Эффект бабочки в физике.

«Став выше мелочей, скорей дотянешься до крупных неприятностей»

Г.Е Малкин

В одной из отраслей математики, теории хаоса, есть понятие «эффект бабочки», суть которого заключена в том что иногда сущие мелочи приводят к катастрофическим последствиям. Термин возник после выхода рассказа Р.Брэдбери «И грянул гром» , в котором описано как один охотник отправился побаловать ружьишком в прошлое , но по причине испуга перед своею добычею стрельнуть-то не отважился , зато в порыве своей неудержимой храбрости раздавил бабочку. Вернувшись в свое настоящее охотник обнаружил что привычный мир , за время его отсутствия , неузнаваемо изменился. Ему хватило ума понять что причиною этих изменений явилось не отсутствие его выдающейся личности во времена этих перемен, а исключительно его прошлая храбрость , толкнувшая его на подвиг – раздавить бабочку . Он с ужасом осознает что простая мелочь , как то раздавленная бабочка в прошлом , способна привести к катастрофе в настоящем. Ибо эта бабочка была родоначальником целого вида, который не появился из-за подвига этого смельчака ,что дало начало цепной реакции в эволюции всех видов. Этот термин , «эффект бабочки», в настоящее время прижился во многих науках , как предостережение того что игнорирование самых незначительных мелочей в текущей науке способно привести к ее катастрофе в будущем. И только физика его избегает, вероятно потому что этот эффект уже ее настоящее.

Опишем этот эффект физики на примере банальной физической мелочи , знакомство с которой человек получает когда впервые познает удовольствие от падения или приседания в лужу. При этом возникает банальное физическое явление, расходящаяся в виде круга , от места пребывания невольного наблюдателя , одиночная волна . То же самое произойдет если наблюдатель , набравшись возрасту и опыту , бросит в лужу менее взрослого и опытного наблюдателя , ну или еще какой-нибудь безмозглый предмет , типа кирпича. Такая волна носит название цилиндрической ,имея вид

Рис.1

Она имеет прямое отношение к «эффекту бабочки» в физике. В поперечном разрезе такая волна в момент времени t_1 имеет вид

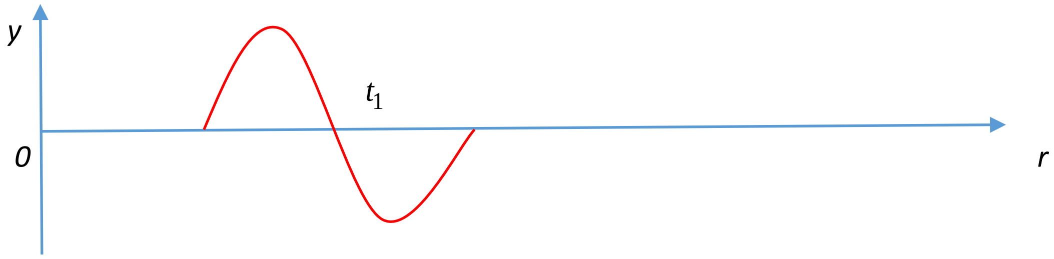

Рис.,2

, а в последующий момент времени t_2 она имеет вид

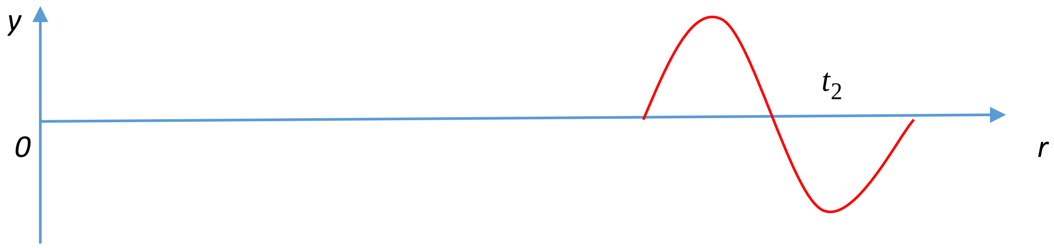

Рис.,3

Дело в том что такая волна до сих пор не описана математически , ни в рамках механики Ньютона , ни в механиках более взрослых. Единственный подход к описанию это волновое уравнение

