доросли, или уже отстали навсегда, как примитивный Леонардо. Вот слова, которые хорошо могут проиллюстрировать сказанное: «Следует отметить анархистское, презрительное отношение абстракционистов к искусству прошлых эпох. Они считают, например, что античное искусство – это только «иллюстрация для физкультурного тренажа», а эпоха Возрождения, давшая миру Рафаэля и Леонардо, была «самым большим злом для искусства», отбросившим его на столетия назад.», [42, с.21].

В истории «пикассо-искусства» известен случай, когда картину метра в выставочном зале по ошибке повесили боком. Придя на выставку, метр обнаружил, что в таком положении его произведение смотрится «даже лучше». На картине была изображена «птица».

Нетрудно догадаться, что те читатели, которые вероятностную интерпретацию воспринимают уже как классику, придут в негодование по поводу приведенных сравнений, искренне считая, что мы здесь сильно перегнули со сравнениями. На самом деле это не так, на самом деле мы еще недогнули, и очень сильно недогнули. Чтобы не показаться голословным, придется привести еще несколько примеров, в существование которых трудно даже поверить.

Если бы мы попробовали заняться игрой, в которой бы задались целью придумать абсолютно абсурдные примеры, которые бы ни при каких условиях не могли быть признанными не только шедеврами, но и просто предметами искусства, то можно было бы попробовать начать, например, с обыкновенного мужского костюма, состоящего из пиджака и брюк, изображенного висящим на деревянных плечиках в масштабе 1:1, как в витрине магазина. Как вы уже, вероятно, догадались, уважаемый читатель, с этой идеей мы опоздали, причем довольно существенно, почти на 30 лет. Такая картина была создана в 1970 году (Йозеф Бойс, «Фетровый костюм»). Оказывается, что при рассматривании этого произведения нужно понять, что «жизнезащитная функция материи наделяет костюм спасительными свойствами убежища, изолирующего человека от внешнего мира». Отметим, что если долго смотреть на это, то может показаться, что в этом действительно что-то есть.

Теперь про черный квадрат (Малевич, 1914 год). Для тех, кто никогда не видел этого произведения, сообщим, что это холст размером 79.5×79.5 см, на котором на белом фоне нарисован черный квадрат, занимающий примерно 80-90 % общей площади, и больше на этом холсте ничего нет. Проигнорировать эту идею как несерьезную мы не можем. Как ни крути – это веха в истории изобразительного искусства, шедевр, поворотный пункт, прорыв интеллекта. Критиковать тоже нельзя – логику здесь не признают и отбрасывают как пережиток старого мышления. Нам, таким образом, ничего другого не остается, как попробовать передразнить идею.

Мы попробуем рассуждать следующим образом. Если в этом произведении есть интеллект, то чем хуже красный квадрат? Оказывается, мы опоздали – такое уже есть (Малевич, 1915, 53×53 см) – год человек думал, но додумался. А что, если нарисовать еще один черный квадрат, но уже других размеров, не каких-то там 79.5×79.5 см, а более интеллектуальных размеров, скажем, 106×106 см? Здесь мы тоже опоздали (Малевич, 1920 год). А чем хуже черный круг, или черный крест, или черный прямоугольник с синим треугольником? Не просто черный прямоугольник, а с синим треугольником, чувствуете прогресс? Вы уже догадались, уважаемый читатель? Правильно, тот же Малевич, 1920, 1920 и 1915 годы соответственно.

Попробуем гнуть палку еще дальше. А что, если научиться рисовать белым по белому? Вы уже догадались? Правильно. Мы опоздали – снова Малевич, 1918 год, серия работ под названием «Супрематизм». На рисунках на белом фоне с трудом угадываются белые геометрические фигуры. Здесь мы имеем пример высшей степени абстрактности – абстракция абстракций, суета сует, т.е. дальше уже некуда. Интересно отметить, что в этом случае Малевич все же осознал, что дальше развивать концепцию действительно некуда, и вернулся к фигуративной живописи.

Поскольку различных оттенков цветов в природе имеется великое множество, сочетаний фигур еще больше, а соотношений в размерах – вообще бесконечное число, то места под солнцем здесь хватает всем желающим. Нетрудно догадаться, что желающих, т.е. последователей, имеется немало. Для примера упомянем творение в виде холста 140×120 см, закрашенного краской густого сине-фиолетового оттенка. Больше на этом холсте ничего нет. Картина называется «ИКВ 79», (Ив Клайн, частное

собрание). Загадочное название картины означает марку краски, которую изобрел и запатентовал автор картины. В другом примере (Эд Рейнхард, Абстрактная картинка, 1959, частное собрание) представлен темно-красный холст размером 274.3 × 101.6 см. Можно только удивляться, как автор угадал размеры и почему эту уникальную возможность прозевали другие художники, «творившие» ранее?

Одну из картин Ганса Гартунга вообразить нетрудно по описанию. Представьте себе несколько (15-20) черных жирных линий проведенных быстрыми движениями руки с верхнего левого угла холста в правый нижний и примерно такое же количество таких же линий с левого нижнего угла в правый верхний. Работы этого художника обычно не имеют названия и различаются только по номерам. Описанное выше произведение имеет номер Т 1956/7. Это вам не какой-то «Лимит времени – 5 минут»!

Как видим, любая наша попытка предложить абсурд в живописи оборачивается крупным интеллектуальным достижением, просто мы везде опаздываем. А что, если взять кусок старой, грубой, порванной и грязной мешковины, приклеить на холст, нанести краской несколько пятен и поместить в рамку? Правильно, и на этот раз мы опоздали. Произведение так и называется, «Мешок, 1954», т.е. мы опоздали почти на 50 лет (Альберто Бурри, частное собрание).

А что если взять алюминиевую пластинку размером 40.6×40.6 см (размер очень критичен, точность здесь играет решающую роль, не меньшую, чем в ракетостроении) прикрепить ее на стену четырьмя болтами и покрасить белой эмалевой краской? Будет это абсурд или нет? Правильно. Не будет. Мы умницы, но в очередной раз опоздали. Все это не суета, как может показаться на первый взгляд, а произведение Роберта Раймана под названием «Курьер II.1985». Нетрудно догадаться, что интеллектуалы с тугими кошельками и на этот раз перехватили произведение у хронически неплатежеспособных музеев, и оно осело в частном собрании ценителей интеллектуальных достижений.

Еще одна попытка. Берем холст, наносим краску сине-голубого цвета, ждем пока краска высохнет, и острой бритвой наносим семь вертикальных прорезов. Сравниваем с каталогами и обнаруживаем, что мы повторили произведение Лучио Фонтана под названием «Пространственный замысел. 1962». (Опять частное собрание). Интересно, если бы мы нанесли восемь разрезов, получился бы абсурд или нет, или это был бы очередной интеллектуальный прорыв – в данном случае интеллектуальный прорез, конечно?

Нетрудно было заметить, что почти каждый из приведенных примеров заканчивается словами «Частное собрание». Не могу отделаться от ощущения, что некоторые опытные интеллектуалы все-таки не совсем честные, что они иногда занимаются надувательством одаренных, но менее опытных интеллектуалов, скупая за весьма умеренную цену (каких-нибудь несколько десятков тысяч долларов) настоящие шедевры мешковинного искусства.

Если нам не удастся придумать ничего абсурдного в живописи, попробуем счастья в скульптуре. Если на выставку произведений искусства притащить обыкновенный белый фарфоровый унитаз, это уже будет абсурдом или все еще нет? Ну? Неправильно, уважаемый читатель. Как вы могли такое подумать! Вы, наверно, уже привыкли, что все, что здесь предлагается, оказывается очередным достижением интеллекта, но на этот раз нам все-таки удалось придумать настоящий абсурд (полной уверенности, впрочем, нет – разве уследишь за всеми каталогами?). Ну как можно на выставку произведений искусства притащить фарфоровый унитаз, спроектированный и изготовленный другими людьми? Пусть бы они сами и принесли этот унитаз! Другое дело, если бы мы в музей притащили писсуар, такой, какой можно увидеть в мужских туалетах, вот тогда было бы в самый раз – мы бы повторили интеллектуальный прорыв, который в свое время (революционное время, 1917 год) сделал Марсель Дюшан, купивший в магазине сантехники обыкновенный белый фарфоровый писсуар,

расписавшийся на нем под псевдонимом «*R.Mutt. 1917*», и притащивший его в таком виде на выставку произведений искусства. Произведение имеет название «Фонтан», и теперь как будто хранится в университетском музее штата Индиана. Поскольку интеллектуальный прорыв оказался очень крупным – «мастер впервые определил концепцию «готовых» произведений (ready-made), или «найденных» (found object)» – идея Марселя Дюшана впоследствии неоднократно использовалась в работах художников различных творческих направлений.

Как видим, в иррациональном мышлении считается вполне допустимым принести на выставку произведение, задуманное и выполненное другими. Замечательно, что при этом вы становитесь новым автором – нужно только расписаться на произведении. О предыдущем авторе можно и не вспоминать. А что будет, если в Лувре купить (т.е. унести незаметно и без разрешения) какое-нибудь «готовое произведение», например, «Джоконду», и предложить ее Эрмитажу или Дрезденской галерее, признают там за нами акт творчества или нет? Удастся нам таким образом оттеснить Леонардо и стать новым автором Джоконды (теперь уже как «объекта свистнутого», «steal-object») или нет? В чем, собственно, «steal-object» в плане художественной ценности принципиально уступает «found-object»-ам? В каком из этих случаев нужно проявить больше таланта и умения, в конце концов, риска? Или нам просто немного повезло, и мы впервые «определили концепцию steal-object», но еще не осознаем своего успеха?

Скептически настроенный читатель давно уже, наверно, решил для себя, что большинство из приведенных здесь примеров – это дело рук третьестепенных художников, и мало ли что, и на какой выставке или в альбоме можно увидеть. Если бы это было именно так! На самом деле практически все из приведенных примеров официально считаются не меньше, как шедеврами мирового искусства. Репродукцию «белого по белому», фотографию мешковины или писсуара можно найти в альбоме шедевров рядом с «Джокондой» или «Явлением Христа народу». Мы полагаем, что если бы все это видел мудрый Екклезиаст (первый в истории физик-теоретик – изучал движение воздушных масс), то наверняка сказал бы свое знаменитое «Суета сует – все суета». Возможно также, что от негодования он при этом свистящий звук заменил бы на один из гортанных.

Быть может, у читателя уже сложилось впечатление, что мы зашли слишком далеко с аналогиями, что эти аналогии не имеют никакого отношения к физике, и что я не имею права судить о том, в чем не являюсь специалистом. Логично, конечно, но я полагаю, что если мне демонстрируют произведение в виде белого холста с небольшой точкой в углу, или произведение, которое «еще лучше смотрится», если его повесить боком или вверх ногами (хорошо еще, что автор помнил, как должна была висеть картина, а если бы черный квадрат повесили боком, или вверх ногами?), то я имею право допускать, что или меня пытаются элементарно надуть, или у совершивших интеллектуальный прорыв просто имеются медицинские проблемы.

Всякое искажение реальности – в искусстве, в литературе, в науке – неизбежно приведет к искаженному ее восприятию, а развитие в этом направлении неизбежно приведет к абсурду, когда никакая логика уже не действует. У современных представителей «пикассо-культуры» очень удобные и устойчивые позиции, их невозможно ни критиковать, поскольку не действует логика, ни даже просто передразнить. Какой абсурд бы мы ни придумали, он или окажется в согласии с имеющимися уже «достижениями», или будет воспринят как новый интеллектуальный прорыв или прорез. Вы можете, например, аргументировано доказать, что данное произведение могло быть рождено только в больном мозгу или в состоянии наркотического опьянения, ваши аргументы будут приняты, но никакого эффекта не получится – с точки зрения прогрессивных интеллектуалов именно в таком состоянии мозг способен воспринимать высшую истину – из космоса, естественно, от высшего разума, из параллельных миров, астральным телом по особым энергетическим каналам,

через ауру и лептонные поля, при благоприятном расположении звезд и планет и т.д. и т.п. Это безнадежно устойчивая позиция – никакая логика уже не может ее поколебать, разве что гороскоп.

Аналогичная ситуация наблюдается, к сожалению, и в современной физике. Согласно вероятностной интерпретации, например, существует отличная от нуля вероятность того, что пуля, выпущенная из винтовки, отразится от обычного листа бумаги – так называемое надбарьерное отражение. В основном прошивает, конечно, ничего практически не прочувствовав, но может и отразиться. Чтобы зафиксировать такой случай, нужно просто очень долго стрелять – что-то около 10^{30} лет. Кто не верит, пусть экспериментирует. Интересно, много ли верующих в вероятностную интерпретацию прикроют себя листом бумаги перед налетающей пулей в надежде, что именно в его случае реализуется надбарьерное отражение?

Если вы спросите, какова может быть физическая причина отражения, вам ответят, что понять этого нельзя, это принципиально непредставимые вещи, специфически квантовые явления. Теперь какой бы вы мысленный эксперимент ни предложили, вас уже ждет ответ-ловушка типа ответа из детской сказки о состязаниях в беге между ежами и зайцем: «А я уже тут!». Если энергии не хватает для преодоления барьера – туннелирование, если энергии много – надбарьерное отражение, если явление вовсе непонятно – одновременное вращение в двух противоположных направлениях, или взаимодействие состояний (как будто состояние – это отдельный объект или хотя бы часть объекта), если спрашиваете причину – специфически квантовое явление, если вы не соглашаетесь – у вас нехватка интеллекта.

Для представителей «пикассо-культуры» (в понятие культуры мы включим все виды деятельности человека: и искусство, и литературу, и науку, и управление обществом) характерна еще одна особенность – делать вид, что вопроса не прозвучало, просто-напросто отмалчиваться. В свое время Шредингер придумал очень остроумный мысленный эксперимент с «размазанной кошкой». В этом эксперименте (Шредингер называл его шутовским) в стальном сейфе внутри счетчика Гейгера помещается крупинка радиоактивного вещества с большим периодом полураспада (одно ядро в час). Счетчик Гейгера, регистрирующий факт распада атома, приводит в действие электронику, электроника приводит в действие молоток, который в свою очередь разбивает ампулу с синильной кислотой.

Очевидно, что можно однозначно сказать, что пока не распался ни один атом, кошка остается живой, и погибает после первого же распада ядра. В этом эксперименте неопределенность переводится из атомных масштабов в макромир и становится наблюдаемой. Однако, в соответствии с вероятностной интерпретацией, ψ -функция всей системы представляет кошку живой и мертвой, причем оба состояния «смешаны или размазаны в одинаковых пропорциях», [14, с.335]. Несмотря на поддержку Эйнштейна, этот парадокс не поколебал «общину верующих» (выражение принадлежит Э.Маху, по другому, правда, поводу – относительно учения об атомах).

На этом примере видно, как трудно поколебать позиции «пикассо-культуры» вообще, и позиции вероятностной интерпретации в частности. По этому поводу Эйнштейн сказал следующее: «Философия успокоения Гейзенберга–Борна – или религия? – так тонко придумана, что представляет верующему до поры до времени мягкую подушку, с которой не так легко спугнуть его. Пусть спит. На меня эта религия действует мало...», [14, с.334].

Мы полагаем, что из изложенного до сих пор в разделе хорошо видно, что легковесное отношение к реальности для общества в целом просто опасно. На это неоднократно обращали внимание Шредингер, Эйнштейн, Планк. Вот слова Эйнштейна из его письма Шредингеру: «Ты единственный (рядом с Лауэ) из современных физиков, кто понимает, что нельзя обходить вопрос о реальности, оставаясь при этом честным.

Большинство не отдает себе отчета, какую рискованную игру они ведут с реальностью – реальностью, как нечто независимое от констатации», [14, с.338]. Кто не поверил нам, может быть, поверит Эйнштейну?

В дискуссиях загнанные с помощью логики в угол интеллектуалы от изобразительного искусства легко уходят оттуда с помощью универсального ответа: «Художник – это состояние души». По-видимому, надо понимать так: какое пятно нарисовал, такое и состояние души. В большинстве случаев такое легковесное отношение к реальности люди приобретают в ходе обучения и воспитания (следовательно, их можно было бы воспитать и нормально), но встречаются и врожденные способности. Из медицинской практики известно, что иногда врожденное состояние души такое, что человек испытывает непреодолимое желание к самокастрации (состояние так и называется – аутокастрация), получая при этом «ни с чем не сравнимое удовольствие». Мы не знаем, как долго длится эта сугубо интеллектуальная процедура – то ли мгновенно, то ли удовольствие растягивают на несколько часов или даже дней, и сколько раз эту процедуру удастся совершить – то ли всего один раз, как самец насекомого богомола, то ли оторванные органы к следующему вечеру отрастают заново, – но несомненно, что этот поступок является очень смелым и сильным интеллектуальным прорывом, вернее будет сказать – интеллектуальным отрывом (или отрезом?), очень контрастно оттеняющим отсталость традиционного мышления.

Существует множество других, не менее экзотических состояний души, например, ретифизм. Это такое состояние, когда вместо женщины интеллектуал сексуально ориентируется на женскую обувь. Такое состояние души встречается довольно редко, ибо, как и предыдущее (аутокастрация), не передается по наследству, последнее – в основном по причине интеллектуальной отсталости женской обуви. Похвалим человека, занимающегося этим видом интеллектуальной деятельности: «Все мы согласны, что ваше занятие безумно. Вопрос, который нас разделяет, состоит в том, достаточно ли оно безумно, чтобы получить всеобщее признание». Уважаемый читатель, вы можете не сомневаться в том, что, учуяв неладное, такой интеллектуал будет горячо убеждать вас в том, что «вы не понимаете, что такое вероятно... (простите за оговорку), что такое женская обувь! Только в конце следующего тысячелетия общество в целом достигнет нашего уровня интеллекта». А что, если они и в самом деле знают, куда движется общество?

Все это – суета, сказал бы Екклезиаст простуженным голосом. Все это было бы смешно, если бы не было так грустно, сказал бы поэт. К этому можно добавить, что все это было бы смешно, если бы не отражалось так пагубно на состоянии нашего общества в целом.

