

## Сказки современной физики.

Владислав Миркин, ктн.

Однажды решил проверить высказывание Юрия Нагибина о том, что Ветхий Завет поэтичнее, чем Новый. И моментально наткнулся на фразу «... дух божий носился над водой.» Давайте вдумаемся в смысл этой фразы. Написали ее люди столь древние, что не могли они иметь ни малейшего понятия о молекулярно-кинетической теории строения газов, они даже о наличии воздуха не могли иметь понятия (если вам кто-нибудь скажет, что во многих религиях существовали божества воздуха, то понимайте эти заявления в том ключе, который вам станет очевиден несколькими фразами позже). Ну, вот стоите вы, вот ваш собеседник, вот дома и деревья, но между вами и всем остальным ничего нет. Полная и абсолютная пустота. И свет и звук распространяются через эту пустоту. И одно только нарушало эту идеальную «теорию»: почему-то на море возникали волны, и деревья начинали шелестеть листвой. И тогда древние физики придумали нечто, «темную энергию» #1, «дух божий» (именно таким и было божество воздуха). Кстати, чтобы уже не возвращаться к данной теме. Отличием живого человека от умершего было то, что у первого грудная клетка периодически вздымалась и опадала, а у умершего она была неподвижной. Потому и было принято, что внутри живого есть «душа» («темная материя» #1), которая отлетает от тела со смертью человека.

С тех пор повелось, для того, чтобы понять суть явления, ему нужно дать название. При этом даже не нужно определять его физический механизм.

Кстати, выяснить, что же поэтичнее – Ветхий Завет или Новый – так и не сумел. Только Ветхий мне понравился больше, поскольку в нем больше физики, сказки которой я и хочу написать.

### 1. Материя для королевских одежд.

Совсем уже давно в маленькой европейской стране жил великий сказочник Ганс Христиан Андерсен. Он написал множество весьма нравоучительных сказок, которые полезно читать не только детям, но и взрослым тоже. По крайней мере, последних эти сказки должны бы заставить задуматься.

Наверное, самой лучшей, самой гениальной по сюжету следует считать сказку «Одежды для короля», поскольку ее значение не только не утратило своей величины, но сейчас все больше возрастает. Так и хочется спросит: «Ну откуда в столь давние времена, когда еще и физики-то толком не было, он мог знать, что физика будет развиваться именно тем путем, который он и описал в этой сказке?»

Я все пытаюсь понять, как он мог придумать столь гениальный сюжет? Я пытаюсь представить себя гением хотя бы на пять минут и, что называется, высосать из пальца хоть какую-нибудь гениальную идею, но из пальца она не высасывается: все время рождаются какие-то аналогии из жизни, книг, кинофильмов. И я уже не верю, что гениальная идея может вот так запросто прийти в голову, не опираясь на какие-то вполне конкретные знания.

Попробуем поставить себя на место Андерсена. Похоже на то, что в основе сказки лежит какая-то общественно значимая идея, овладевшая умами и душами людей надолгое время, но идея настолько неправильная, что достаточно было возгласа маленького мальчика, чтобы все сразу поняли ее абсурдность. Вот меня и занимает, что же это была за идея?

Коммунизм тогда еще не развился, чтобы овладеть мыслями и душами: ну, может быть, какие-то общественные спальни уже были описаны Компанелой? Но с трудом верится, что это имело большое общественное звучание. И про религию этого сказать нельзя. По крайней мере, в те времена в ней еще никто не разочаровался, да и сейчас такого не происходит. Может, это была муслинная мода (почти прозрачные платья у женщин)? Ну, так там все именно к этому и стремились, и кто бы стал слушать какого-то мальчика? Да и мода прошла сама собой из-за простуд и туберкулеза. Я так и не понял, что же там могло быть. Может, кто-нибудь подскажет?

А нам сейчас должно быть интересно, как же он смог все предвидеть на полтора-два века вперед?

Давайте возьмем материю для королевских одежд (хотя и другие виды материи вполне подойдут к нашему рассмотрению). Все виды материи сплетены из нитей. Те, в свою очередь, состоят из волокон, и все это мы видим собственными глазами. Волокна состоят из молекул, а те из атомов. И сейчас ситуация такова, что даже атомы (хотя и не совсем ясно) мы видим с помощью приборов. А вот что дальше?