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}v^2+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}v^2-\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=0;(1)$$

, здесь ψ функция описывающая волну, $r=\sqrt{x^2+y^2}$ координаты, t время . Общее решение этого уравнения есть

$$\psi=H_0\left(\cos\left(\omega t\right)+\sin\left(\omega t\right)\right);(2)$$

,здесь ω частота волны, H_0 функция Ганкеля нулевого прядка. Функция Ганкеля это линейная комбинация функций Бесселя J , которые в свою очередь приближенно равны затухающей во времени синусоиде . Функцию Бесселя J приближенно можно написать в виде

$$J=e^{-gt}\cos\left(\overrightarrow{k_x}x+\overrightarrow{k_y}y\right);(3)$$

,здесь g коэффициент затухания во времени, $\overrightarrow{k_x},\overrightarrow{k_y}$ коэффициенты координат имеющие название волновых векторов.Таким образом решение волнового уравнения (1) на доступном языке можно написать в виде

$$\psi = H_0\left(\cos(\omega t)+\sin(\omega t)\right) = \left(\sum e_i^{-gt}\cos\left(\overrightarrow{k_{xi}}x+\overrightarrow{k_{yi}}y\right)\right)\left(\cos(\omega t)+\sin(\omega t)\right)$$
$$= \sum\left\{\frac{e_i^{-gt}}{2}\left[\cos\left(\overrightarrow{k_{xi}}x+\overrightarrow{k_{yi}}y+\omega t\right)+\cos\left(\overrightarrow{k_{xi}}x+\overrightarrow{k_{yi}}y-\omega t\right)\right]\right\} \quad ;(4)$$

Проблема в том что функции $\cos\left(\overrightarrow{k_{xi}}x+\overrightarrow{k_{yi}}y+\omega t\right), \cos\left(\overrightarrow{k_{xi}}x+\overrightarrow{k_{yi}}y-\omega t\right)$ с ростом времени t в поперечном разрезе неограничено растут, они как- бы растут в «длину» . И никаким их суммированием не удастся получить функцию с фиксированной в каждый момент времени «длиной». Результатом такого описания будут только вариации на тему волны изображенной в моменты времени t_1, t_2 на рис., 4