Приводя эти слова, мы не хотим сказать, что пикассо-культура не принесла с собой совсем уж ничего положительного. Кое-какие достижения все же имеются. Люди стали существенно раскрепощеннее: в свободной манере и без всякой причины могут набить морду незнакомому человеку, сломать новую скамейку в скверике, помочиться в лифте, расписать высокоинтеллектуальными словами стену. Во время интервью перед телекамерой могут без смущения жевать резинку, курить, плюнуть на пол и т.д., но и о тормозах не следует забывать, ибо, как сказал Фейнман, «...истина всегда оказывается проще, чем можно было бы предположить. Что нам действительно нужно, так это воображение, но воображение в надежной смирительной рубашке», [6, с.189].

Быть может, мы здесь и в самом деле немного преувеличили с аналогиями и примерами, и для кого-нибудь это покажется оскорбительным, но не мы первые начали – концепция интерференции волн вероятности не менее оскорбительна (если вы уважаете логику), нужно только вдуматься, как может реализоваться этот процесс для корпускул, например, электронов. Мы вынуждены были немного преувеличить, ибо поток мутный, течение мощное, а направление потока нужно менять.

Мы вынуждены были ввести небольшую долю юмора, ибо логика против пикассо-культуры не срабатывает, по крайней мере малоэффективна, и это объясняется врожденным невосприятием логики лицами, тяготеющими к пикассо-культуре, иногда даже врожденным отвращением к логике. Эти слова не нужно считать каким-то обвинением (обоснованным или необоснованным) в адрес новых интеллектуалов, это простая констатация, ибо новые интеллектуалы не только не отрицают такого своего отношения к логике и здравому смыслу, – они гордятся своей ущербностью. Один из столбов нового мышления (К. Малевич, тот самый, который интеллектнул черный квадрат) гордился тем, что ему «посчастливилось хотя бы наполовину изгнать с поля картины разум, этот старый мозоль привычки видеть все в природном виде». Хотел изгнать полностью, а удалось только наполовину.

А вот слова, как будто специально заказаны для иллюстрации только что сказанного: «Идеи логики, порядка, истины, разума – мы все отдаем небытию, смерти. Вы не знаете, до чего может довести нас наша ненависть к логике» – так гордятся собой американские сюрреалисты на страницах своего журнала, [42, с.23].

Приход пикассо-культуры, в том числе и пикассо-физики, с тревогой наблюдал Шредингер. Ниже мы приведем выдержку из размышлений Шредингера по этому поводу. Цитата длинная, но читать ее нужно внимательно, не спеша, – у Шредингера нагрузку несет каждое слово: «Пренебрежение историческими связями, впрочем, скорее гордость своим умением думать по-новому, работать по-новому, поступать по-новому, явные попытки как бы отвязаться от задолженности перед своими предшественниками – все это несомненно является общепринятой тенденцией нашего времени. В области изящных искусств мощные направления развиваются в этом же духе, и мы являемся свидетелями таких результатов подобного развития, как модернизм в живописи, скульптуре, архитектуре, музыке и поэзии. Находятся многие, которые смотрят на это как на новый могучий взлет, в то время как иные считают это вспышкой, которая вот-вот погаснет. Вряд ли уместно распространяться здесь далее на этот счет, а мои личные взгляды на эту тему вряд ли кого заинтересуют. Однако я все-таки позволю себе утверждать, что где бы упомянутая тенденция ни проникала в науку, ей следует оказывать противодействие. Существование определенной угрозы вторжения в науку такой тенденции вообще очевидно, поскольку наука не является каким-то изолированным отпращиванием человеческого духа, она произрастает на той же исторической почве, что и прочие откровения духа, и разделяет с ним умонастроения своего века. Я убежден, однако, что невозможно найти столь вопиющего примера проявления упомянутой тенденции, какой представляет собой теоретическая физика нашего времени. Уверен, что здесь мы встречаемся с эволюцией, которая является точным повторением того, что случилось ныне, как я уже говорил, с изящным искусством.», [14, с.262, 1952 г.]. Кто не поверил нам, может быть поверит Шредингеру, или Ланжевону, который философию беспричинности называл «интеллектуальным разворотом»?

Из приведенных слов Шредингера нетрудно прочувствовать, что даже он ощущал на себе высокомерие со стороны тех, кто гордился «своим умением думать по-новому, работать по-новому, поступать по-новому», т.е. уже совершивших интеллектуальный отрыв. Эта догадка не является беспочвенным подозрением, – в жизни нам часто приходится встречаться с этим явлением в той или иной форме.

Писатель Ч.Сноу в молодые годы работал в научной лаборатории в Кембридже. По его воспоминаниям «молодые сотрудники Кембриджа больше всего гордились тем, что научная деятельность ни при каких обстоятельствах не может иметь практического смысла. Чем громче это удавалось провозгласить, тем величественнее они держались. Более того, сложилось даже пренебрежительное отношение к инженерам и техникам, поскольку полагали, будто «практика – удел второсортных умов» и все, связанное с практическим использованием науки, совершенно неинтересно.» [36, с.24].

Психологической защитой от такого отношения может служить убеждение, что среди высокомерных людей никогда не бывает достойных, и что люди достойные никогда не болеют высокомерием.

6.2. Альтернативные предложения

Если нам удалось убедить читателя в том, что суть одного из основных источников, питающих пикассо-культуру вообще, и пикассо-физику в частности, заключается в игнорировании, полном или частичном отбрасывании логики (в физике, в отличие от изящных искусств, логику нельзя отбросить полностью), рассмотрим ряд физических явлений, которые до настоящего времени имели объяснение только в рамках квантовой (в смысле иррациональной) теории. Мы попытаемся продемонстрировать, что в большинстве случаев можно предложить объяснение этих явлений и с позиции классической, т.е. рациональной физики. При этом мы должны понимать и помнить, что если нам удастся предложить приемлемое объяснение хотя бы для одного из этих явлений, то это будет сильным аргументом в пользу того, что в будущем удастся объяснить и все остальные. С другой стороны, если нам удастся найти в нынешних общепринятых объяснениях хотя бы одну серьезную ошибку, то это будет означать, что в остальных случаях также имеется подобная ошибка, которую мы по каким-то причинам пока еще не разглядели.

Стержнем современной квантовой теории является вероятностная интерпретация ψ -функции волнового уравнения. Мы немного повторимся и еще раз рассмотрим электрон в потенциальной яме, рисунок 6.1.

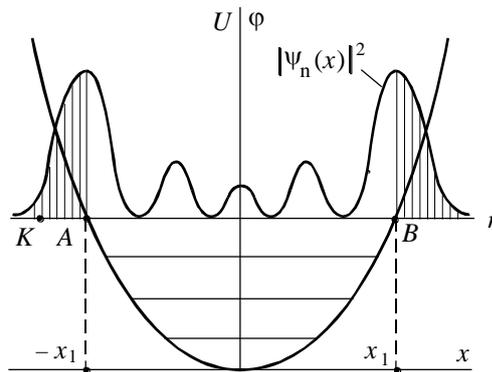


Рис. 6.1

На этом рисунке изображены кривая распределения некоторого электрического потенциала $\varphi = kx^2$ и кривая потенциальной энергии взаимодействия (с этим полем) точечного электрического заряда $U = e \cdot \varphi = k \cdot e \cdot x^2$. Масштабы осей подобраны так, что кривые совпадают. Для уровня n приведена кривая $|\psi_n(x)|^2$, где $\psi_n(x)$ – волновая функция уравнения Шредингера для данной кривой взаимодействия $U(x)$.

Расчеты показывают, что значение ψ -функции и, соответственно, $|\psi(x)|^2$ левее поворотной точки A и правее B не равны нулю. Это сразу ставит под сомнение образ электрона как точечного объекта (в атомных масштабах, конечно). Шредингер первоначально предположил, что $|\psi(x)|^2$ соответствует плотности электрического заряда, но идея не была поддержана. Кроме того, параллельно и почти синхронно с ней была предложена идея, что $|\psi(x)|^2$ соответствует вероятности обнаружить частицу с энергией E_n на данном расстоянии (x) в элементарном объеме dV . Таким образом, в соответствии с этой теорией наибольшая вероятность обнаружить частицу в данном месте характерна для поворотных точек, т.е. точек на кривой взаимодействия $U(x)$.

Согласно такой интерпретации электрон в состоянии E_n можно обнаружить как при $x < -x_1$, так и при $x > x_1$, причем величина вероятности соответствует высоте штрихов

на рисунке 6.1 – т.е. представляет заметную величину. Именно эту точку зрения не приняли до конца своей жизни Эйнштейн, Шредингер, Лорентц, Планк, де Бройль, Ланжевен, Фейнман и др.

На наш взгляд, в этой интерпретации имеются две ошибки. Во-первых, если электрон считать точечной частицей, твердой корпускулой, то для описания ее поведения некорректно использовать волновое уравнение. Если допустить, что движение электронов осуществляется в соответствии с волнами вероятности, то приходим к некорректному ответу – электрону приходится приписать возможность иметь отрицательную энергию движения при $x < -x_1$ и при $x > x_1$ или, что то же самое, превратиться в античастицу, как это было показано в главе 1. Именно для анализа данного случая этот вопрос так подробно рассматривался в первой главе. Если не выходить за рамки логики, то мы в этом случае должны сделать вывод, что некорректность ответа указывает на некорректность постановки вопроса (в данном случае – интерпретации смысла ψ -функции), ибо математика, по выражению Г. Вейля, – это только мясорубка, и «если в нее засыпать лебеду, то на выходе также получим только лебеду». Мы на выходе получили лебеду (отрицательную энергию движения), – значит, на входе была засыпана лебеда (вероятностная интерпретация), поэтому подчеркнем еще раз – не может быть более сильного аргумента против вероятностной интерпретации, если к логике и реальности относиться с уважением. В этом случае нужно просто возвратиться в исходную точку и искать новый путь, т.е. новую интерпретацию.

Во-вторых, не выдерживает критики и предположение Бора, что в микромире закон сохранения энергии выполняется лишь в среднем, статистически. Если допустить, что в микромире закон сохранения энергии нарушается, пусть и кратковременно, то сразу же возникает вопрос: какой смысл для анализа процесса, в котором закон сохранения энергии не выполняется, использовать кривую, построенную на законе сохранения? Если закон сохранения энергии в данный момент нарушился, и электрон с энергией E_n оказался в точке K , рисунок 6.1, то почему теперь для этой точки закон сохранения уже не может выполняться «в среднем», как для точки A или B ? Почему так выборочно действует логика?

Все эти вопросы были бы излишними, если бы автором идеи не был Бор. В 1948 году, в письме Инфельду, Эйнштейн сообщал о своих дискуссиях с Бором по поводу квантовой теории. Отметив высокую научную изобретательность Бора, он написал: «Однако дискуссия с ним очень трудна, ибо разные аргументы имеют в его глазах совершенно другой вес, чем в моих. Мое твердое следование логической простоте и отсутствие доверия к ценности критериев теорий, даже тех, что производят большое впечатление, если речь идет о принципиальных вопросах, для него непонятны. Он находит такого рода позицию обособленной и странной как все, кто считает, что квантовая теория близка к сути дела.», [8, с.326].

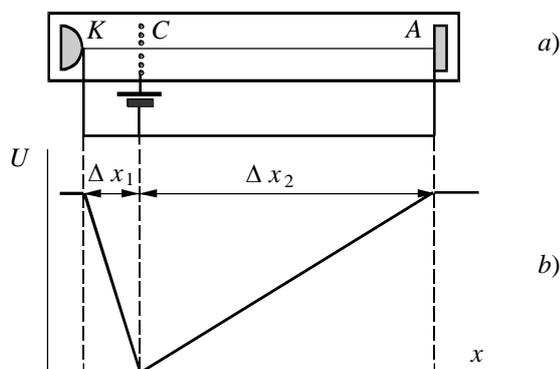


Рис. 6.2. Схема эксперимента по исследованию холодной эмиссии электронов.

Наиболее простыми и яркими экспериментами, которые считаются свидетельствующими в пользу квантовой теории в вероятностной интерпретации, являются эксперименты по исследованию холодной эмиссии электронов. Считается, что эти эксперименты прямо указывают на существование туннельного эффекта. Вкратце, сущность явления заключается в следующем. В вакуумированном пространстве между катодом K и анодом A , рисунок 6.2, укрепляется металлическая сетка так, что $\Delta x_1 \ll \Delta x_2$. Все электроды выполнены из одного металла, катод и анод находятся под одним потенциалом. Катод не подогревается. Между катодом и сеткой создается ускоряющее электрическое поле, между сеткой и анодом – тормозящее. При напряженности поля на участке сетка – катод $\sim 10^7$ В/см из холодного катода вырываются электроны (отсюда название «холодная эмиссия»), часть из которых регистрируется в виде сеточного тока, однако проскочившие сетку электроны до анода не долетают и анодный ток в эксперименте не регистрируется.

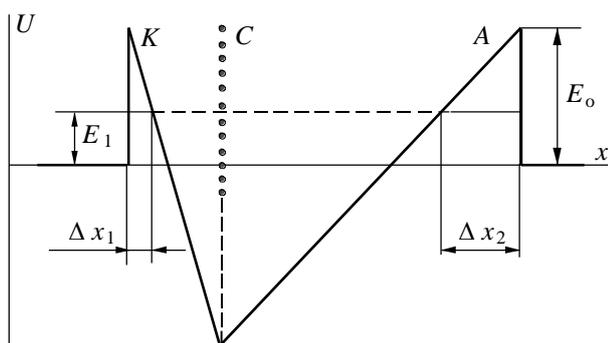


Рис. 6.3. К вопросу об автоэлектронной эмиссии [44].

Наиболее часто встречающееся в литературе объяснение этого явления понятно из рисунка 6.3. Потенциальные поверхностные барьеры высотой E_0 в этих теориях представляют как имеющие вертикальные стенки со стороны катода и анода. Эмиссию электронов, имеющих в холодном катоде энергию E_1 , объясняют высокоэффективным их просачиванием сквозь тонкий барьер Δx_1 , а отсутствие анодного тока – низкоэффективным просачиванием сквозь барьер Δx_2 . Чаще всего в литературе этим объяснением и ограничиваются, но иногда для контраста, для демонстрации ограниченности классической физики приводят «попытку» объяснения этого явления с позиции классической физики, в результате которой становится «очевидным», что дальнейший прогресс без перехода к новому мышлению уже невозможен.

Учитывая важность вопроса, приведем одно из таких объяснений, которое мы считаем наиболее ярким. В этом объяснении используют эффект, который получается при размещении электрического заряда вблизи металлической токопроводящей поверхности.

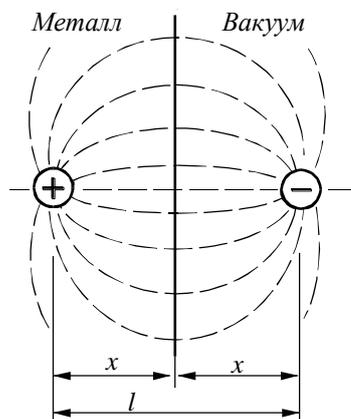


Рис. 6.4

Известно, что заряд q своим полем индуцирует в бесконечной проводящей поверхности электрический заряд противоположного знака, т.н. зеркальное изображение, рис.6.4. Это значит, что как только электрон немного выдвинется за пределы металла, зеркальные силы тут же начинают загонять его обратно, при этом сила действия определяется законом Кулона.

$$F = \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \ell^2} \quad (6.1)$$

где $\ell = 2x$ – двойное расстояние от электрона до поверхности металла.

Очевидно, что кривая взаимодействия электрона со своим электрическим изображением (не с поверхностью в целом, там действуют и другие силы) совпадает с кривой взаимодействия электрона с позитроном, т.е. с кривой потенциальной энергии электрона в атоме позитрония или водорода.

$$U = \frac{e^2}{4 \pi \varepsilon_0 l} \quad (6.2)$$

Для наглядности на рисунке 6.5 приведен график зависимости $U(x)$ в реальном масштабе. Энергия представлена в электрон-вольтах, расстояние – в ангстремах, табл.6.1. Из этих данных видно, что воздействие зеркальных сил реально распространяется примерно до расстояний $x = 10 \text{ \AA}$. Как видно из рисунка, после 10 \AA кривая идет очень полого. Это значит, что внешнее вытягивающее электрическое поле может легко пересилить поле зеркальных сил только до определенной степени, пока кривая не пойдет достаточно круто, т.е. пока напряженность поля зеркальных сил невелика.

Таблица 6.1

$x, \text{ \AA}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	50,0	100,0
U, eV	14,4	7,2	4,5	3,6	2,9	1,4	0,96	0,72	0,36	0,14	0,07

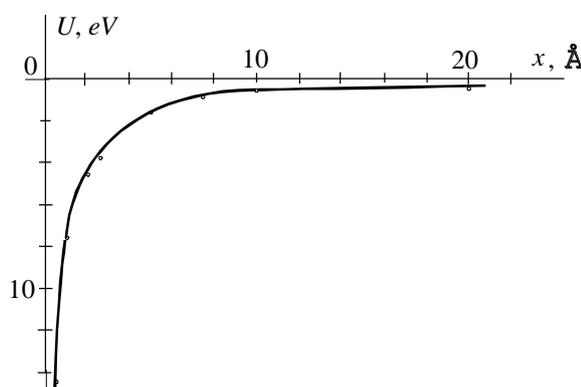


Рис. 6.5. Потенциальная энергия электрона в поле зеркальных сил.