Дальше у нас протоны, нейтроны и электроны. Мы их не видим, но многочисленные косвенные улики говорят нам, что мы имеем о них достаточно точное представление. Но существует одна неприятность:

нам все время приходится оглядываться на принцип неопределенности Гейзенберга. Названные частицы – это что-то не совсем в себе, а с примесью чего-то мистического, которое, как убеждают нас отцы-физики, невозможно представить нашим слабым умом (пути Господни, как известно, неисповедимы). К тем трем событиям, которые царь Соломон перечислил в ряду неисповедимых (путь змеи на земле, путь орла в небе и путь мужчины к сердцу женщины), физики добавили еще один (путь частицы в атоме). Но так уж устроен ум людей: им надо оперировать понятиями, которые они могут себе представить наяву. Им все время хочется сказать: «Отче, ну вынь, пожалуйста, из кармана частицу, которая обладает не только корпускулярными, но и волновыми свойствами одновременно, и мы тогда безоговорочно тебе поверим». Но ведь не вынимают.

Более того, даже частицу в виде обычной корпускулы уже вынуть не могут, а вместо нее рисуют на бумаге волновые функции, которые не только перестают быть материей, но даже не являются вероятностью появления материи в некой точке пространства (для этого им надо волновую функцию еще возвести в некий странный квадрат). То есть, уже вероятность появления материальной точки в некоем пространстве не является материей (вероятность встретить женщину в открытом космосе еще не говорит, что вы можете встретить там свою будущую жену), но здесь даже о вероятности говорить невозможно. То есть, вот все время была материя и, вдруг, совсем исчезла. На уровне самых больших и практически очевидных частиц материи уже просто нет.

А мы все слушаем сказки, про то, что волновые функции могут разрастаться, сцепляться, схлопываться и как-то породить материю. А уж из чего состоят струны, браны, М-браны и так далее, лучше вообще не спрашивать, если вы хотите дожить свои годы в кругу семьи и друзей.

Если бы портные короля жили в наше время, то они, наверняка, понастроили бы научно-исследовательских институтов, изучающих свойства их невидимой материи, тратили бы на это огромные деньги, покупая заграничное оборудование и выплачивая работникам чуть выше, чем среднюю по всем отраслям зарплату. Но они бы открыли не только институты физических проблем невидимой материи, но и психолого-психиатрические центры по созданию методик визуализации невидимой материи в сознании всех остальных людей. Впрочем, я не Андерсен, чтобы описать все то, что они бы еще создали.

А я хочу понять, дерево, это то, что мы видим (ствол, ветви, листва), или вероятность появления листвы в данном пространстве? И почему

мне так приятно гладить по голове это голубоглазое сочетание волновых функций?

Хватит уж, наверное, попробуйте понять, что «квадрат» вашей волновой функции может быть получен, когда вы посчитаете вероятность попадания пуль в мишень, расположенную позади вращающегося пропеллера.

## 2. Сказка о кванте действия.

Давным-давно в тридесятom царстве совсем юный мальчик по имени Максимиллиан бежал вдоль забора и стучал палкой по его прутьям. А что еще делать маленьким мальчикам в тридесятom царстве? Планк-планк-планк стучала палка, и мальчику очень нравился этот звук. Иногда он бежал чуть медленнее, иногда ускорился, и одновременно с этим звуки становились то реже, то чаще.

Но Макс тем и отличался от всех остальных мальчиков, что задавал вопрос: «Почему?» - не только в раннем детстве, но и когда в школе начал изучать физику. Учитель недавно рассказал им на уроке, что кинетическая энергия движущегося тела равна  $E = (m/2) \cdot v^2$ , и Макс, вдруг, подумал, что частота звуков напрямую зависит от скорости его движения.

А что, если обозначить расстояние между прутьями забора величиной  $L$ . Скорость его движения пусть будет  $v$ . Тогда период времени между ударами палкой будет равен  $T = L/v$  и частота  $\omega = v/L$ . Кинетическая энергия его движения запишется как  $E = mv^2/2$  (хотя Макс весил еще не много, но ведь он все равно обладал какой-то массой).