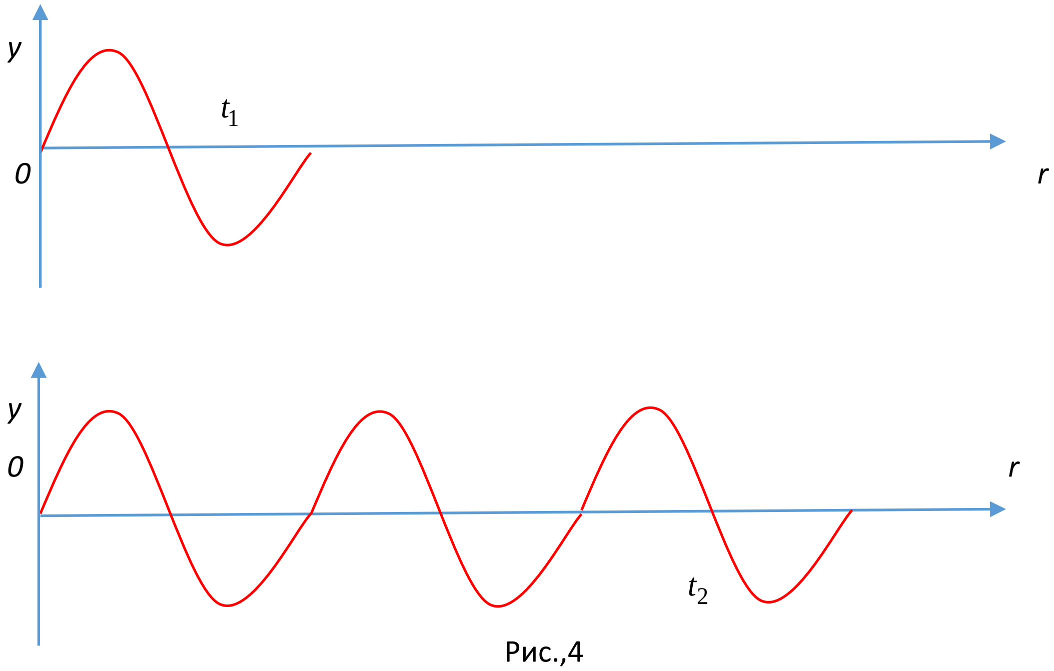

Рис.,4

Из рис.,1,2,3 следует что это не та волна которая нам нужна ,так как волна на рис.,1, 2,3 одиночная, и сохраняет свою «длину» во времени ,а на этом рисунке волна непрерывная , с растущей «длиной» во времени .Но повседневный опыт говорит что одиночные волны на поверхности лужи сохраняют свою длину в каждый момент времени , а цунами в океане способны проходит тысячи километров сохраняя свою «длину» в поперечном разрезе. Следовательно общее решение волнового уравнения , в виде (2), одиночные волны на поверхности воды не описывает !?

Есть второй подход , заключающийся в том что функции фиксированной длины , например импульсные функции , описывают разложением их в интеграл Фурье . Например функцию f на рис .,5

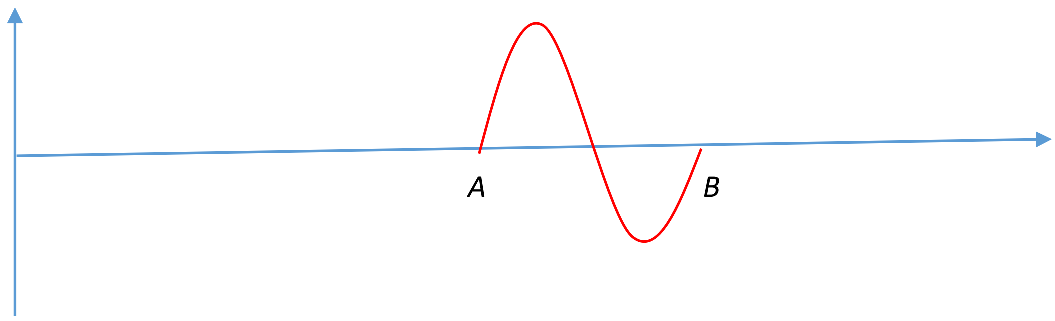

Рис.5

, на отрезке $|AB|$ можно разложить в бесконечный ряд Фурье

$$f = \int\limits_{s=-\infty}^{\infty} fc_s e^{isr}$$
$$c_s = \frac{1}{2\pi}\int\limits_{T-\infty}^{\infty} fe^{-isT}dT \quad ; (5)$$

Это бесконечный ряд синусоид различных амплитуд и фаз . Вряд ли кто может согласиться , без насилия над здравым смыслом , что одиночное колебание на рис.,1 физически нужно представлять бесконечной суммой колебаний . Но хуже всего то , что если среда распространения такой волны обладает дисперсией , то волна , описываемая таким разложением в ряд Фурье - называемым волновым пакетом , расплывается во времени . Собственно еще Шредингер подобным образом пытался описывать строение элементарных частиц , но такие «элементарные частицы» со временем расплывались бы уже в вакууме до размеров Солнечной системы !

Наконец есть третий подход . Описание движения одиночных волн на поверхности жидкости надеются получить при решении уравнения Навье-Стокса , в ближайшем тысячелетии . Во всяком случае решение уравнения Навье-Стокса объявлено задачей текущего тысячелетия.

Мы приходим к выводу что в арсенале современной физики нет средств для описания даже такого банального явления как движение одиночных круговых волн на поверхности лужи !