Поскольку напряженность электрического поля представляется как отношение силы к величине заряда, кривая зависимости напряженности от расстояния имеет вид:

$$E(l) = \frac{e}{4 \pi \varepsilon_0 l^2} \quad (6.3)$$

Из эксперимента известно, что холодная эмиссия с вольфрама начинается с напряженностей порядка $4 \cdot 10^8 \text{ В/м}$. Поле зеркальных сил имеет такую напряженность на расстоянии l_1 :

$$E(l_1) = \frac{e}{4 \pi \varepsilon_0 l_1^2} = 4 \cdot 10^8 \text{ В/м} \quad (6.4)$$

Отсюда $l \approx 19 \text{ \AA}$ или $x \approx 9,5 \text{ \AA}$. На этом расстоянии потенциальная энергия электрона в поле зеркальных сил равна:

$$U_1 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 l_1} \approx 0,76 \text{ эВ} \quad (6.5)$$

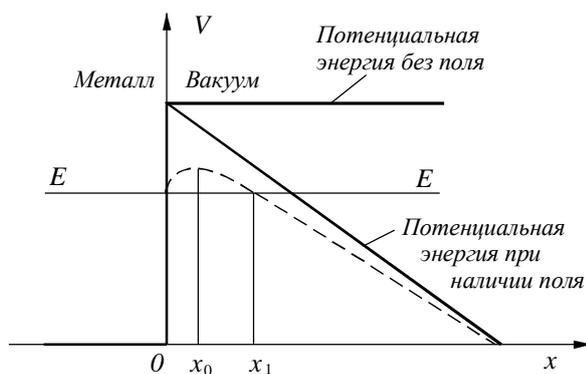
На такую величину внешнее поле может «продать» поле зеркальных сил, при этом напряженности конкурирующих полей сравниваются. Учитывая, что работа выхода с поверхности вольфрама составляет примерно 4,9 эВ, понижение внешним полем работы выхода всего на 0,76 эВ (что составляет примерно 15 % от необходимого) не может объяснить явление холодной эмиссии. Другими словами, если природа поверхностного барьера определяется одними только зеркальными силами, указанного значения напряженности внешнего поля явно недостаточно для объяснения явления холодной эмиссии с позиции классической физики.

Что касается туннелирования, которое используют в этом случае, то следует отметить, что барьер в рассмотренном примере получается не таким уж тонким – максимум барьера находится примерно при $x \approx 10 \text{ \AA}$, а толщина барьера окажется не менее, чем $\Delta x \approx 20 \text{ \AA}$, и то только для высоко расположенных энергетических уровней. Для низко расположенных уровней толщина, естественно, окажется еще большей. Это далеко не малая величина в атомных масштабах.

Каким же образом можно объяснить выход электронов из холодного катода при столь незначительном понижении барьера? А что получится, если силы зеркального изображения объявить не одной из причин существования барьера, а причиной, понижающей этот барьер? А что? Мой кусок металла, мои электроны и моя теория – что хочу, то и ворочу, и никто не имеет права посягать на свободу творчества. Это только в рациональной физике идея явно никуда не годится. В пикассо-физике нужно еще разбираться, достаточно ли она безумная, чтобы иметь шанс быть признанной.

Если вы, уважаемый читатель, уже решили, что это абсурд, то вы сильно отстали. В новой физике, где основные положения принимаются без особого обоснования, на основе интуиции, эта идея уже реализована в полном объеме. Читаем: «Помимо внешнего электрического поля, на электрон действует так называемая сила электрического изображения. Дело в том, что электрон, обладая зарядом $-e_0$ создает в металле индуцированный заряд e_0 ...Учет сил электрического изображения показывает, что при наложении внешнего поля работа выхода уменьшается...рис.5.6...Однако силы электрического изображения не в состоянии объяснить холодную эмиссию...Таким образом, в рамках классической теории невозможно объяснить с количественной стороны явление холодной эмиссии.», [37, с.78].

Цитируемая здесь книга относится к числу очень хороших и очень солидных, поскольку она написана на базе лекций, читаемых в течение многих лет на физическом факультете МГУ. Судя по изложению, математике и рисункам, это объяснение заимствовано из не менее солидной книги Шпольского, [38, с.517]. Последняя по ясности изложения и подбору материала относится к числу наиболее удачных в мировой литературе – выдержала многократные издания большими тиражами как в Советском Союзе, так и в других странах на нескольких языках. Шпольский, к сожалению, не указал первоисточник этого объяснения, поскольку его книга написана как учебник.



Потенциальная энергия электрона в металле без поля и при наличии внешнего электрического поля. Штриховой линией показан ход потенциальной кривой с учетом сил электрического изображения.

Рис. 6.6, (рис.5.6 из [37])

Как видим, суть объяснения воздействия внешнего поля на поверхностный барьер металла сводится к следующему: на поверхности металла существует скачок потенциала, понижение которого внешним полем (эффект Шоттки) можно объяснить только «с учетом сил электрического изображения», штриховая линия на рисунке 6.6.

Как в небольшой капельке воды отражаются основные свойства океана, так и в приведенном примере отражаются методы добывания результатов в новой физике. Для большей наглядности приводимых нами далее аргументов воспользуемся методом аналогий. Представим себе, что проводятся исследования колебаний математического маятника. Тело привязано к оси вращения с помощью тонкой нити. В теоретической части анализа делается допущение, что нить нерастяжимая и невесомая, а вся масса сосредоточена в одной точке – в центре массы тела.

После проведения соответствующего анализа приходят к одному из выводов, что траектория движения тела представляет собой часть окружности. В экспериментальной части исследования задаются, однако, вопросом выяснения формы траектории и определяют, что на самом деле она представляет собой часть эллипса, – штриховая линия на рис.6.7.

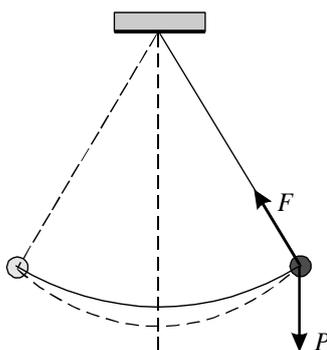


Рис. 6.7

Очевидно, что если искренне верить в нерастяжимость нити, долго и упорно стоять на этой позиции, то можно придумать много разных и смелых гипотез, но принципиальность ситуации здесь в том, что в этом случае постановка вопроса об экспериментальной проверке формы траектории просто некорректна, ибо искренняя вера не требует проверок и доказательств. И наоборот, если в эксперименте найдено отклонение от теоретической траектории, то ревизии нужно подвергнуть в первую очередь упрощения, в данном случае – предположение о нерастяжимости нити, и все станет на свои места.

Приведенный здесь пример настолько прост и очевиден, что не требует особых комментариев, однако именно такого рода ошибку делают при анализе экспериментов по холодной эмиссии электронов. Сначала «для упрощения» допускают, что потенциальный барьер имеет вертикальную стенку. Затем начинают анализировать, что получится, если к поверхности металла приложить внешнее поле. Поскольку вертикальную потенциальную стенку, соответствующую бесконечно большой напряженности электрического поля, ничем пересилить нельзя, высота барьера оказывается независимой от наличия и величины внешнего поля. В результате этого эффект Шоттки принципиально не может получить своего объяснения. В этой ситуации вспомнили о зеркальных силах, «учет которых приводит к понижению высоты стенки потенциального барьера».

Кроме указанных ошибок в приведенном анализе, в литературе для подобных случаев можно обнаружить, по крайней мере, еще три. Во-первых, в очередной раз следует отметить, что строить математические выражения, и изображать соответствующую им графику, мы умеем только для двух взаимодействующих объектов, в данном случае – для электрона и остальной части куска металла. Это значит, что никакие энергетические уровни других объектов, как на рис.6.15, например, без оговорок уже не могут быть изображены на этом рисунке, а дно потенциальной ямы рассматриваемого электрона в металле должно соответствовать покоящемуся в металле электрону.

Во-вторых, кривая потенциальной энергии электрона в металле, как ее обычно изображают в литературе, рис.6.8 (мы немного усовершенствовали приводимый обычно в литературе рисунок, поэтому потенциальные стенки изображены наклонными, а не вертикальными), не может описывать поведение свободного электрона в металле. В соответствии с этой кривой электрон, имеющий в металле кинетическую энергию U_1 , может свободно перемещаться от точки A , где его кинетическая энергия равна нулю (потенциальная равна U_1) до противоположной точки куска металла B , а электрон, влетевший в металл с энергией U_2 , в металле будет двигаться с энергией $U_0 + U_2$ и с энергией U_2 покинет металл с противоположной стороны. Из эксперимента же известно, что даже для преодоления тонкой фольги (сотые доли миллиметра) электронам нужно иметь большúю (десятки $kэВ$) энергию. В рациональной физике очевидно, что если кривая не описывает адекватно поведение объекта, то она и не может применяться для анализа соответствующей ситуации. Но это только в рациональной физике.

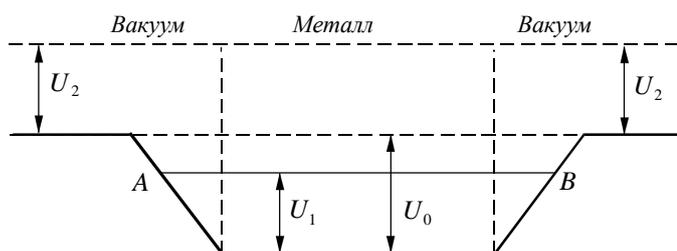


Рис. 6.8

В-третьих, и это самое главное, при анализе факторов, действующих на оказавшиеся у поверхности металла электроны, учтены не все силы.

Рассмотрим явление холодной эмиссии с учетом изложенных замечаний. С предлагаемой точки зрения свободные электроны внутри металла имеют размеры, сравнимые с атомными, поэтому их движение в проводниках целесообразнее моделировать с помощью образа электронной жидкости, а не электронного газа. В подтверждение этого предположения можно обратить внимание на то, что закон Ома в свое время был получен для образа электрической жидкости, по аналогии с обыкновенной жидкостью.

Если такая модель близка к реальности, и электроны в металле «касаются» друг друга, как упакованные шары, то при $T=0\text{ K}$ в монокристаллическом куске металла влетающие с одного конца электроны будут выбивать с противоположной стороны электроны с такой же энергией. Импульс налетающего электрона в таком металле будет передаваться по цепочке как в известном демонстрационном опыте с упругими бильярдными шарами. Внешне это будет выглядеть так, как будто электроны в металле не испытывают никакого воздействия (имеют большую «длину свободного пробега»). Вполне вероятно, что такие эксперименты уже проведены.

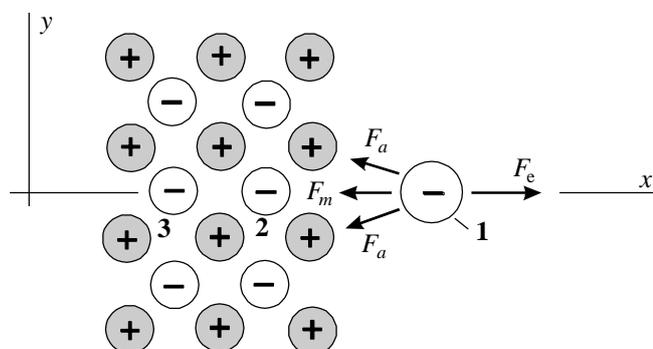


Рис. 6.9

Нетрудно увидеть, что на «большой» электрон 1, находящийся у поверхности металла, рис.6.9, действуют, по крайней мере, три силы (на точечный, впрочем, тоже). Во-первых, – это силы зеркального изображения F_m , степень влияния которых уже достаточно подробно проанализирована выше. Во-вторых, – это силы отталкивания F_e со стороны других электронов, размещенных в междоузлиях (в первую очередь ближайшего соседа 2, конечно). Этими силами в литературе пренебрегают, – по-видимому, помешал образ электронного газа, хотя для электронного газа их тоже нужно учитывать. И в-третьих, – это силы притягивания F_a (в первую очередь со стороны ближайших четырех атомов) как нескомпенсированные силы на поверхности. Существование этих сил не является вымыслом, и подтверждается экспериментально, – все атомы обладают способностью присоединить один лишний электрон – так называемое средство атомов к электрону. По сути дела, именно эти силы имеют в виду, когда говорят о поверхностном барьере – что-то вроде хорошо известных сил поверхностного натяжения в жидкостях (не исключено, что это одно и то же). Действие именно сил F_a для упрощения представляют вертикальными потенциальными стенками и уменьшают внешним полем «с учетом действия зеркальных сил».

Очевидно, что величины и характер сил F_e и F_m не зависят от рода металла. С другой стороны, поскольку электроны 1 и 2 отталкиваются по тому же закону, что и зеркальные силы притягивают электрон 1 к металлу, силы F_e и F_m примерно компенсируют друг друга (на малых расстояниях). Мы говорим «примерно» потому, что нужно еще учитывать действие электрона 3 и т.д. Это значит, что основной причиной, удерживающей свободные электроны в металле, все-таки являются силы F_a , которые по причине экранизации ядра собственными электронами не могут создать в направлении x такой же напряженности электрического поля, как свободные заряды. В связи с тем, что у разных атомов степень экранизации ядра разная (разные средства к электрону), работа выхода электрона, т.е. высота барьера, у разных металлов оказывается разной. Напомним читателю, что мы анализируем поведение свободных электронов, пытающихся вырваться наружу (вследствие теплового движения, например) через междоузлия.

Что касается характера сил F_a вблизи поверхности, то нетрудно увидеть, что если электрон находится в плоскости последнего слоя атомов ($x = 0$), действие сил F_a

компенсируют друг друга, и суммарная F_a окажется равной нулю. Это значит, что кривая взаимодействия вблизи поверхности имеет горизонтальный ход, и это хорошо согласуется с предположением, что природа не терпит скачков, таких, как на рисунке 6.8, например. Другими словами, кривая взаимодействия окажется дифференцируемой, как это и должно быть в рациональной физике.

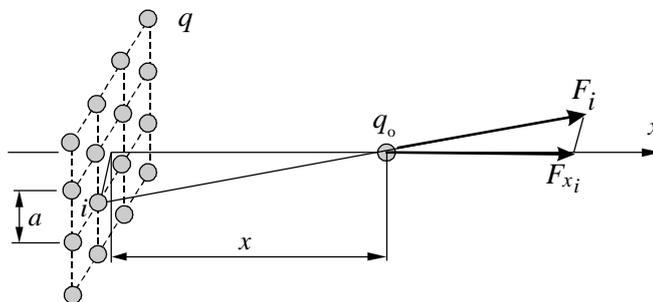


Рис. 6.10

Учитывая важность вопроса, рассмотрим его подробнее. Рассмотрим простейший случай, когда электрон пытается покинуть кусок металла через центр междоузлий. Выходу электронов препятствуют нескомпенсированные поля ядер. Зернистость распределения заряда в пространстве в этом случае играет существенную роль – если допустить, что заряд равномерно распределен по поверхности металла, то получим более грубый результат, чем в случае, если будем учитывать распределение заряда по ячейкам. Для простоты ограничимся учетом действия ближайших 16 атомов, рисунок 6.10.

Нетрудно показать, что в этом случае зависимость потенциальной энергии электрона U от расстояния x имеет вид (для этого выражение для равнодействующей силы ΣF_x нужно умножить на dx и проинтегрировать):

$$U(x) = -k \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2/2}} + \frac{1}{\sqrt{x^2 + 9a^2/2}} + \frac{2}{\sqrt{x^2 + 5a^2/2}} \right) \quad (6.6)$$

где $k = 16 \pi \cdot \epsilon_0 \cdot q_0 \cdot q$,

q_0 – заряд электрона,

q – эффективный заряд ядра.

Поскольку заряд q ядра нам неизвестен, величину k можно оценить в предположении, что при $x = 0$, $U_0 \approx 5$ эВ (для вольфрама), при этом для удобства можно положить $a^2 = 8 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$. При таких допущениях можно рассчитать кривую $U(x)$ в реальном масштабе, табл.6.2 и рисунок 6.11.

$x, \text{ \AA}$	0	1	2	3	4	5	6	8	10	20	40	100
$U, \text{ эВ}$	5,0	4,7	4,0	3,4	3,0	2,6	2,3	1,9	1,6	0,8	0,4	0,2

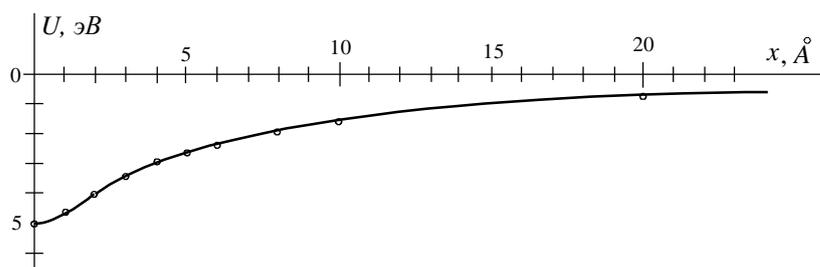


Рис. 6.11

Как видно, в этом случае кривая получилась не только без разрывов, но и существенно более пологой, чем в случае зеркальных сил, рис.6.5. Это значит, что для компенсации действия сил F_a нужно существенно более слабое внешнее поле, чем для компенсации поля зеркальных сил. Как видно из таблицы, поле сил F_a реально распространяется почти до 100 \AA . Грубо можно считать, что средняя напряженность поля составляет $5B / 100 \text{ \AA} = 5 \cdot 10^6 \text{ В/см}$, что неплохо согласуется с экспериментальными данными, в соответствии с которыми автоэлектронная эмиссия с поверхности вольфрама начинается при $7 \cdot 10^6 \text{ В/см}$, [38, с.518]. Более того, теперь мы имеем некоторый запас, который легко «съедается» тем, что поле барьера на самом деле не линейное, и на определенном участке его напряженность превышает среднее значение. С другой стороны, учет действия бóльшего числа атомов, чем это имеет место в (6.6), приводит к тому, что кривая $U(x)$ будет иметь еще более пологий ход.

Следует отметить, что для наблюдения холодной эмиссии полное снятие барьера необходимо только для $T = 0 \text{ К}$. При более высоких температурах в металле всегда найдется небольшое число электронов с энергией, достаточной для преодоления существенно пониженного барьера. Образовавшийся при этом электрический ток немного подогреет острие катода, ток увеличится, увеличится подогрев и т.д. – ситуация будет развиваться как при поджиге электрического разряда.