А что если увеличить скорость движения на величину  $\Delta v$ . Частота возрастет  $\omega_1 = (v + \Delta v)/L$  и возрастет энергия  $E = m(v + \Delta v)^2/2$ . Разность частот составит  $\Delta\omega = \Delta v/L$ , перепад энергии  $\Delta E = m[v\Delta v + (\Delta v)^2/2]$ , или с учетом  $\Delta v \ll v$  (в отличие от других мальчиков, Макс уже понимал, что малыми величинами можно и пренебречь) можно записать  $\Delta E = mv\Delta v$ .

И теперь Макс уже ничего не мешало определить величину энергии, необходимую для изменения частоты на один герц (Герц был бы очень рад такой сообразительности маленького мальчика)  $h = \Delta E / \Delta\omega = mLv$  (Макс как-будто заранее знал, что данный коэффициент будет обозначен буквой  $h$ ).

Интересно: величины  $m$  и  $L$  являются постоянными. Поскольку скорость меняется незначительно, то можно считать, что величина энергии, необходимая для изменения частоты на один герц, будет постоянной величиной практически для всего частотного диапазона.

Например, начиная с частоты **100 Гц**, она будет меняться не более, чем на 1%. Ну, а если бы он знал, что свет тоже определяется некой частотой, порядка  **$10^{15}$  Гц**, то вообще не думал бы о постоянстве данного коэффициента.

Когда Макс на следующее утро пришел в школу, то сказал учителю: «Дорогой учитель, я получил некий коэффициент, который показывает, какую энергию надо затратить, чтобы частота ударов палки по прутьям забора увеличилась на один герц, и этот коэффициент оказался величиной постоянной». Учитель проверил рассуждения Макса, признал их правильными и добавил: «Макс, а ведь ты сейчас получил формулу, которая позволяет связать энергию с частотой колебаний  **$E=h\cdot\nu$**  (Макс тогда впервые узнал, что  **$\nu$**  как-то связано с  **$\omega$** ), кстати, размерность твоего  **$h$**  составляет **дж/Гц**».

Как все-таки жаль, что взрослые люди не всегда помнят то, что они знали в детстве. Зачем понадобилось придумывать размерность **дж·с**?

### 3. Дифракция буксира-толкача на двух речных протоках.

Если изучать мир не только перед столом с листом бумаги, а делать это всегда (как то присуще некоторым физикам), даже тогда, когда вы ведете свой речной катер, то можно заметить, что в ветренную погоду волны воды, выходящие из двух протоков, огибающих некий остров, на открытом участке (ниже острова, или, как говорят, в его ухвостье) дают интерференционную картину (кто плавал, как многие саратовцы, не даст ввести читателей в заблуждение). Требование когерентности, которое мы придумали, чтобы оправдать наше неумение считать что-либо, когда разность фаз двух колебаний меняется во времени, совсем не волнует природу: волна, конечно, получается не совсем стоячая, а немного бегущая. Но если вы движетесь относительно быстро, то вы воспримете ее как стоячую. То, что волна стоячая, не должно вас расхолаживать, поскольку ситуация достаточно опасная: вот сейчас по ходу катера ничего нет и, вдруг прямо по курсу вырастает, буквально как черт из табакерки, горка высотой порядка одного метра, на которую наскочить не очень приятно (при дурном вождении можно даже перевернуться). Все время приходится менять направление и скорость движения.

Самую высокую и крутую волну на Волге создает буксир-толкач с плоским носом. Я не уверен, что назвал его по ГОСТу, но он предназначен, чтобы толкать баржи со стороны кормы. Волна от него такая неприятная, что налетев на нее однажды, не успев сбросить

скорость, я увидел над собой шатер из воды, большая часть которой потом оказалась в кокпите катера. Если пустить буксир по одной протоке, а отделившаяся в верховьях острова волна самостоятельно пойдет по другой протоке, то в ухвостье острова они сложатся, создав интерференционную картину. Конечно, не только наш буксир создает волны: похожие волны создают и другие суда, да и вообще без судов волна может возникнуть (я уже писал об этом в первом абзаце). Просто от буксира волна очень неприятная.