Это самое доступное наблюдению явление , с которого собственно и началось теоретическое исследование движения волн. Вряд ли основоположники волновой теории , Ньютон и Гюйгенс , наблюдали движение звуковых волн в атмосфере или твердых телах , но движение одиночных круговых волн на поверхности воды они наблюдали стопудово. Почему же тогда они не дали их математического описания? Они вообще говоря никому ничего и не должны , спасибо и на том что они заложили фундамент волновой механики . Даже гений Ньютон за свою жизнь не способен дать ответы на все вопросы . Часть вопросов всегда остается потомкам , их решение ими и есть развитие физики . Но потомки Ньютона эволюцию физики ускорили тем что не стали обращать внимание на такие задачи , хоть и нерешенные , но кажущиеся мелкими и недостойными их просвещенного ума . Они были заняты куда более достойным занятием , построением картины мироздания , а в таком деле лес рубят щепки летят , и неважно что эти цепки есть нерешенные проблемы прошлого. Могло ли это запустить «эффект бабочки», ну или щепки , в физике?

Этот эффект уже давно запущен . Список нерешенных проблем только вырос , как то шаровая молния , корпускулярно-волновой дуализм и пр. Современная физика знает только единственный метод их решения – забыть о них , и тем самым от них очиститься. Она обещает что вот-вот создаст теорию всего , которая все и объяснит . Но как можно объяснить все предварительно не объяснив простейшее ? А вот это как раз и есть удел современной физики .

Но вернемся к нашей простейшей одинокой волне. Выше мы видели что волновое уравнение не может объяснить ее количественно . Проблема в том что волновое уравнение это фундамент всей физики микромира , так называемых ее квантовых дисциплин . Покажем откуда здесь ноги растут . Пишем релятивистское волновое уравнение Максвелла .

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial r^2}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=0\;;(6)$$

В классической физике из принципа Мопертюи получено уравнение для так называемого укороченного действия s .

$$s=\int\sqrt{2m(E-U)}dr\;;(7)$$

, здесь E,U соответственно полная и потенциальная энергии . В свою очередь импульс P выражается как

$$P=\frac{\partial s}{\partial r}=\sqrt{2m(E-U)}\;;(8)$$

, а полная энергия E_o как

$$E_o=\frac{\partial s}{\partial t}=\partial\left[\frac{\int\sqrt{2m(E-U)}dr}{dt}\right]=\partial\left[\int\sqrt{2m(E-U)}\frac{dr}{dt}\right];(9)$$

Учтя что $v=dr/dt$, перепишем (9) в виде

$$E_0 = \partial \int \sqrt{2m\left(E-U\right)}v = \int \sqrt{2m\left(E-U\right)}dv\,;(10)$$

Для замкнутых систем $\left(E-U\right) = const$, согласно закону сохранения энергии, поэтому интегрирование дает

$$E_0 = v\sqrt{2m\left(E-U\right)} = \sqrt{2mv^2\left(E-U\right)}\,;(11)$$

Для релятивистского случая это выражение пишется как

$$E_0 = \sqrt{2mc^2\left(E-U\right)}\,;(12)$$

Воспользуемся квантовым представление волны, согласно которому

$$\psi = A\cos\left(\frac{P}{\hbar}r - \frac{E}{\hbar}t\right) = A\cos\left(\frac{P}{\hbar}r - \frac{\sqrt{2mc^2\left(E-U\right)}}{\hbar}t\right)\;;(13)$$

Подставив это выражение в (6), получим

$$-\frac{P^2}{\hbar^2}\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E-U\right)\psi = 0\,;(14)$$

Следующее отсюда условие,

$$\frac{P^2}{2m} = \left(E-U\right);(15)$$

, справедливо в нерелятивистской классической механике. Но (14) можно написать и в виде

$$-\frac{\partial^2}{\partial r^2}\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E-U\right)\psi = 0\,;(16)$$

Это и есть уравнение Шредингера, фундамент всех квантовых дисциплин !? Как видим это по сути волновое уравнение, сам Шредингер так его и называл. Но выше было показано что волновое уравнение по сути имеет ограниченное применение для описания волн. Одним из таких ограничений и есть одиночные, ограниченные в своей длине, волны. Как вы думаете, могут ли такие ограничения отразиться на квантовых дисциплинах ? Конечно могут.