Очевидно, что кривая на рис.6.11 представляет правую стенку потенциальной ямы электрона в металле, точнее – на поверхности металла. Что касается левой стенки и дна потенциальной ямы, то мы видели, что кривая на рис.6.8 не может представлять кривую потенциальной энергии электрона в металле, поскольку известно, что электрон не может свободно проходить даже сквозь очень тонкую металлическую фольгу. Это значит, что на поверхности металла электрон испытывает на себе отталкивающее действие со стороны других электронов. Графически это можно изобразить в виде потенциальной стенки слева, но поскольку эта стенка не является постоянной во времени, ее нужно изобразить по-другому, например с помощью штриховой линии, рис.6.12. Вполне возможно, что при $T = 0 \text{ К}$ ее можно изобразить и сплошной линией.

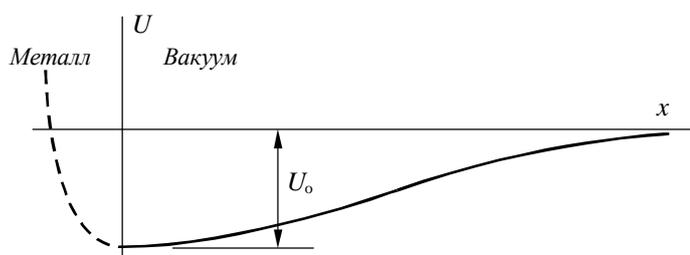


Рис. 6.12. Кривая потенциальной энергии электрона на поверхности металла.

Если мы хотим рассмотреть электрон не на поверхности, а внутри металла, то кривую его потенциальной энергии следует изобразить штриховой линией в виде кривой, имеющей симметричные левую и правую стенки, такие как левая стенка на рис.6.12, причем независимо от того, рассматриваем мы электрон как частицу жидкости или как частицу электронного газа.

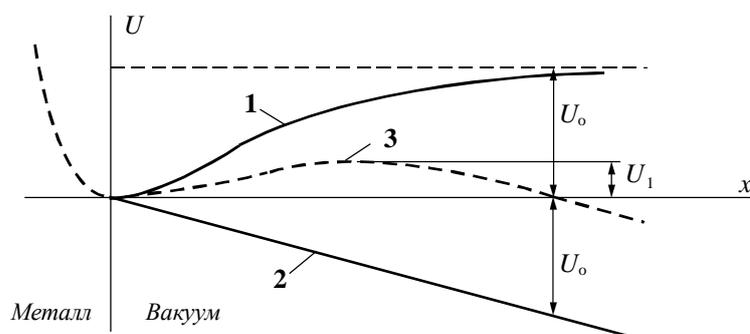


Рис. 6.13. Понижение поверхностного барьера внешним полем. 1 – поле поверхностного барьера, 2 – внешнее вытягивающее поле, 3 – результирующее поле

Потенциальная яма на рис.6.12 одинаково хорошо объясняет как явления термоэлектронной и фотоэлектронной эмиссий, так и эффект Шоттки. Явление холодной эмиссии в этом случае (случае относительно мелкой ямы с пологой правой стенкой) – это не что иное, как эффект Шоттки при больших напряженностях внешнего поля, рис.6.13, однако теперь электроны с энергией U_1 преодолевают пониженный барьер и покидают металл в соответствии с законом сохранения энергии.

С полученным результатом мы можем возвратиться к анализу экспериментов, представленных на рисунках 6.2. и 6.3. Для нас теперь очевидно, что левый барьер понизится внешним полем с большей напряженностью существенно больше, чем правый, и электроны с энергией E_1 свободно, в соответствии с законом сохранения энергии, преодолеют барьер, но с этой энергией долетят только до точки B , т.е. до анода не доберутся, поскольку второй поверхностный барьер понижен более слабым полем на меньшую величину – до величины E_2 , рис.6.14. Глядя на рисунок 6.3, можно только удивляться, с каким арсеналом люди осмеливаются выступать против закона сохранения энергии.

В завершение разговора об автоэлектронной эмиссии можно сказать, что в рациональной физике, по-видимому, следует придерживаться следующего принципа: если физическая картина кажется предельно ясной и никакого другого выхода, как усомниться в справедливости закона сохранения энергии не видно, усомниться нужно в ясности картины, или, на крайний случай, искать более общий закон сохранения. В истории физики похожая ситуация повторялась уже не один раз – и Земля должна была на чем-то покоиться, и камни с высокой башни должны были падать наклонно, и поток воздуха на экваторе должен был все сдувать, и эфирный ветер должен был влиять на интерференционную картину, и электроны пока еще должны знать наперед, какой толщины барьер находится перед ними, чтобы решить, стоит или не стоит им рыть туннель, и т.д.

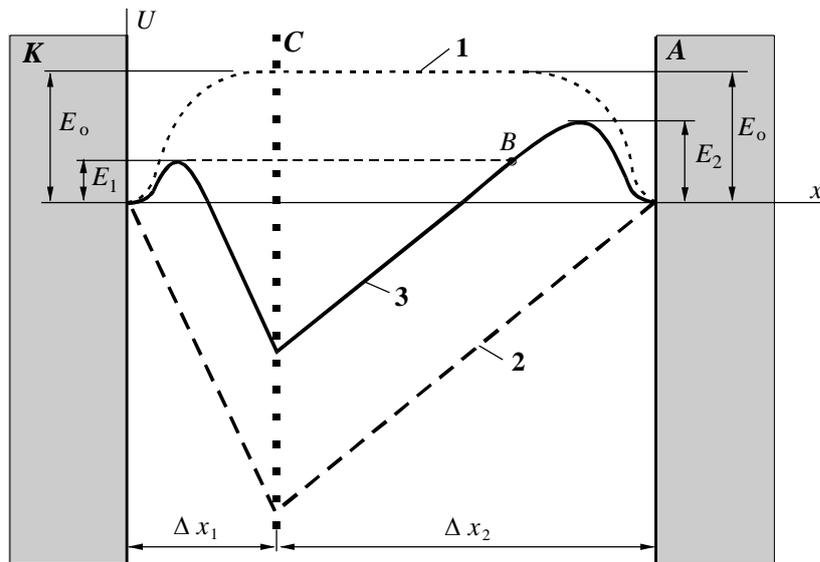


Рис. 6.14

Очевидно, что логическим следствием из этого принципа можно считать утверждение, что если физическая картина кажется ясной, и законам сохранения при этом ничего не угрожает, то проблему объяснения результатов исследований с большой степенью надежности можно считать решенной. Однако и в этом случае не следует забывать, что ясность иногда проявляется как одна из форм полного тумана. Чтобы лишний раз убедиться в этом, достаточно вспомнить о гипотезе теплорода.

Довольно яркий пример достижений новой физики представляет рисунок 6.15, заимствованный из [9]. На рисунке показано, по мнению авторов, «кривую потенциальной энергии и уровни электронов атома лития». Аналогичные рисунки можно найти практически во всех учебниках по физике твердого тела. Если задаться вопросом, кривая взаимодействия каких объектов там представлена, то ответ получить невозможно, поскольку во взаимодействии участвуют четыре объекта, и все четыре изображены на рисунке, а кривую взаимодействия мы умеем строить только для двух объектов.

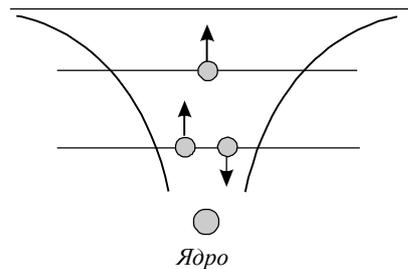


Рис. 6.15, (рис.5. с.405 [9])

Если это кривая потенциальной энергии внешнего электрона в поле иона Li^+ , то остальные электроны вместе с ядром должны выступать как одно целое и, поэтому, не могут быть изображены на рисунке по отдельности. Если кривая представляет зависимость потенциальной энергии внутреннего электрона ($1s$ -электрона) в поле ядра, то остальные электроны также не могут быть изображены на рисунке. Заметим, что из рисунка также следует, что ион для электронов прозрачный (отсутствует кривая отталкивания), а кривые взаимодействия уходят в бесконечность. Рисунок, таким образом, можно рассматривать только как очень условную схему, иллюстрирующую, с одной стороны, закон Кулона и принцип Паули, и, с другой стороны, наглядно

показывающую, что для удаления того или иного электрона нужно израсходовать ту или иную величину энергии.

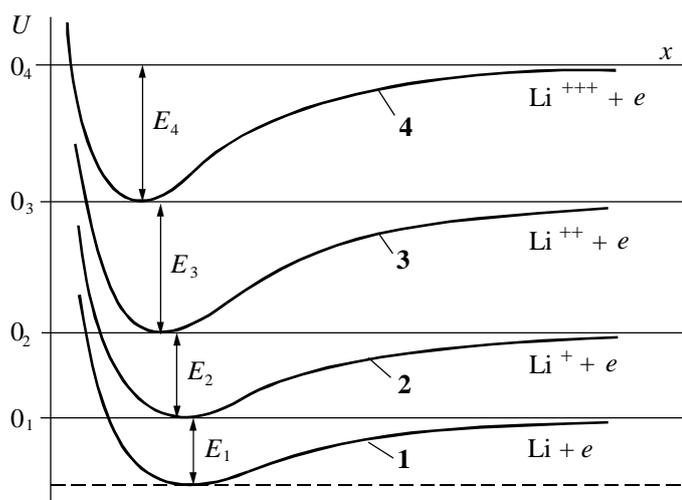


Рис. 6.16

Если рисунок 6.15 не может иллюстрировать взаимодействие электронов в атоме лития, то возникает вопрос: а какой может? Из экспериментов известно, что существуют такие объекты, как Li^{+++} , Li^{++} , Li^+ , Li и Li^- , следовательно, кривые взаимодействия можно строить для таких пар: $\text{Li}^{+++} + e$, $\text{Li}^{++} + e$, $\text{Li}^+ + e$, $\text{Li} + e$. Как и в случае молекул, эти кривые можно собрать на одной сетке координат, если известны энергии переходов из одной взаимодействующей пары в другую. На рисунке 6.16 представлена примерная схема взаимодействия электрона с различными остовами. Рисунок нужно читать следующим образом. Если внешнему электрону иона Li^- (кривая 1) сообщить энергию E_1 (энергию сродства к электрону), то электрон оторвется, и ион Li^- превратится в нейтральный атом Li в основном состоянии, кривая 2. Для отрыва электрона от атома Li нужна уже бóльшая энергия – E_2 , при этом атом превратится в положительный ион Li^+ и т.д. Равновесные расстояния при этом оказываются каждый раз все меньшими и меньшими.

На рисунке 6.16 кривые взаимодействия приведены только для основных состояний. Переходы снизу вверх означают отрыв электрона, сверху вниз – рекомбинацию. Если учесть, что у атомов имеется довольно много (десятки) обычных, а также автоионизационных возбужденных состояний (кроме одноэлектронных объектов), то становится понятным, что на самом деле рисунок 6.16 представляет только незначительную часть картины взаимодействия четырех объектов атома лития. Мы полагаем, что теперь, учитывая сказанное, полезно будет сравнить рисунки 6.15 и 6.16.

Отметим, что в литературе можно встретить кривые взаимодействия только для пар *электрон – протон* (атом водорода) и *электрон – позитрон* (атом позитрония). Для других атомов ограничиваются изображениями энергетических уровней атома как целого, хотя потенциальные кривые намного информативнее.

Очень сильным аргументом в пользу новой физики считаются эффекты Джозефсона. Это очень серьезный аргумент, поскольку явление сначала было предсказано теоретически (в 1962 году), причем в двух возможных вариантах, и в обоих вариантах было получено экспериментальное подтверждение. Более того, в настоящее время приборы, базирующиеся на эффекте Джозефсона, выпускаются промышленностью серийно.

Вкратце сущность явления в следующем. Имеются два проводника в сверхпроводящем состоянии, разделенные между собой тонким слоем диэлектрика ($\sim 10 \text{ \AA}$, несколько атомных слоев). Если к этому сэндвичу подключить источник

электрического напряжения, то амперметр покажет наличие в цепи электрического тока, рисунок 6.17 (рисунок заимствован из книги [41]). В зависимости от величины электрического тока наблюдаются два варианта эффекта.

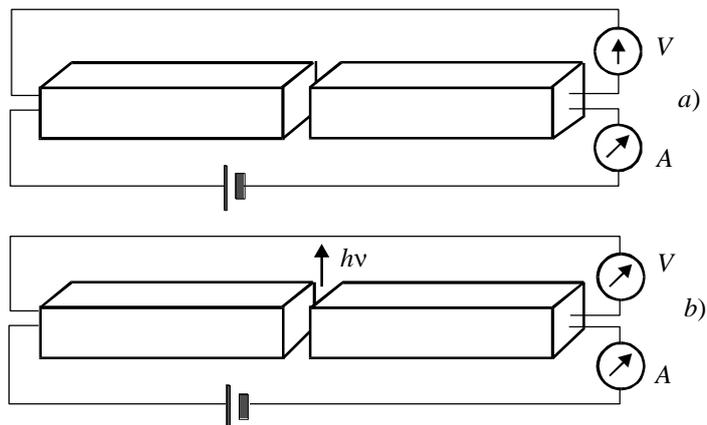


Рис. 6.17, (рис.7.18 из [41])

1. В цепи протекает электрический ток, однако напряжение на концах сверхпроводников отсутствует, как будто диэлектрический слой также находится в сверхпроводящем состоянии. Это явление называют стационарным эффектом Джозефсона.

2. При увеличении электрического тока, начиная с некоторого значения тока, на концах сверхпроводников появляется напряжение, а из щели излучаются кванты энергии $h\nu$. Частота излучения при этом связана с перепадом напряжения U на диэлектрическом слое следующей зависимостью:

$$h\nu = 2eU \quad (6.7)$$

Это явление называют нестационарным эффектом Джозефсона.

Теория эффекта Джозефсона исходит из предположения, что диэлектрический слой между сверхпроводниками представляет собой потенциальный барьер для электронов, при этом электроны двигаются в металле объединенными в куперовские пары. В соответствии с этой теорией электронные пары имеют возможность туннелировать сквозь потенциальный барьер, и величина туннельного тока определяется из соотношения:

$$I = I_0 \sin \varphi \quad (6.8)$$

где I_0 – максимальный ток сквозь барьер, пропорциональный площади поперечного сечения туннельного перехода и прозрачности барьера;

φ – разность фаз волновых функций куперовских пар по обе стороны барьера.

Относительно этого объяснения можно сделать следующие замечания. Во-первых, толщина барьера 10 \AA в атомных масштабах – это совсем не маленькая величина. Во-вторых, в соответствии с общими соображениями вполне законными можно считать следующие вопросы: почему в этом случае вероятность просочиться сквозь барьер (пусть не для отдельного электрона, а для куперовской пары) реализуется ровно на 100 процентов, и почему в этом случае микрообъекты не могут реализовать свои отличные от нуля вероятности отразиться от барьера? А ведь вроде бы существует еще и такое «специфически квантовое явление», как надбарьерное отражение. Очевидно, что если бы механизм отражения работал хоть чуть-чуть, никакой сверхпроводимости бы не наблюдалось.

Само собой понятно, что психологически очень трудно решиться на переосмысливание данных эксперимента, полученных ранее на кончике пера (явление на самом деле наблюдали и до работы Джозефсона, но на него не обращали внимания,

поскольку считали «приборным эффектом»). Следует, однако, заметить, что если бы в свое время экспериментальная техника позволила зафиксировать разницу в весе холодного и нагретого тела, то после такого экспериментального доказательства факта существования теплорода авторам молекулярно-кинетической теории тепла было бы очень трудно отстаивать свою точку зрения.

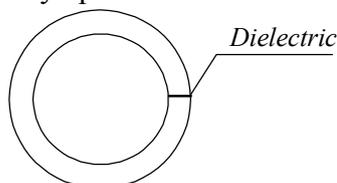


Рис. 6.18, [39].

Что касается стационарного эффекта, то в рамках классической физики его наиболее просто можно объяснить на примере работы простейшего квантового магнитометра, датчиком которого является сверхпроводящее кольцо с джозефсоновским контактом, рисунок 6.18. Переменным внешним полем в кольце можно возбудить электрический ток. Если кольцо находится при температуре сверхпроводящего состояния, электрический ток в кольце не затухает, несмотря на то, что электрическая цепь разорвана слоем диэлектрика.

Для объяснения этого явления с позиции рациональной физики воспользуемся образом электронной жидкости. Этот образ автоматически следует из образа электрона как электромагнитного соли-тона, размеры которого в свободном состоянии сравнимы с размерами атомов. Известно, что чем ниже температура металла, тем эффективнее электроны объединяются в пары, поэтому грубой, но яркой моделью электронной жидкости может послужить система связанных тел в виде железнодорожного состава, совершающего движение по замкнутой колее, на небольшом участке которой имеется препятствие ABC , рис. 6.19. Масса всех вагонов одинаковая, масса локомотива равна массе вагона. Локомотив упруго соединен как с первым, так и с последним вагоном.

Для отдельного вагона форма кривой взаимодействия с железнодорожным полотном совпадает в цилиндрических координатах с формой самой колее (с точностью до коэффициента). Как уже было показано ранее, чем больше вагонов в составе, тем больше расплывается потенциальный барьер как барьер на кривой взаимодействия, и тем меньше его высота. Очевидно, что если система замыкается, то энергия движения, отданная на участке AB , в то же самое время отдается системе на участке BC . Это значит, что для замкнутого состава барьера на кривой взаимодействия не существует. По сути дела, в этом случае уже нельзя даже ввести понятия кривой взаимодействия. Теперь движение следует рассматривать как внутреннее движение системы, и говорить можно только об уровне энергии, как это делают в физике атома.