Давайте рассмотрим некоторые ситуации.

Буксир движется по единственной протоке, назовем ее судовой ход. Буксир движется сам по себе и возбуждает волны в воде. Но, поскольку волна одна, то интерференции нет, и мы наблюдаем лишь движущийся буксир.

Во втором случае проток уже две. Буксир, конечно, движется по одной из них, но волны движутся по обеим, и в ухвостье острова будет интерференция волн. Если все происходит в тумане (то есть, нет видимости), то вы, управляя собственным катером, будете только лишь фиксировать эту интерференционную картину, если, конечно, не столкнетесь с буксиром.

Ну, и, наконец, буксир возбуждая волну, которая разделилась в верховьях острова на две волны, сам остановился где-то в одной из протоков. Но волны ушли вниз и опять-таки образовали стоячую волну, которую вы все равно зафиксировали вашим катером. Ну чем не дифракция буксира на двух речных протоках.

А я вот думаю, если бы Альберт Эйнштейн, который любил ходить под парусом, попал однажды в ветренную погоду в ухвостье какого-либо острова, понадобилось бы тогда придумывать, что частица одновременно обладает свойствами корпускулы и волны, или эти свойства можно было бы поделить между частицей и эфиром?

#### 4. И опять о заборе.

Приходилось ли кому-нибудь в Петергофе сталкиваться с шутихами (забава российской аристократии с мокрыми штанами и юбками). А и в самом деле весело: ходишь между маленькими фонтанчиками воды, бьющей из земли, переступаешь через них безо всякого ущерба для костюма, и, вдруг, вырастает этот фонтан, и нет уже возможности его перепрыгнуть. И придется тебе весь вечер ходить в мокрых штанах и юбках на потеху царю и его псарям.

Но фонтанами управляют люди, которые для того и сидят в скрытых помещениях, чтобы поймать зеваку (при мне один парень наблюдал вроде бы со стороны за перемещениями других, так ему точно в заднюю часть штанов ударила струя воды из головы какого-то зверя, расположенной совсем в стороне от основной шутихи). Высота струй меняется спонтанно (вернее по желанию операторов). Если бы она менялась периодически, то к этому можно было бы приноровиться, и никто бы не попал в мокрую ситуацию.

А что было бы, если бы колебания высоты струй не были бы спонтанными и имели бы достаточно высокую частоту? Можно ли было бы в этом случае пробежать и не замочить штаны? Конечно, все зависит от скорости бега и фазы колебаний высоты струй. Но вероятность выйти сухим из воды все-таки есть.

Давайте решим эту задачу для забора, высота которого меняется по самому обыкновенному синусу.

Представьте себе, что стоите вы перед забором и кидаете в него один за другим обычные мячики. Но забор-то необычный: он меняет свою высоту от нуля до некоторого значения, причем делает это строго по синусоидальной функции. Для простоты вы бросаете мячи точно по высоте в ту часть забора, которая является средней точкой его высоты. Мячи летят на равных расстояниях друг от друга. Имеют ли шанс данные мячики пролететь в заборную область? Конечно, имеют: тут надо только согласовать скорость полета мяча и время изменения высоты забора. Вообще-то, забор может несколько раз изменить свою высоту пока летит мяч, но тот все равно проскочит, если подлетит к забору в нужной фазе, но мы, опять-таки для простоты, будем считать, что такое изменение высоты произойдет один только раз. Если бросать мячи в среднюю часть забора, то вероятность попадания мяча в заборную область будет равна 50% (если, конечно, мячи летят друг за другом намного чаще, чем колеблется высота забора).