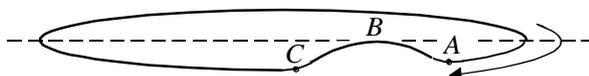


Рис. 6.19

Если при движении системы отсутствует различного вида трение, то состав совершает свое движение по кругу без потребления энергии – в полной тишине и неограниченно долго. Очевидно, что отсутствие звука в этом случае соответствует отсутствию излучения в стационарном эффекте Джозефсона, и мы имеем аналог ламинарного течения электрической жидкости в джозефсоновском кольце, если допустить, конечно, что электрон представляет собой некую разновидность электромагнитного солитона, и что электронные пары при низких температурах могут объединяться в цепочки. Мы полагаем, что закон сохранения энергии и приставка «рациональная» к науке физике стóят такого допущения.

При определенной скорости движения сцепление между вагонами может не выдержать, и тогда участок пути BC вагоны будут преодолевать по отдельности (или парами – в зависимости от того, как будут рваться связи). Если в точке C часть энергии движения вагонов будет расходоваться на генерирование звука, то мы получим аналог нестационарного эффекта Джозефсона, где энергия уходит из системы в виде электромагнитного излучения.

Если изложенное здесь верно отражает реальность, то излучение из диэлектрического слоя должно наблюдаться не только в сверхпроводящем состоянии, но и в обычном режиме, только куперовские пары теперь будут разрушены, и электроны будут преодолевать участок BC поодиночке. Это значит, что частота излучения будет определяться из соотношения:

$$h\nu = eU \quad (6.9)$$

Перед тем как приступить к рассмотрению еще одной важной проблемы, нам нужно рассмотреть вопрос размещения энергетических уровней волнового объекта в потенциальной яме. Потенциальную яму, имеющую потенциальные стенки и дно, хорошо представляет функция

$$U = \frac{A}{r^2} - \frac{B}{r} \quad (6.10)$$

Положение энергетических уровней волнового объекта в такой яме определяется решением волнового уравнения Шредингера:

$$E_n = \frac{2B^2 m}{\hbar^2} \left[2p+1 + \sqrt{(2l+1)^2 - \frac{8mA}{\hbar^2}} \right]^{-2} \quad (6.11)$$

Из этой формулы видно, что если плавно изменять глубину ямы – постепенно увеличивать A или уменьшать B , или увеличивать A и одновременно уменьшать B – положение энергетических уровней будет плавно изменяться, рисунок 6.20, но при этом каждому уровню на рисунке a можно поставить в соответствие уровень на рисунке b . Ни один уровень при этом не исчезнет, не добавится и не расщепится, и это объясняется тем, что центральная симметрия силового поля в этой процедуре не изменяется.

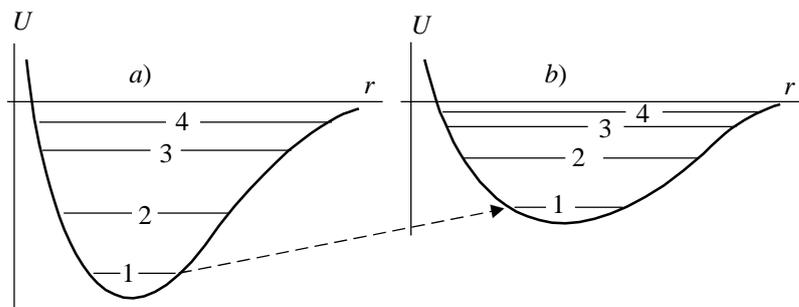


Рис. 6.20. Влияние формы потенциальной ямы на положение энергетических уровней.

Если систему, изображенную на рисунке 6.20, поместить в силовое поле типа $U = -k \cdot r$, то форма потенциальной ямы изменится, рис.6.21.

$$U = \frac{A}{r^2} - \frac{B}{r} - k r \quad (6.12)$$

В этом случае сферическая симметрия силового поля нарушится, и число способов ориентации волнового объекта в таком поле увеличится, – уровни расщепятся на подуровни. Очевидно, что чем больше k , тем больше понизится барьер справа, и тем меньшей окажется работа выхода объекта ($E'_0 < E_0$). По сути дела, здесь мы имеем «эффект Шоттки для отдельного атома». Очевидно также, что чем больше k , тем плотнее размещаются уровни, и в пределе они сольются с дном потенциальной кривой,

но выше барьера дискретных уровней не окажется, выше границы ионизации энергия волнового объекта может иметь любое значение.

Изложенное здесь относительно положений энергетических уровней в потенциальной яме иначе как очевидным назвать трудно, однако в литературе, в физике твердого тела (в зонной теории) так не считают. При изложении основ зонной теории обычно приводят иллюстрацию того, как энергетические уровни электрона в отдельном атоме размываются в зоны при объединении атомов в твердое тело, рисунок 6.22. Этот рисунок заимствован из [40, с.144]. Считается, что на рисунке *a* изображена кривая потенциальной энергии и уровни электронов в отдельном атоме натрия, а на рисунке *b* – кривая потенциальной энергии и уровни электронов в кристалле натрия.

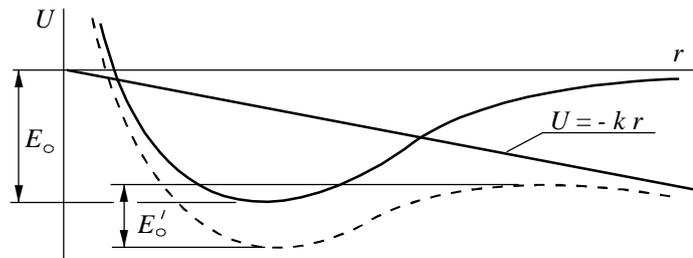


Рис. 6.21. Понижение потенциального барьера справа внешним полем.

Мы уже видели, что рисунок типа 6.22, *a* не может представлять кривую взаимодействия электрона с ядром. Подобные рисунки очень коварны, ибо заподозрить в них неладное довольно трудно. Глядя на рисунок, мы интуитивно представляем себе кулоновское поле ядра и размещенные в этом поле электроны, которые притягиваются силовым центром по-разному: подоспевшие первыми – сильнее, опоздавшие – слабее. В атоме натрия наиболее слабо связан подоспевший последним одиннадцатый *3s*-электрон, а больше атом натрия практически не желает принимать.

Анализируя рисунок 6.22, нетрудно также представить себе, как внешнее поле может немного «продавить» поле ядра и барьер для электрона понизится, см. рис.6.21. Если источником внешнего поля является соседний атом, то интерпретация понижения барьера, представленная на рис.6.22, *b*, также не вызывает подозрений. Однако при более внимательном рассмотрении этого рисунка мы обнаруживаем, что уровни *3s*-электрона не опустились вниз при понижении барьеров, как это должно было произойти, и как это было показано выше, а «зависли» над межатомными барьерами. Особенно странным этот результат выглядит для внутренних атомов, – барьеры понижены слева и справа, а *3s*-уровни «парят» над ними.

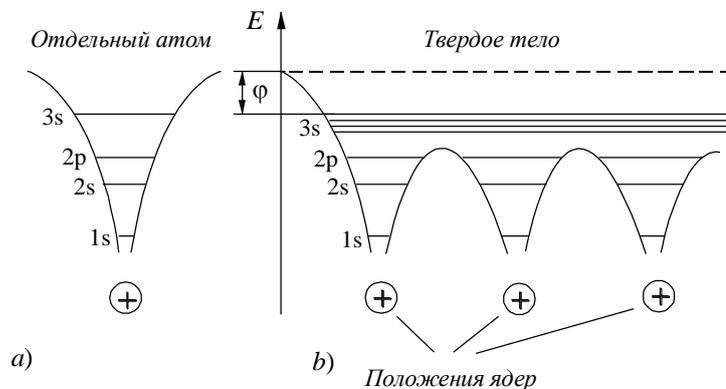


Рис. 6.22, (рис.7.4 из [40])

Можно допустить, что причина зависания энергетических уровней в таких потенциальных ямах состоит в том, что электрон в кристалле не существует как частица, а расплывается в электронную волну, которая своими краями «упирается» в

потенциальные стенки, т.е. в приповерхностные барьеры твердого тела. Для проверки этого предположения представим себе большой кусок металла, например, контактную проволоку на железной дороге. Пусть эксперимент с этим куском металла проводится абсолютно темной ночью – ни одного фотона. На одном конце проволоки светят фонариком, фотоны которого способны вырвать с металла электрон. Если длина проволоки составляет, скажем, 1 000 километров, что вполне реально, и электрон расплылся в этом ящике от стенки к стенке, как в этом случае он может взаимодействовать с фотоном, явно локализованным в очень малом объеме, если электрону для того, чтобы свернуться в корпускулу, необходимо как минимум $1/300$ секунды? Из экспериментов же известно, что инерционность фотоэффекта составляет примерно 10^{-8} с.

Если же электрон в металле остается корпускулой, а от стенки к стенке расплывается волна вероятности обнаружить его в данном месте, как в этом случае электрону реализовать одинаковую вероятность обнаружения его на разных концах проводника? Какие силы могут гонять его по проводнику? Отметим, что реальная скорость дрейфа в замкнутой электрической цепи составляет всего несколько метров в сутки, а для того, чтобы свободные электроны могли прошить тонкую фольгу, нужны энергии в десятки *кэВ*.

Еще один аргумент. Если бы электрон мог в проводнике двигаться почти свободно, то эту ситуацию нетрудно промоделировать в лабораторных условиях. В вакуумированном пространстве с помощью металлических сеток и соответствующих электрических потенциалов совсем нетрудно организовать такую потенциальную яму, какую для электрона представляет (по литературным данным) кусок металла, смотри рисунок 6.8. Для этого нужно иметь всего шесть сеток, источник постоянного напряжения и один электрон, рис.6.23. Величина U_0 здесь соответствует работе выхода с металла, U_1 – энергии движения электрона в металле, Δx – размеру куска металла. Имея энергию U_1 , электрон может проникнуть в пространство с тормозящим для него полем между сетками 2 и 3 до поворотной точки *A*, после чего поле станет для него ускоряющим, и возвратит его в эквипотенциальное пространство между сетками 3 и 4.

Анализируя этот рисунок, разве можем мы сомневаться в том, что электрон в такой яме может иметь непрерывный спектр энергий? Разве можем мы сомневаться в том, что если в данный момент электрон находится в точке *A*, то в точку *B* он прибудет только через строго определенное время, а не в соответствии с вероятностной концепцией? Разве можем мы сомневаться в том, что электрон в эквипотенциальном пространстве между сетками 3 и 4 может находиться неограниченно долго, т.е. лежать на дне потенциальной ямы?

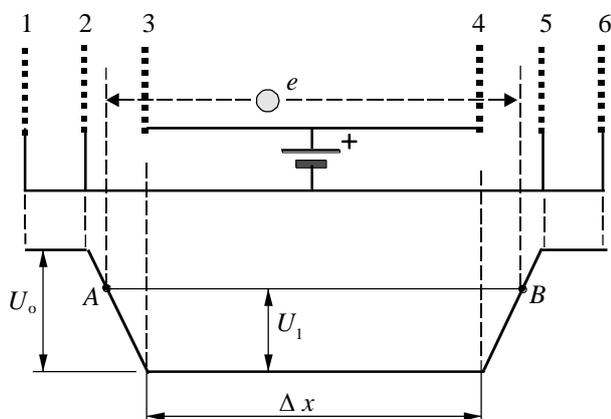


Рис.6.23

Рисунки типа 6.22 имеют еще один очень серьезный недостаток. Обычно они сопровождаются подписью, что это кривая потенциальной энергии электрона в твердом

теле. Однако даже при не очень внимательном рассмотрении нетрудно увидеть, что на самом деле это не так. Дело в том, что если считать, что это кривая взаимодействия, то первым делом нужно ответить на вопрос, каким путем электрон пытается двигаться относительно кристаллической решетки, как он пытается взаимодействовать с решеткой (для упрощения предполагаем, что атомы образуют кубическую решетку)? Если электрон очень упрямый, он может попытаться двигаться вдоль оси, на которой размещены атомы. В этом случае кривая взаимодействия будет иметь примерно такой вид, как на рисунке 6.24. При приближении к первому атому электрон будет испытывать небольшое притягивание, обусловленное наличием у атомов сродства к электрону, которое затем сменится отталкиванием со стороны других электронов (максимум 1 на рисунке). Ближе к ядру силы притягивания со стороны ядра сменятся силами отталкивания, если ядро не прозрачное для электрона (максимум 2). Далее ситуация симметрично повторится. Само собой понятно, что энергии электронов, которую они могут иметь в твердом теле (единицы эВ), недостаточно для того, чтобы преодолеть даже первый барьер (тысячи эВ), не говоря уже о втором максимуме (миллионы эВ). Как видим, эта кривая существенно отличается от кривой на рисунке 6.22, *b*.

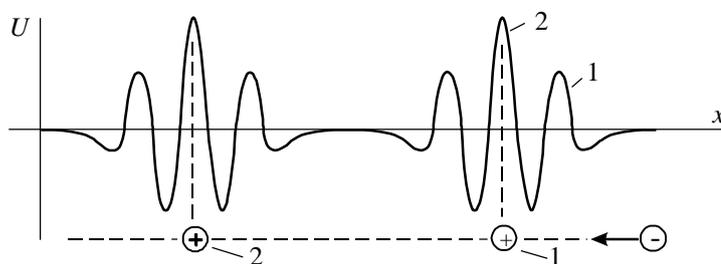


Рис. 6.24

В случае, если электрон пытается двигаться по центру междоузлий, а другой возможности у него практически нет, притягивающее действие со стороны одного из атомов компенсируется действием других атомов, и в целом кривая взаимодействия может иметь вид потенциальной ямы с плоским дном. Но это идеализированный вариант. В металле движению электрона будут препятствовать другие свободные электроны, причем независимо от размеров – как точечные, так и в виде электромагнитных солитонов. В диэлектрике траектория движения электрона вдоль оси междоузлий также не является устойчивой – вследствие тепловых толчков со стороны атомов электрону нетрудно свернуть с «центральной дороги», и тогда он окажется захваченным одним из атомов, создавая своим полем препятствие для движения других электронов. Наличие и действие этого механизма подтверждается экспериментально – в диэлектрик можно силой вогнать достаточное количество свободных электронов (электронной пушкой высоких энергий), но образец при этом не становится проводником. Он скорее разрушится статическим электричеством, чем пропустит через себя электрический ток.

Все это означает, что кривая взаимодействия и в этом случае сильно отличается от кривой на рисунке 6.22, но теперь уже законным должен быть другой вопрос: какое доверие мы должны проявлять к разделу науки, который базируется на целом ряде грубых ошибок? Каких результатов можно достичь на таком пути?

Добытые выше «результаты» положены в основание так называемой зонной теории, которая широко используется для объяснения различных свойств твердых тел. В соответствии с этой теорией все значения энергии, которую электроны могут иметь в твердом теле, делятся на три категории. Если энергия электронов такова, что в своем движении они оказываются связанными со своими атомами и не могут перемещаться по междоузлиям, то говорят, что совокупность их энергетических уровней образует

валентную зону E_v . Для того, чтобы оторвать электрон от атома, ему нужно сообщить определенную энергию, не меньшую некоторого значения. Разницу в энергиях между верхним уровнем валентной зоны и наименьшей энергией, при которой электрон становится свободным, называют зоной запрещенных для электрона значений энергий, или просто запрещенной зоной ΔE . Совокупность уровней выше запрещенной зоны называют зоной проводимости E_c , рис.6.25.

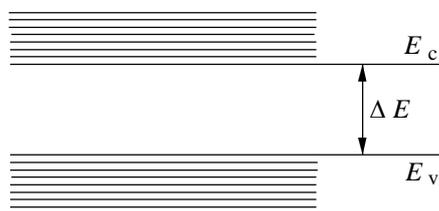


Рис. 6.25

В зависимости от ширины запрещенной зоны все твердые тела делятся на металлы ($\Delta E = 0$ эВ), полупроводники ($\Delta E \leq 2-3$ эВ) и диэлектрики ($\Delta E > 2-3$ эВ). Как видно из приведенных цифр, четкой границы между полупроводниками и диэлектриками не существует.

При низких температурах у полупроводников и диэлектриков все электроны находятся около своих атомов и не могут переходить от атома к атому – полупроводники и диэлектрики при низких температурах не проводят электрический ток. В этом случае говорят, что движение в валентной зоне невозможно. Оно оказывается возможным только в случае, если хотя бы у одного из атомов оторвать электрон (на диаграмме 6.25 – перевести его в зону проводимости). В образовавшуюся на месте электрона «дырку» может переключиться электрон соседнего атома, оставив при этом такую же дырку на своем прежнем месте и т.д. Внешнее электрическое поле может упорядочить это движение. В зонной теории оно называется дырочной проводимостью. Считается, что электрон в этом случае передвигается от атома к атому сквозь разделяющие их потенциальные барьеры, – т.е. посредством туннелирования, при условии, что «энергетический уровень с противоположной стороны барьера не занят». В принципиально новой физике электрон знает наперед не только каковы высота и толщина потенциального барьера, но и имеется ли с противоположной стороны подходящий энергетический уровень, и не занят ли он – т.е. стоит или не стоит туннелировать. В последовательно квантовой теории подобные вещи не являются ни обвинением, ни парадоксом, ни бессмыслицей, ни крестом на теории, но яркой иллюстрацией «удивительной красоты квантового мира».

Следует отметить, что действие механизма туннелирования из рисунка 6.25 никак не следует, ибо, как и в случае энергетических уровней отдельных атомов, абсцисса здесь используется для удобства изображения и не представляет никакой физической величины. Не добавляет ясности и попытка представить «занятость» и «свободность» энергетических уровней с помощью темных и светлых кружочков – электронов и дырок соответственно.

При анализе влияния внешних полей на положение энергетических уровней абсциссе, без должного при этом обоснования приписывают размерность длины, подразумевая под ней расстояние вдоль стороны образца твердого тела. Энергия электронов, таким образом, оказывается зависимой от расстояния, а это уже потенциальная кривая взаимодействия. В большинстве случаев эта кривая воспринимается как полноценная потенциальная кривая, когда искривленный ее участок трактуют как наличие потенциального барьера, высота и ширина которого может изменяться внешним полем, и т.д.

Пример такой трактовки приведен на рисунках 6.26, рисунки заимствованы из [41]. На этих рисунках показан контакт «металл – полупроводник». Металл заштрихован более плотными штрихами. У полупроводника показаны валентная зона E_v и зона проводимости E_c , а также уровни Ферми в металле μ_m и полупроводнике μ_s . При анализе ситуации исходят из того, что у металла работа выхода больше, чем у полупроводника. В этом случае электроны перетекают из полупроводника в металл, обнажая положительный заряд ядер в приконтактной области. Это будто бы должно в конечном итоге привести к искривлению энергетических зон в области контакта и созданию потенциального барьера.

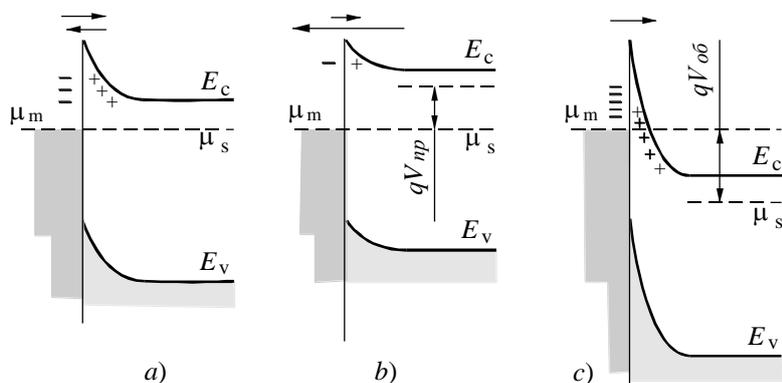


Рис. 6.26, (рис.8.20 из [41])

Приводимая далее цитата призвана лишней раз убедить читателя в том, что в литературе искривленные зоны трактуют как кривые взаимодействия, наклоненные участки которых представляют собой потенциальные барьеры (или ускоряющие участки – в зависимости от того, в какую сторону относительно кривой движется объект), которые внешним полем можно повысить, понизить или вообще убрать. Читаем: «При приложении прямого смещения высота потенциального барьера для электронов, идущих из полупроводника в металл, понижается (рисунок.8.20, *b*), поток электронов из полупроводника в металл резко возрастает и через контакт идет прямой ток. При обратном смещении ток насыщения обусловлен электронами, перелетающими из металла в полупроводник *n*-типа (рис.8.20, *c*)», [41, с.233].

Уважаемый читатель! Мы не выбирали специально книгу, в которой этот вопрос изложен неудачно. Наоборот, цитируемая книга, по нашему убеждению, относится к числу таких, в которых материал изложен наиболее ясно.

Подробный анализ проблем, связанных с рисунком 6.26, занял бы очень много времени и места, но мы теперь интересуемся только одной из них – проблемой трактовки искривления энергетических зон. Сравнивая рисунки 6.26, мы видим, что кривые здесь трактуются как кривые взаимодействия (т.е. кривые потенциальной энергии), поскольку электрон, движущийся в зоне проводимости в сторону металла, натывается на потенциальный барьер, и от того, может или не может он преодолеть барьер (сколько у него энергии), зависит величина электрического тока (стрелки над барьерами). Из рисунков видно, что в случае *b* барьер понижен существенно, и это приводит к увеличению (по сравнению со случаем *a*) электронного тока в сторону металла – длинная стрелка. В случае *c* потенциальный барьер повышен настолько, что электронный ток в сторону металла отсутствует.

К сожалению, такая трактовка искривления энергетических зон не является единственной. Принцип художественного восприятия истины допускает многовариантность трактовки понятий. Пример иной, противоположной, трактовки искривления энергетических зон приведен на рисунке 6.27, [41, с.240]. Обозначения здесь те же, что и на рисунках 6.25 или 6.26, поскольку все рисунки с одной и той же книги. Координата x представляет здесь расстояние вдоль образца. Интервал $x < x_1$

соответствует движению электронов в полупроводнике p -типа, интервал $x > x_2$ – движению в полупроводнике n -типа и интервал $x_1 < x < x_2$ – движению в p - n -переходе. К p - n - переходу приложено достаточно высокое обратное смещение. Рисунок *a* иллюстрирует туннелирование электронов сквозь p - n -переход при туннельном пробое, рисунок *b* – при лавинном пробое.

Если анализируемые кривые теперь, как и прежде, представляют кривые потенциальной энергии, то валентный электрон в точке $x = x_1$ (точка *A* на кривой E_v) находится в начале ускоряющего участка силового поля и в точке $x = x_2$ уже должен иметь энергию E_1 (обозначение добавлено нами).

Этот наш примитивный вывод базируется на законе сохранения энергии и заблуждении, что зависимость энергии от расстояния представляет кривую взаимодействия. Современная квантовая теория свободна от этих недостатков, она предписывает смотреть на вещи широкó и раскованно. Если явление удастся объяснить в рамках классической физики, то это хорошо, если нет, то это даже лучше – появляется шанс открыть «специфически квантовое явление».

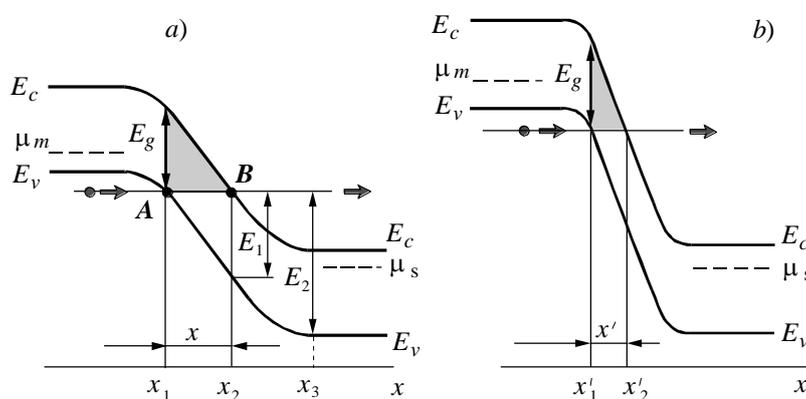


Рис. 6.27, (рис 8.25 из [40])

В рассматриваемом примере считается, что электрон в точке *A* натывается не на ускоряющий участок, как это следует из рисунка при традиционном чтении потенциальных кривых, а на потенциальный барьер высотой E_g и шириной x (или x' в случае лавинного пробоя). Читаем: «В этом случае возможен прямой туннельный переход электронов из валентной зоны p -области в зону проводимости n -области, просачивающихся сквозь потенциальный барьер толщиной x и высотой, меняющейся от E_g в точке x_1 до 0 в точке x_2 », [41, с.239]. Как видим, в этом случае, по сравнению с ситуацией, изображенной на рисунке 6.26, искривление энергетических уровней трактуется уже противоположным образом.

В литературе, к сожалению, не дают рецепта, который бы помог нам при решении вопроса, как в каждом конкретном случае нужно понимать искривление энергетических зон. Решение должен принимать каждый самостоятельно, на уровне подсознания, а это уже искусство. Здесь своя, особая шкала ценностей. Чтобы подчеркнуть разницу в сравниваемых ценностях, еще раз воспользуемся аналогиями из искусства.

Если вы, уважаемый читатель, рисуете в реалистической манере и можете выполнить копию, скажем, Джоконды, так, что только углеродный анализ в состоянии отличить ее от оригинала, то ваше умение также будет оценено должным образом, и вы получите довольно высокое признание – в отдельных случаях могут даже посадить. Если же вы создаете в ирреалистическом стиле (вероятнее всего вообще не умеете рисовать, но числиться в художниках очень хочется, потому что это престижно, да и работа не пыльная), шедевр типа «Черного квадрата» вы можете скопировать минут за 15–20, включая перерыв на чашку кофе. Сам автор шедевра при этом, скорее всего, не смог бы отличить вашу копию от его оригинала, но, несмотря на это, никакого

признания вы не получите. Здесь шкала ценностей совсем другая. Здесь решающую роль играет фактор времени, – кто первым сделал интеллектуальный прорыв, тот и талант.

В физике аналогичную ситуацию иллюстрирует рисунок 6.27. Кто первым додумался, что ускоряющий участок кривой можно объявить барьером, тот и умница. Остальные делятся на интеллектуалов, до которых «тоже дошло» (тоже умницы, но опоздали), и на безнадежно отставших, вроде Шредингера. Вспомним слова Эйнштейна по аналогичному поводу: «Положение отчаянное, ничего понять невозможно».

Анализ рисунка 6.27 вынуждает нас возвратиться к рассмотрению еще одной стороны туннельного эффекта – к вопросу пребывания квантового объекта под потенциальным барьером. Как видно из рисунка, электрон сперва пребывает под потенциальной кривой E_v , пока не наткнется на точку A , а затем – под кривой E_c , пока не доберется до точки B . Именно эту ситуацию мы имели в виду, когда подробно анализировали рисунки 1.13 и 1.17. Теперь вопрос можно поставить так: «Где находится объект в момент времени, когда его уже нет с одной стороны барьера, но еще нет с противоположной? Если он может находиться внутри барьера, то чем он там занимается?». Предполагаем, конечно, что движение со скоростью, большей скорости света, невозможно, т.е. на преодоление барьера нужно определенное время – мгновенный переход невозможен. Кроме этого предполагаем, что объект не может одновременно находиться по обе стороны барьера или же исчезать на некоторое время.

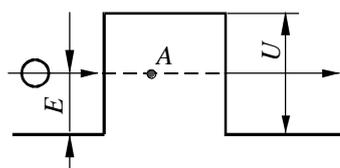


Рис. 6.28, (рис.4.1 из [4])

Пример ответа можно привести из книги Л.В Тарасова, который не обходит острые углы молчалием и не прячет мусор под ковром: «Предположим, что имеется потенциальный барьер, высота которого U больше, чем энергия E частицы. Поставим вопрос: может ли частица, находясь где-то слева от барьера, оказаться через некоторое время справа от него при условии, что она не получает энергии извне? Классическая механика дает отрицательный ответ – классическая корпускула не может «пройти» под барьером: если бы это случилось, то, например, в точке A на рис. 4.1 полная энергия частицы оказалась бы меньше ее потенциальной энергии, что физически абсурдно.

Остается ли этот вопрос в силе и для микрообъекта? Можно показать, что не остается – он снимается соотношением $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$. Если эта неопределенность порядка высоты барьера U , то последний перестает быть для микрообъекта непреодолимым препятствием. Итак, микрообъект может «пройти» сквозь потенциальный барьер. Этот специфический квантовый эффект называют туннельным эффектом. Он объясняет, в частности, явление α -распада атомных ядер. Подчеркнем, что при рассмотрении туннельного эффекта уже нельзя представлять движение микрообъекта по пунктирной линии, изображенной на рисунке 4.1. Ведь пунктирная линия соответствует классической траектории, а у микрообъекта траектории нет. Поэтому не имеет смысла пытаться «уличить» микрообъект в том, что он в какой-то момент времени «оказался под потенциальным барьером», [4, с.49].

Трудно удержаться от комментариев. Во-первых, если объект может иметь в соответствии с соотношением неопределенностей энергию U , то преодоление барьера не вызывает вопросов, и разговор о точке A в таком случае совершенно излишний. Непонятно только, почему электрон такой добросовестный, что после преодоления барьера сбрасывает избыток энергии точно до прежнего уровня и, кстати, без

излучения. Получил энергию ниоткуда и отдал ее никуда, и ничего физически абсурдного в этом не находят.

Если же мы объяснение восприняли слишком буквально, примитивно, т.е. с низким уровнем интеллекта, и электрон на самом деле не «перелетал» над барьером, то зачем было тревожить соотношение неопределенностей и подтягивать энергию до высоты барьера? Пусть уже явление будет специфически квантовым до конца. Почему электрон, не имея достаточной энергии, не хочет рыть туннель, имея же, – не хочет перелетать над барьером, и становится вдруг нарушителем закона? Может быть, мы имеем здесь дело с эзотерикой и слова «Если эта неопределенность порядка высоты барьера U , то последний перестает быть для микрообъекта непреодолимым препятствием» имеют какой-то скрытый, недоступный для непосвященных в тайну смысл?

Во-вторых, траектория объекта в координатах *энергия – расстояние*, как это показано на рисунке 6.28, имеет мало общего с реальной траекторией (мы полагаем, что под термином классическая траектория следует понимать реальную траекторию, т.е. в координатах *расстояние–расстояние*). Этому вопросу мы уделили достаточно внимания в главе 1, см. рисунки 1.6 – 1.8.

Из приведенной цитаты нас интересует в первую очередь вывод о том, что «у микрообъекта траектории нет», и что говорить о пребывании электрона под барьером «не имеет смысла». Другая, противоположная, точка зрения имеется в продолжении цитаты, приведенной относительно ситуации, изображенной на рисунке 6.27, касающейся лавинного пробоя в полупроводниках: «В достаточно широких *p-n*-переходах при высоких обратных напряжениях неосновные носители могут приобретать в поле перехода настолько высокую кинетическую энергию, что оказываются способными вызвать ударную ионизацию полупроводника. В этом случае происходит лавинное нарастание обратного тока, приводящее к лавинному пробоя переходов», [41, с.239]. Интересный получается пикассо-барьер – барьер, при преодолении которого можно не терять, а приобретать энергию движения!

Выражение «в поле перехода» в этой цитате подчеркнуто нами. Мы видим, таким образом, что согласно этой теории электроны не только могут находиться на участке, занимаемом потенциальным барьером (то ли под барьером, то ли над барьером), но даже могут зафиксировать факт своего там пребывания через ионизацию, т.е. подтвердить факт наличия траектории. Как гласит старинная русская пословица, «Что бы там люди ни говорили, но у квантового микрообъекта траектория есть». Как видно, при новом мышлении в одной и той же науке мирно уживаются противоположные утверждения.

Само собой понятно, что если в критикуемой теории удастся отыскать некорректность, то это неплохо, но еще лучше было бы предложить корректное объяснение. Мы попробуем предложить механизм движения электрона в «валентной зоне», который бы вписывался в рамки рациональной физики. В первом приближении можно считать, что реальное влияние на движение электрона от атома к атому оказывает лишь атом, от которого отрывается электрон, а также ион (дырка), к которому этот электрон переходит. Влиянием остальных атомов мы пренебрежем. Понятно, что движение электронов в этом случае нужно рассматривать вдоль оси, соединяющей центры атомов.

Пусть в образце полупроводника у атома **B**, рис. 6.29, тепловым ударом удален один электрон, в терминологии зонной теории – переведен в зону проводимости. Атом **B** оказался, таким образом, ионом и действует своим полем (нескомпенсированным полем ядра) на электроны соседних атомов **A** и **C**. Очевидно, что на валентный электрон атома **A** действуют два противоположно направленные электрические поля – поле иона A^+ (вместе с рассматриваемым электроном они составляют нейтральный атом) и поле иона B^+ . Предполагается, что левее атома **A** и правее атома **C** находятся нейтральные атомы.

Поскольку мы рассматриваем поведение внешнего электрона атома A , кривая 1 представляет зависимость потенциальной энергии этого электрона (точечного) в поле иона атома A . Правая стенка на кривой представляет притягивающее действие на электрон со стороны иона A^+ , левая – отталкивательное действие со стороны внутренних электронов. При отсутствии действия внешних полей электрон находится в точке, в которой эти силы равны, т.е. на дне потенциальной ямы.

Кривая 2 представляет кривую потенциальной энергии того же электрона, но в поле иона B^+ , в предположении, что поле 1 отсутствует. Кривые 1' и 2' иллюстрируют ту же ситуацию для валентного электрона атома C (для простоты полагаем, что поле иона B^+ симметричное). Очевидно, что если все атомы одного сорта, то кривые 1 и 2 отличаются только ориентацией.

Для определения результирующего действия необходимо сложить кривые 1 и 2, а также 1' и 2' (сложить как кривые потенциалов). На рисунке 6.29, *b* приведен результат сложения. Как видно, барьеры соседних с ионом B^+ атомов весьма существенно «продавлены» полем иона, поэтому теперь электроны атомов A или C могут относительно легко переместиться от своих атомов к иону, но не сквозь барьеры, а над барьерами, и в полном соответствии с законом сохранения энергии.

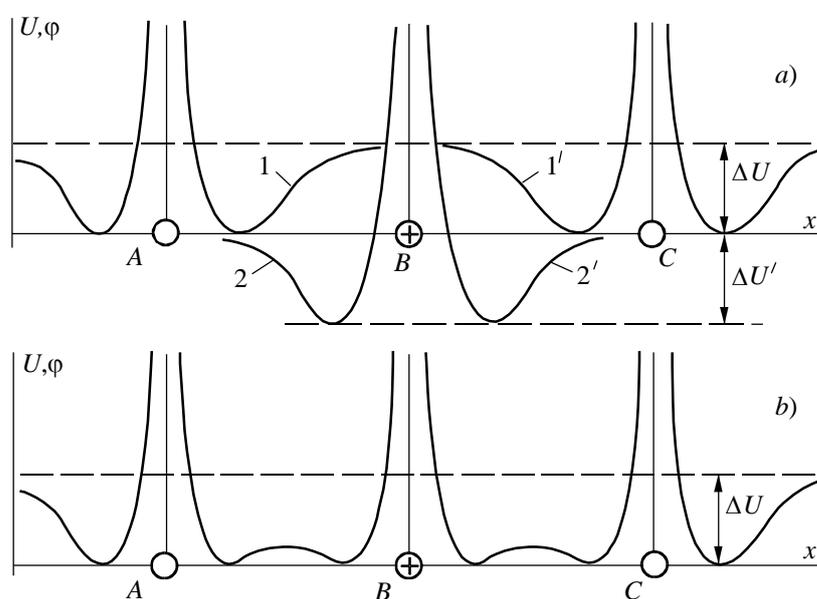


Рис. 6.29

Следует отметить, что барьер для электронов снимается не полностью, и это объясняется нелинейным характером кривых, но очевидно, что если энергии теплового движения обычно достаточно для перевода электрона в зону проводимости, то для преодоления существенно пониженного барьера тем более. Кроме этого нужно еще помнить о влиянии размеров объекта на параметры потенциального барьера – для протяженного электромагнитного солитона высота барьера окажется еще меньшей, чем для точечного.