Но нам очень важна скорость полета мяча, то есть, его кинетическая энергия. И ясно, что для преодоления забора эта энергия должна быть больше некоторой величины. Запишем

$m \cdot v^2 / 2 \geq E = m \cdot L \cdot v \cdot \omega$ , и это вытекает из полученной Максвеллом формулы. Если сюда подставить то, что  $\omega = 2\pi/t$ , то выражение можно преобразовать следующим образом  $(mv) \cdot (vt) \geq 2\pi v m L$ , причем ясно, что на самом деле частота  $\omega$  в случае забора в два раза меньше, чем нам кажется из выражения  $\omega = 2\pi/t$  (забор меняет высоту не от отрицательного значения до положительного, а от нуля до удвоенной амплитуды синусоиды). Но все это даже и не важно, поскольку ясно,

что мы имеем ситуацию, когда кинетическая энергия частицы должна быть больше, чем некая постоянная величина (в сказке про Макса он обозначил ее  $h$ ). Масса, умноженная на скорость – это импульс, скорость, умноженная на время – это путь. Если теперь кто-то скажет, что получился не принцип неопределенности, то я вообще не знаю, что он скажет. Вот так: бросали в обычный (не совсем обычный, а с переменной высотой) забор обычные мячи (в которых волновые и корпускулярные свойства вовсе не объединены), а получили принцип неопределенности.

Ну чем не сказка современной физики?

##### 5. Что общего между инопланетной Луной и дискотекой?

Жили когда-то на одной из планет одной из звездных систем, в одной из галактик дикие племена ... (наверное, их надо бы назвать инопланетянами: ну, так и назовем). Надо сказать, что планета попала им какая-то неудачная: небо там было практически все время закрыто плотными облаками, которые лишь с трудом пропускали свет звезды, что все-таки позволяло жителям планеты что-то видеть. И лишь иногда, очень редко облака, вдруг, расступались на какие-то секунды, и инопланетяне с интересом наблюдали за ярким небесным телом, расположенным, как им казалось совсем недалеко от их планеты. Но потом облака опять закрывали все небо, и в течение сотен лет они не видели этого яркого небесного тела.

Но, несмотря на тусклое освещение (а, может, именно благодаря ему, ведь им пришлось искать пути увеличения освещенности планеты), инопланетяне столь развились, что уже научным образом заинтересовались тем небесным телом, которое изредка представало перед ними в разрыве облаков.

Здесь все получалось непонятно, но интересно: инопланетяне никак не могли заранее просчитать то место на небе, где они увидят данное небесное тело. Каждый раз оно оказывалось далеко от расчетного значения. И тогда один из инопланетян сделал гениальную догадку: наверное, это тело такое, что его скорость и местоположение, помноженные друг на друга, не могут быть меньше некой заданной величины. Понятно, что на нашей планете ни один из предметов не обладал похожими свойствами, но ведь мы же не можем быть уверены, что небесные тела подчиняются тем же законам. Ну, а то, что мы не можем себе этого представить, так и не надо, такой уж слабый у нас ум, чтобы еще и небесными телами управлять. Так и стали жить.



И продолжалось это до тех пор, пока их цивилизация не достигла очередных высот: их светотехника позволила им проводить танцы с элементами подсветки (мы сейчас называем это дискотеками). И однажды один из студентов физического факультета попал на такую дискотеку, что, вообще-то не было принято у студентов, но вот такая ему попала безответственная девушка и уговорила. Но, поскольку танцевать он не умел, а учиться ему не позволял научный гонор, то девушка пошла танцевать с другим парнем, и это вполне укладывалось в мораль инопланетян.

Девушка и ее кавалер запрыгали в некотором отдалении друг от друга, и моментально свет начал мигать, высвечивая какие-то непонятные фигуры, жесты, наклоны тела и всего того, чем танцевали молодые люди (простите, инопланетяне). А студент застыл с открытым ртом: он, вдруг, увидел, что вот эти самые положения рук, ног и всего тела, которые выхватывал свет, никак не удается связать в некоторую плавную траекторию движения. Но ведь он точно знал, что такая траектория существует. И тут до него дошло, в ситуации, когда свет выхватывает положения тела на очень короткое время, значительно меньшее, чем продолжительность темноты, невозможно понять, движется ли тело по плавной траектории, или скачет оно в пространстве, как неприкаянное. И тут же его осенила мысль, что и то самое пресловутое небесное тело ведет себя также. Что на самом деле движется оно плавно по вполне определенной траектории, а его положения никак не складываются в эту траекторию, поскольку видим мы его редко и очень короткое время.

Вот такая связь между Луной и дискотекой.