Легко видеть, что в отсутствие внешнего поля переходы электронов от атомов A или C к иону B^+ равновероятны. Внешнее поле упорядочивает это движение, – немного повышает барьер у одного атома и понижает у другого. Если к иону B^+ переместился электрон от атома A , то ион B^+ превратился в атом, а атом A – в ион. Очевидно, что если при этом электрон перемещается в одну сторону, то ионное состояние – в противоположную. На ускорение и торможение электронов уходит время, поэтому скорость движения электрона в валентной зоне существенно меньше скорости движения в зоне проводимости. Таким образом, движение электрона в полупроводнике или

диэлектрике можно объяснить с позиции рациональной физики, т.е. просто можно объяснить.

С помощью предложенного механизма можно легко объяснить роль примесных атомов в изменении электропроводности полупроводника. Ввиду затянувшегося разговора, мы не будем останавливаться на этом вопросе подробно, отметим только, что в этом случае вместо иона B^+ нужно рассмотреть нейтральный атом примеси. Потенциальная яма на результирующей кривой будет иметь, как и прежде, два углубления, но правое углубление (возле атома примеси) окажется более высоко расположенным. В этом случае тепловым ударом электрон легко перевести сначала в более высоко расположенную яму, а оттуда – в зону проводимости (ситуацию нужно рассматривать на потенциальной поверхности). Далее атом A , ставший ионом, захватывает электрон от своего соседа, и все повторяется – имеем эффективный механизм продуцирования свободных электронов внутри полупроводника.

Мы полагаем, что заинтересованный читатель может теперь сравнительно легко, в рамках классической физики, объяснить работу различных полупроводниковых приборов, а также такие явления, как перезарядка, ионизация атомов и рекомбинация ионов на поверхности металла, ионизация атомов в сильных электрических и световых полях и т.д. – мы имеем в виду эксперименты, для объяснения которых привлекают понятие туннелирования сквозь потенциальный барьер. Пример объяснения рекомбинации ионов на поверхности металла приведен в нашей предыдущей работе [5].

Очень интересный пример, связанный с движением электронов в валентной зоне, представляет объяснение т.н. аномального эффекта Холла. Этот пример не является ярким в смысле обсуждаемой в настоящей книге проблемы «рациональное – иррациональное», хотя для его объяснения и привлекается понятие туннелирования сквозь потенциальный барьер – этот пример иллюстрирует другую проблему. По мере развития науки накапливается все больше и больше экспериментальных результатов, а объясняющие их теории становятся все более сложными, все более насыщенными трудновоспринимаемыми понятиями, все более длинными цепочками рассуждений, сложным математическим аппаратом и т.д. Если при этом теория легко и красиво объясняет факты, то желание повторить рассуждения шаг за шагом, чтобы убедиться в законности каждого шага, редко у кого возникает, и ошибка может долгие годы оставаться незамеченной. Именно такой пример, на наш взгляд, представляет объяснение эффекта Холла.

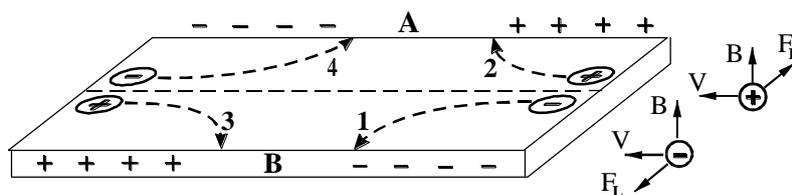


Рис. 6.30

Сущность эффекта Холла вкратце состоит в следующем. Если проводник с электрическим током поместить в магнитное поле B так, что силовые линии поля окажутся перпендикулярными направлению потока зарядов, то в направлении, перпендикулярном как потоку зарядов, так и силовым линиям поля, возникает электрическое напряжение ΔU небольшой величины, которое тем больше, чем больше ширина образца b , напряженность магнитного поля B и плотность тока зарядов j .

$$\Delta U = R b j B \quad (6.13)$$

где R - постоянная Холла, характеристика материала.

Для некоторых полупроводников, и даже некоторых металлов, знак ΔU при низких температурах имеет противоположный обычно наблюдаемому для большинства

металлов знак, и поэтому иногда носит название аномального эффекта, [49,50]. При увеличении температуры образца величина ΔU постепенно уменьшается, и при некоторой температуре, называемой критической, T_k , изменяет знак на противоположный – явление становится нормальным.

При объяснении нормального явления Холла учитывают тот факт, что на движущиеся со скоростью V свободные заряды действует сила Лорентца, вследствие чего электроны смещаются в сторону, создавая избыток электронов на одной стороне образца и нехватку на противоположной. Ситуация стабилизируется в момент, когда поле Холла компенсирует действие силы Лорентца F_L .

$$F_L = q [V B] \quad (6.14)$$

Аномальный эффект объяснить немного труднее. Знак поля Холла может измениться только в случае, если в образце конкурируют встречные потоки зарядов, причем безразлично, одинаковых или противоположных зарядов, рисунок 6.30. Если процессы 3 или 4 преобладают над процессом 1, соответствующем движению в магнитном поле свободных отрицательных зарядов, то поле Холла изменит свой знак на противоположный.

Поскольку при наблюдении эффекта Холла всегда присутствует продольное электрическое поле источника тока, процесс 4 и процесс 2 (при наличии процесса 1), по-видимому, нужно исключить из рассмотрения, и у нас на первый взгляд не остается ничего иного, как допустить возможность существования в образце встречного потока положительных электрических зарядов (процесс 3), который силой Лорентца отклоняется в ту же сторону, что и поток отрицательных зарядов. Очевидно, что в случае, если поток 3 преобладает над потоком 1, напряжение ΔU будет иметь противоположный знак, т.е. мы получим аномальный эффект Холла. Этот простой вывод используется при объяснении аномального эффекта Холла в некоторых полупроводниках и металлах.

В соответствии с современными взглядами, в полупроводниках существуют два типа проводимости.

1. Перенос электрического заряда осуществляется движением электронов (оторванных от своих атомов тепловым или иным ударом) вдоль междоузлий – n -тип проводимости, или движение электронов в зоне проводимости, процесс 1 на рисунке 6.31. При этом на месте электрона остается ион с положительным зарядом или «дырка».

2. Перенос электрических зарядов осуществляется от атома к дырке, процесс 2, рисунок 6.31. При этом считается, что движение электронов осуществляется сквозь разделяющие атомы и ионы потенциальные барьеры путем туннелирования.

Движение реальных электронов от атома к иону можно заменить движением положительных фиктивных зарядов (дырок) в противоположную сторону, поскольку очевидно, что стрелка включенного в электрическую цепь амперметра в обоих случаях отклонится в одну и ту же сторону, на одну и ту же величину. Очень соблазнительно этот результат распространить и на случай, когда образец помещен в магнитное поле. Если такую замену признать полноценной, т.е. если считать, что движение реальных электронов справа налево (процесс 2 на рисунке 6.31) можно рассматривать как движение реальных положительных зарядов слева направо (процесс 3 на этом же рисунке), то мы приходим к выводу, что положительные заряды должны отклоняться силой Лорентца в ту же сторону, что и электроны зоны проводимости, рис.6.30. Отсюда делается простой вывод, что в случае, когда процесс 3 (или процесс 2) преобладает над процессом 1, напряжение ΔU имеет обратный обычному случаю знак, и мы наблюдаем аномальный эффект Холла.

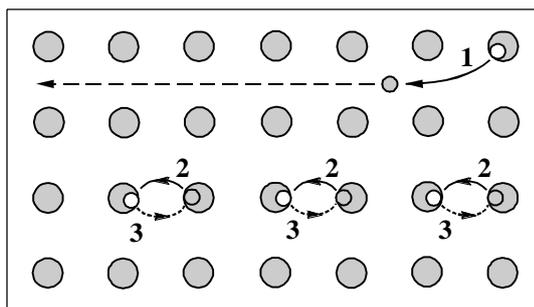


Рис. 6.31. 1, 2 – движение реальных зарядов, 3 – движение фиктивных зарядов

Простота и ясность этого объяснения подкупают. Однако, помня, что ясность иногда проявляет собой всего лишь одну из форм полного тумана, мы все же попробуем проанализировать законность замены движения электронов в валентной зоне встречным движением дырок, на которые сила Лорентца действует как на реальные заряды.

Пусть внешний электрон атома *A* имеет возможность протуннелировать к одной из трех дырок, рис.6.32. Если во время туннелирования на электрон действует сила Лорентца, то она сместит его в сторону дырки 1, но это не может повлиять на знак ΔU , поскольку приводит к тому же эффекту, что и движение в зоне проводимости, процесс 4 на рис.6.32.

Если туннелирование – это настолько специфически квантовое явление, что сила Лорентца во время перехода не действует на электрон, то он с большей вероятностью протуннелирует к дырке 2, поскольку барьер в этом направлении наиболее тонкий. Очевидно, что это также не может изменить знак ΔU , определяемый параллельно протекающим процессом 4.

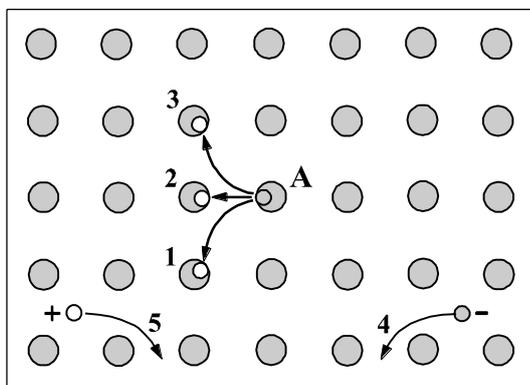


Рис. 6.32

Таким образом, мы видим, что если исходить из того, что аномальный эффект Холла связан с движением электронов в валентной зоне, мы вынуждены предположить, что туннелирование – это настолько специфически квантовое явление (дважды специфически квантовое явление), что сила Лорентца во время туннелирования действует на электрон в противоположную обычному случаю сторону, вследствие чего электрон протуннелирует к дырке 3. Только в том случае, если процесс 3 осуществляется и, более того, превалирует над процессом 4, напряжение поля Холла изменит знак. Мы полагаем, что когда нам объясняют сущность аномального эффекта, то вряд ли при этом подразумевают именно такое развитие событий. Другими словами, мы приходим к выводу, что замена движения электрона в валентной зоне обратным

движением дырок, на которые сила Лорентца действует так же, как и на реальные заряды, является некорректной, и нам нужно искать новое объяснение.

В качестве возможного объяснения можно предположить, что в некоторых материалах (для которых характерно наблюдение аномального эффекта Холла) результирующее магнитное поле имеет направление, противоположное направлению внешнего поля, вследствие чего электроны в своем движении отклоняются в противоположном обычному случаю направлении. Аномальный эффект наблюдается только при температурах, ниже некоторого значения T_c , (называемого критической температурой), характерного для каждого материала. Выше температуры T_c аномальный эффект переходит в обычный. Это значит, что мы должны предположить, что в этих условиях ориентация электронов и атомов такова, что результирующее магнитное поле внутри образца совпадает по направлению с внешним полем.

Если это объяснение некорректно, то нужно искать новое, однако мы считаем очевидным, что образ электронных дырок в этом случае больше мешает, чем помогает выяснить суть дела.

Подводя итог по главе, мы можем сказать, что с одной стороны в современной литературе, претендующей на объяснение результатов ряда экспериментов с принципиально новых, квантовых позиций, при внимательном рассмотрении можно обнаружить ряд грубых ошибок. Эти ошибки могут быть методологического характера, когда для описания поведения корпускулы используют уравнение, описывающее развитие процесса, или понятийного характера, когда смешиваются разные понятия (понятие кривой потенциала и кривой потенциальной энергии), или просто школьного характера, когда силы, представляющие основную суть барьера, считают понижающими этот барьер, или когда ускоряющий участок поля объявляют барьером. Основная же ошибка, на наш взгляд, имеет мировоззренческий характер. Еще древние знали, что если путем логически безупречных суждений удастся прийти к противоречию, то исходное предположение неверно, и нужно искать новые пути.

С другой стороны, мы полагаем, что нам удалось показать, что большинство экспериментальных результатов, которые до настоящего времени имели «объяснение» только в иррациональной физике, все-таки можно объяснить с позиций здравого смысла. Это дает нам основание надеяться, что если в физике некоторые явления остаются еще не объясненными, или предлагаемое объяснение является неполным или несовершенным, то рано или поздно разумное объяснение будет предложено. Если же не удастся предложить никакого разумного объяснения, проблему лучше оставить другим. Никто не давал нам права расписываться за умственные способности будущих поколений.

На наш взгляд, ситуация, сложившаяся на сегодняшний день в физике, характерна и для других направлений деятельности человека. Быть может, в настоящее время мы наблюдаем какой-то неизбежный этап в развитии человеческого духа, после которого обязательно наступит отрезвление. Очевидно, однако, что если новый этап возрождения приближать сознательно и активно, то он, в отличие от рассвета, наступит раньше, если, конечно, вообще наступит.

*Время разбрасывать камни,
и время собирать камни.*

Екклезиаст (Соломон)

7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

*Легко быть квантовым философом,
выучив наизусть три слова:
«Специфически квантовое явление».*

Ломоносов М.В.

В заключение нашего разговора о проблемах в современной физике мы хотим еще раз отметить, что мы почти уверены в том, что подавляющее большинство читателей даже не подозревали об истинном отношении целого ряда основных создателей квантовой теории к ее вероятностной интерпретации. Поскольку в математической части теории (как в механике Шредингера, так и в матричной механике) кроме условий нормировки никаких изменений не предлагается, мы полагаем, что, быть может, лучше было бы возвратиться к старому названию «волновая механика», поскольку термин «квантовая теория» как у ее противников, так и у приверженцев ассоциируется с понятием «иррациональная», с той лишь разницей, что приверженцы произносят это слово с плохо скрываемой гордостью.

Мы хотим здесь выразить свое твердое убеждение в том, что физика может быть только одна, и то, что не является классической физикой, но претендует на звание физики, не является физикой вообще, и даже более того – не является наукой. Смесь математики с чувственным, художественным восприятием мира, с простой верой и выборочно действующей логикой не может претендовать ни на звание науки, ни на звание искусства, ни на статус веры, но имеет право претендовать на звание особого, иррационального варианта человеческой культуры, т.е. на открытие новой сущности. Поскольку термин «пятая сущность» (*quinta essentia*, или квинтэссенция) уже занят, можно предложить термин «шестая сущность» (*sexta essentia*, или сексэссенция). Отметим, что первоначально (у древних римлян) термин «квинтэссенция» означал эфир – после воды, огня, земли и воздуха.

Мы полагаем, что наш неологизм ничем не хуже архаизма «наука», и ничего страшного нет в том, если что-то не является наукой. А.Нобель, например, или Р.Фейнман, не считали наукой даже математику: «Математика, с нашей точки зрения, не наука – в том смысле, что она не относится к естественным наукам. Ведь мерило ее справедливости отнюдь не опыт. Кстати, не все то, что не наука, уж обязательно плохо. Любовь, например, тоже не наука. Словом, когда какую-то вещь называют не наукой, это не значит, что с нею что-то не ладно: просто не наука она, и все», [46, с.56].

Тот факт, что в процессе познания законов природы молодые интеллектуалы так легко и быстро обогнали таких классиков, как Эйнштейн, Планк, Лорентц, де Бройль или Шредингер, является на самом деле иллюзией, которая рано или поздно должна закончиться. Так не может быть, чтобы человек, в одиночку создавший новый, огромный раздел науки, понимал в этой науке меньше, чем интерпретаторы его труда, пусть и высококвалифицированные, чтобы до конца своей жизни, при полном здравии, несмотря на свои усилия и старания интерпретаторов, он так и не смог понять глубины своих же достижений. Мы имеем в виду, конечно, Шредингера.

Наша попытка найти общие корни, общие признаки в казалось бы совсем не связанных областях деятельности человека не является ни оригинальной, ни новой. Даже попытка найти общие причины, определяющие развитие процессов познания в физике и построения отношений в обществе не является новой. Вот как по этому поводу (после революции 1917 года) писал один из профессоров Колумбийского университета: «В течение прошедших лет весь мир находился в состоянии беспокойства умственного и физического. По всей вероятности, война, большевистская революция были видимым результатом глубокого умственного расстройств. Это беспокойство проявилось в стремлении отбросить испытанные методы государственного руководства в угоду радикальным и непроверенным экспериментам. Это же чувство беспокойства вторглось

и в науку. Многие хотели бы заставить нас отбросить испытанные теории и взамен построить основу современного научного и механического развития во имя спекулятивной методологии и фантастических представлений о Вселенной.», [8, с. 235].

Острие наших почти парламентских аналогий (это относительное понятие, все зависит от того, какой парламент – если это пикассо-парламент, то аналогии должны восприниматься как комплимент) направлено в основном против некоторых достижений современной культуры, поскольку в физике дело обстоит не так уж плохо, ибо единственный хороший эксперимент может возратить физику с головы на ноги. В области культуры ситуация значительно сложнее. Проблема в том, что молодые интеллектуалы в шестнадцать лет, даже без должного образования, уже очень сильно отрываются не только от «примитивной», так называемой «народной» музыки, но и от классиков. Чтобы убедиться в этом, достаточно включить телевизор, и мы увидим, что целые тысячелетия человечество развивалось совсем не в том направлении, в каком нужно было развиваться. Лучшие умы веками оттачивали движения, искали гармонию, а оказывается, чем неуклюжее движение, чем больше звуки похожи на вопли и чем бессмысленнее (т.е. абстрактнее) текст, тем больший интеллект они отражают. «Цивилизованный мир» вдруг обнаружил, к своему стыду, что некоторые племена без набедренных повязок (то ли еще без повязок, то ли уже) сильно обогнали его по ряду направлений развития. Ошарашенный таким открытием, он ускоренным темпом бросился догонять и очень скоро обогнал их – теперь уже те чувствуют себя неполноценными, как по части шумовых эффектов, так и по наскальным рисункам. Современное общество очень быстро вышло из интеллектуального тупика, в который его начали заводить еще во время так называемой эпохи Возрождения, когда Леонардо свои примитивные «иллюстрации для физкультурного тренажа» выдавал необразованным согражданам за достижения искусства.

При знакомстве с некоторыми моментами истории физики мы видели, как трудно было разрушать основание классической физики (может быть, правильнее будет сказать – изгонять ее из микромира), и как молодое тогда поколение жаждало этого. Кто знает, чего жаждет нынешнее молодое поколение, воспитанное в массе своей уже на новом мышлении и часто равнодушное ко всему, кроме некоторых продуктов и препаратов. Из биологии известно, что если лягушку бросить в кипяток, то она выпрыгнет оттуда невредимой, однако если воду подогревать медленно, то лягушка уснет, и ее можно даже сварить. Современное молодое поколение с юных лет подогревают по всем направлениям: в физике – безумными идеями, в музыке – ангармоническими звуками, в искусстве – черными квадратами и антиэстетикой в детских книжках, в литературе и кино – насилием и жестокостью, в политике – обманом, в физиологии – продуктами, препаратами и экологией, в воспитании – равнодушием и аморальностью. Все это по сути дела имеет одну общую причину – отклонение от веками выработанной и заданной природой нормы, и не нужно говорить, что все относительно. Мы полагаем, что достаточно убедительно показали, что среди бесконечного числа систем координат все-таки существует одна покоящаяся, т.е. выделенная. Аналогично этому должна существовать здоровая норма в культуре, в широком смысле слова, и бесконечное число отклонений от нее.

Если предложенные здесь эксперименты будут проведены, и будет получено подтверждение предложенных идей, то по крайней мере в физике станет очевидным, что наше развитие идет пока в направлении, когда извращение начинают считать нормой, а норму уже представляют как задержку в развитии.

В ученых кругах иногда рассказывают следующую историю. Как-то один физик согласился испытать на себе действие наркотиков и рассказать об ощущениях коллегам. Наутро он отчетливо помнил, что ему открылась какая-то истина, но какая, никак не мог вспомнить. Как это водится у физиков, эксперимент решили повторить, но при этом попробовать записать ощущения на листочке бумаги. Ситуация с истиной повторилась,

ассистенты вовремя подсунули бумагу и авторучку, и ощущения удалось записать. Утром он прочитал написанное собственной неуверенной рукой следующее: «Банан большой, а кожура еще больше». Эта фраза отражает квинтэссенцию нового мышления в любой области деятельности человека. В чистоте эксперимента можно не сомневаться, а в том, что человеку в этом состоянии действительно кажется, что ему открывается истина, сомневаться не нужно – это искреннее заблуждение.

Похожего эффекта можно добиться, если с умным видом (длинные, невымытые и непричесанные волосы, темные очки в любое время суток, рваные джинсы, босые ноги, нижнее белье поверх штанов, серьги в ушах и в носу, хилая фигура, сигарета, жевательная резинка, татуировка и презрительная улыбка, в общем – чтобы интеллект аж выпирал) уставиться на черный квадрат или блестящий шар (гипнотизерам этот прием хорошо известен). Говорят, что через десяток-другой минут открывается истина, и интеллект через карму, астральное тело и ауру вступает в прямой диалог без слов с высшими силами из параллельных миров, или, на крайний случай, с более высоко развитыми внеземными цивилизациями. Признаки диалога – помутневшие, разведенные глаза и невнятное мычание. Когда человек в этом состоянии «воспринимает истину», то ничего другого уже не воспринимает, особенно логику.

Истина открывается также и в случае, если долго смотреть на изображение барьера на потенциальной кривой. В этом случае иногда удается понять, что «существует вероятность того, что вот этот стул через 10^{30} лет окажется вдруг, в одно мгновение, вон на том дереве». Ясное дело, что по сравнению со стулом сомневаться в аналогичных возможностях какого-то там электрона или α -частицы просто несолидно. Очевидно, что в этом состоянии можно воспринимать и другие истины, нужно только вовремя записывать все на бумажку, однако если у вас с интеллектом не густо, то эффект не наблюдается – у Шредингера, например, несмотря на большие усилия, так ничего и не получилось.

Нетрудно предвидеть, какую реакцию вызовут предложенные идеи и взгляды в среде представителей нового мышления, занимающих сейчас ключевые позиции в физике. Однако если подтверждение правоты классической физики будет получено, очень многое из нынешних достижений будет выглядеть такой себе алфизикой, когда развитие любой ситуации разрешается доводить до логического тупика, после чего можно объявить об открытии очередного специфического явления.

В новой физике разрешается также игнорировать факты, делать вид, что их не существует. Одним из удивительных достижений современной квантовой теории является представление о виртуальных частицах, в частности, о виртуальных фотонах. В вакууме заряженная частица как будто бы может излучить на короткое время и тут же поглотить виртуальный фотон. Мы не будем здесь проводить подробного анализа этой концепции, а ограничимся замечаниями по этому поводу «незаинтересованной стороны». В приводимой ниже цитате можно прочувствовать не только изложение сути вопроса, но, по сути дела, и критику, поскольку Б.Кузнецов придерживался философских взглядов на природу, близких к взглядам Эйнштейна: «Время, прошедшее между излучением виртуального фотона и его поглощением, может быть сколь угодно малó и, соответственно, может быть сколь угодно мал пройденный им путь, поэтому вклад виртуальных фотонов в энергию электрона может быть большúм. Расчеты, учитывающие взаимодействие электрона с его собственным излучением, приводят к бесконечным значениям энергии и, соответственно, массы электрона.

Вывод этот физически абсурден. Предположение о бесконечной энергии и массе частиц противоречит всему, что нам известно о физических явлениях. Поэтому бесконечные значения энергии и массы устраняются из расчетов. Делается это с помощью различных приемов и некоторых концепций, авторы которых не скрывают, а, напротив, подчеркивают чисто рецептурный характер этих приемов и концепций. Разрыв между «внешним оправданием» и «внутренним совершенством» физической

теории сейчас принял своеобразную форму. Существует много способов избавиться от бесконечных значений энергии и массы частицы. Они состоят в отбрасывании виртуальных фотонов с очень большой энергией, вносящих большой вклад в собственную энергию частицы. Такие фотоны игнорируются. Почему? Это делают «в кредит», в расчете на то, что будущая теория элементарных частиц даст необходимое обоснование рецептурных приемов устранения очень высоких энергий. Такой теорией может быть представление о наименьших расстояниях и наименьших интервалах времени, представление, которое было бы выведено из каких-то общих идей. Но в современной физике не дожидаются, пока оно будет непротиворечивым образом сформулировано. Уже сейчас в расчете на ту или другую будущую теорию вводят различные приемы устранения бесконечных значений энергии частицы.», [8,с.340].

Под словами «рецептурный характер», уважаемый читатель, нужно понимать следующую процедуру: если в вашем уравнении имеется член, мешающий получить нужный результат, его нужно просто вычеркнуть. Вот как, оказывается, можно и нужно добиваться успеха при новом мышлении – придумал высокоинтеллектуальную идею, завел ситуацию в тупик, вычеркнул в уравнении член, мешающий получить желаемый результат, и специфически квантовое открытие готово.

Как видим, простота, причинность, однозначность и ясность нравятся далеко не всем, и очень многие любят ловить, и успешно ловят, рыбку в мутной воде, особенно те, «которые многим обязаны науке, но которым наука не обязана ничем» (*эти слова принадлежат Эйнштейну*), поэтому довольно уверенно можно предсказать как резкое неприятие, так и высокомерное игнорирование идеи возврата к рациональной физике. Дай Бог, однако, чтобы в этом случае мы оказались не правы, чтобы среди молодого поколения и на этот раз нашлось немало жаждущих перемен. Попробуем быть оптимистами: поскольку хуже уже некуда – перемены должны быть к лучшему.

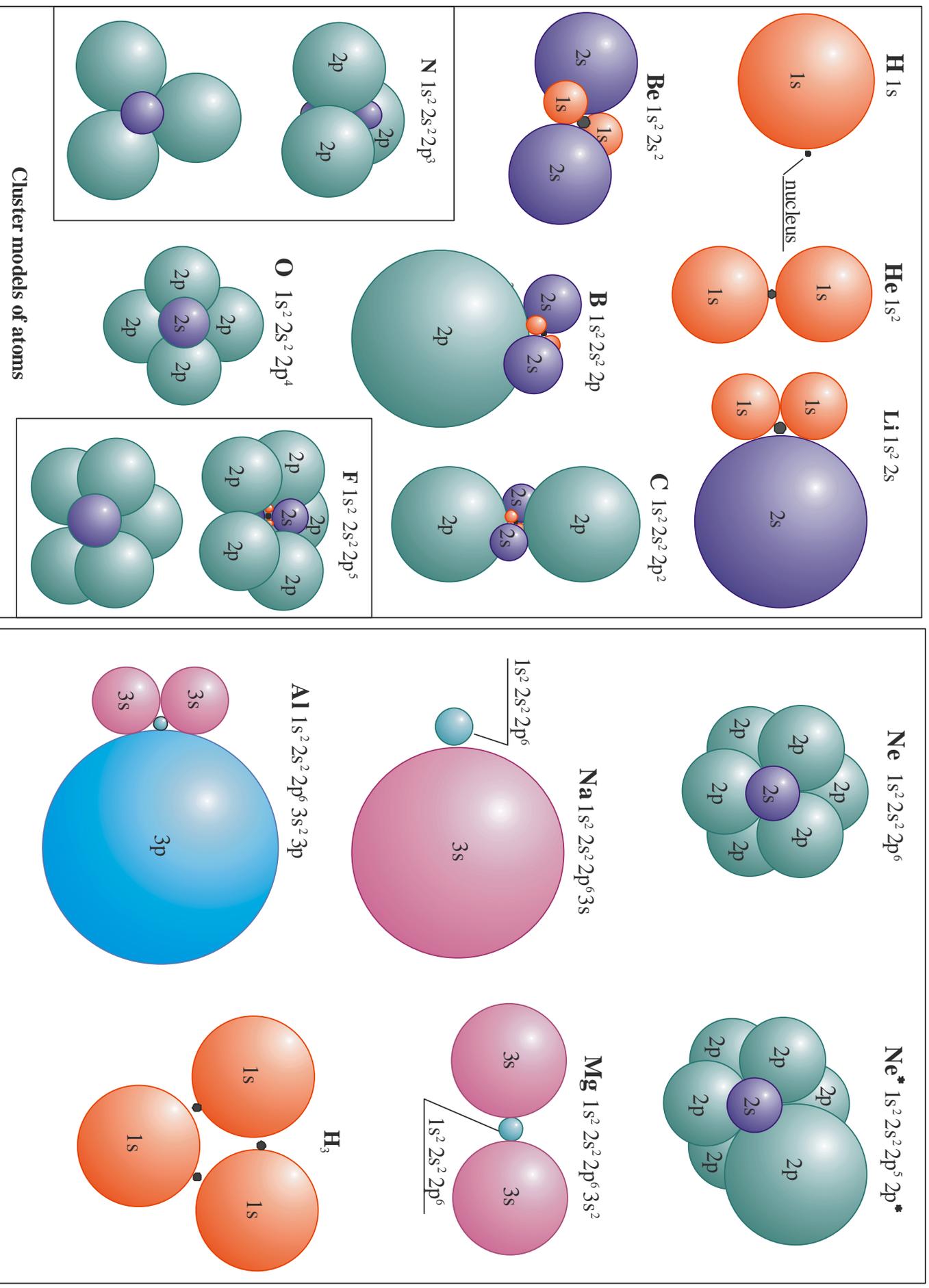
*Природа всегда проста
и всегда с собой согласна.*

И. Ньютон

ЛИТЕРАТУРА

1. **Власов А.Д.** Атом Шредингера, // Успехи физических наук. –1993. – Т. 163 : № 2, С. 97 – 103.
2. **Власов А.Д., Лупандин О.С.** От эпициклов Птолемея к магическим ядрам и планкеонам. – М.: Атомиздат, 1979. – 128 с.
3. **Китайгородский А.И.** Фотоны и ядра. – М.: Наука, 1984. – 208 с.
4. **Тарасов Л.В.** Основы квантовой механики. – М.: Высшая школа, 1978. – 287 с.
5. **Чаварга Н.Н.** Альтернативные идеи в физике. – Ужгород: Закарпатье, 1996. – 102 с.
6. **Фейнман Р.** Характер физических законов. – М.: Мир, 1968. – 238 с.
7. Нильс Бор. Жизнь и творчество (Сборник статей). – М.: Наука, 1967.– 344 с.
8. **Кузнецов Б.Г.** Эйнштейн. – М.: Наука, 1967. – 428 с.
9. Физика микромира. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 528 с.
10. **Малви Дж.** Фундаментальная структура материи. – М.: Мир, 1984. – 312.
11. **Борн М.** Атомная физика. – М.: Мир, 1965. – 484 с.
12. **Пономарев Л.И.** По ту сторону кванта. – М.: Молодая гвардия. – 304 с.
13. **Протодьяконов М.М.** Свойства порообразующих минералов и их электронное строение. – М.: Наука, 1965. – 88 с.
14. **Шредингер Э.** Избранные труды по квантовой механике. – М.: Наука, – 424 с.
15. **Клевцов М.И.** Раскрытие тайн мироустройства. – М.: Круг, 1995. – 168 с.
16. **Sallhofer H.** Hydrogen in electrodynamics. VI. The general solution.// Z.Naturforsch. A.– 1990. – 45. № 12.– P.1361 – 1366.
17. **Кривский И.Ю., Симулик В.М.** // Доповіді НАН України.–1996.– № 8. – С. 79–85.
18. **Питаевский Л.П.** К вопросу об атоме Шредингера. // Успехи физических наук. –1993. – Т. 163. – № 8. Письма в редакцию.
19. **Барашенков В.С.** Кварки, протоны, Вселенная. – М.: Знание, 1987. – 192 с.
20. **С. Де Бенедетти.** Ядерные взаимодействия. – М.: Атомиздат, 1968. – 467 с.
21. **Эйнштейн А.** Собрание научных трудов в четырех томах. Том 1. Работы по теории относительности 1905–1920. – М.: Наука, 1965. – 700 с.
22. **Ахиезер А.И.** Атомная физика. Справочное пособие. – Киев: Наукова думка, 1988. – 268 с.
23. **Шпольский Э.В.** Атомная физика. Том второй. – М.: Наука, 1984. – 440 с.
24. **Scheffers H.** Messung von Dipolmomenten nach der Molekularstrahlmethode. // Physikalische Zeitschrift.– 1934.– V. 35. – № 11. p.423 – 433.
25. **Scheffers H. Stark J.** Einfluß des elektrischen Feldes auf Wasserstoffatome im Atomstrahlversuch. // Physikalische Zeitschrift.– 1936. V. 37.–№ 7. p.217 –222.
26. **Кикоин И.К.** Таблицы физических величин. – М.: Атомиздат, 1976.
27. **Луи де Бройль.** Соотношения неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация волновой механики. – М.: Мир, 1986. – 342 с.
28. **Шредингер Э.** Новые пути в физике. – М.: Наука, 1971. – 428 с.
29. **Лорентц Г.А.** Старые и новые проблемы физики. – М.: Наука, 1970. – 370 с.
30. **Вавилов С.И.** Микроструктура света. – М.: Издательство АН СССР, 1950. – 198 с.
31. **Подольный Р.** Нечто по имени Ничто. – М.: Знание, 1983. – 191 с.
32. **Тейлор Э.Ф., Уилер Дж.А.** Физика пространства-времени. – М.: Мир, 1971. – 320 с.
33. **Вавилов С.И.** Экспериментальные основы теории относительности. В книге «Собрание сочинений в пяти томах. т. 4. – М.: Изд-во АН СССР.1956. – 470 с.
34. **Советский энциклопедический словарь.** – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 1600 с.
35. **Сухотин А.** Парадоксы науки. – М.: Молодая гвардия, 1978. – 240 с.
36. **Краткий миг торжества.** – М.: Наука, 1989. –336 с.

36. **Сухотин А.** Превратности научных идей. – М.: Молодая гвардия, 1991. – 272 с.
37. **Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч.** Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – 528 с.
38. **Шпольский Э.В.** Атомная физика. Том первый. – М.: Наука. 1974. – 576 с.
39. **Асламазов Л.Г., Варламов А.А.** Удивительная физика. – М.: Наука. 1987. – 160 с.
40. **Робертсон Б.** Современная физика в прикладных науках. – М.: Мир, 1985. – 272 с.
41. **Эпифанов Г.И., Мома Ю.А.** Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. – М.: Советское радио, 1979. – 352 с.
42. **Полторацький О.** Всупереч правді життя. – Київ: Мистецтво, 1963. – 36 с.
43. **Райзер Ю.П.** Физика газового разряда. – М.: ГРФ-МЛ, 1987. – 591 с.
44. **Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В.** Эмиссионная электроника. – М.: ГРФ-МЛ, 1968. – 565 с.
45. Эйнштейновский сборник 1972. – М.: Наука, 1974 – 390 с.
46. **Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.** Фейнмановские лекции по физике. – М.: Мир, 1976. Т.1 – 440 с.
47. **Ливанова А.** Л.Д.Ландау. – М.: Знание, 1978 – 192 с.
48. **Матвеев А.Н.** Атомная физика. – М.: Высшая школа, 1989. – 450 с.
49. **Калашников С.Г.** Электричество. – М.: ГИТ-ТЛ, 1956 – 664 с.
50. **Киреев П.С.** Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.



Наукове видання

Чаварга Микола Миколайович

ПРОБЛЕМА РАЦІОНАЛЬНОГО І ІРРАЦІОНАЛЬНОГО В ФІЗИЦІ

(російською мовою)

Набір, верстка і рисунки (Corel DRAW) автора.

Коректор Ярослав Чаварга

Дизайн обкладинки Ірини Метельової

Підготував до друку Іван Еней