Квантовая механика Шредингера добилась феноменальных успехов на поприще описания тех эффектов, описание которых входит в сферу компетенции волнового уравнения. В частности атом водорода описан в ней в мельчайших подробностях. Но затем настали тяжкие времена. Опыт давал все больше и больше элементарных частиц. Понадобилось описание отдельных элементарных частиц и их классификация, но уравнение Шредингера здесь оказалось бессильно. Ограниченность применения волнового уравнения давало о себе знать . Но опьянение от первых успехов квантовой механики оказалось сильнее . Сначала Дирак написал аналог уравнения Шредингера для релятивистского случая , и сфера применения квантовых дисциплин была расширена. Новые успехи в квантовых дисциплин в релятивистской области вскружили головы физиков окончательно . Однако финал этого триумфа нетрудно было предвидеть. Ограниченность применения волнового уравнения не заставила себя долго ждать . На головы физиков обрушилась лавина вновь открытых элементарных частиц. И даже релятивистские квантовые уравнения , а по сути потомки волнового уравнения , оказались бессильны для описания свойств и классификации всех элементарных частиц. Казалось бы настало время остановиться , одуматься и изменить подходы к описанию микромира , но куда там . Вместо этого началось состязание по созданию «костылей» для волновых квантовых уравнений . Сперва возникла перенормировка , смысла которой не понимает никто , но которая дает большую точность вычислений . Перенормировка обозначила границу с которой начался отрыв математических абстракций от реальной физики . Критерием верности теорий стали слова Бора: «Ваша теория недостаточно безумна, чтобы быть правильной». И состязание безумия продолжилось . Апофеозом стала теория струн . Она требует от природы ажно 11 пространственных измерений , и заставляет матушку природу лишние измерения свернуть до размера ненаблюдаемых . Но и это не предел , свернутых ненаблюдаемых пространственных измерений кой-кому стало мало , и было введено ужо комплексное пространство , в котором присутствуют ужо чиста мнимые измерения . По-первых, мнимых пространств можна вводить скока душе угодна , по-вторых , видимо эти теоретики надеются только в комплексном пространстве получить для себя эффективное комплексное лечение .Вот только чем они надеются лечить болезнь причина которой им неизвестна ? Видимо тем же методом которым они насилуют моск обывателя , приговаривая что они его не насилуют , они его так прочищают ! Ибо озабочены только одним . Угадайте ,чем ? Вряд ли угадаете , ими видите ли движут сугубо чувства стремления к истине !? К какой истине ? Оказывается что выводы теории струн пока невозможно проверить. Видите-ли дополнительные измерения так малы, что для того чтобы их увидеть нет нужного ускорителя. Сравните с утверждением . На орбите Земли летает чайник самогону , настолько махонький что нет телескопу чтобы его понюхать. Последнее утверждение от научного фричества , а вот первое оказывается научное . А в чем между ними разница? Оказывается в том что за первое завсегда подпишется армия зубодробительной математики . А исчо вам расскажут как из них.. хто получить целую Вселенную !? Бедные алхимики , со своими не обращенными в золото свинчатками , нервно курят в сторонке , и готовы , либо , по прямому назначению , пустить в ход свои свинчатки, либо убить себя ап стену!

А не кажется ли все это со стороны явными признаками катастрофы , к которой привела ситуация игнорирования мелких , но нерешенных задач физики , или своеобразный «эффект бабочки» ? Да, теория одиночной , ограниченной в длине , волны это мелочь по сравнению с «теорией всего». Проблема в том что «теорию всего» упорно пытаются получить на основе вариаций волнового уравнения в квантовых дисциплинах . Но та же самая одиночная волна показывает ограниченность применения волнового уравнения , и никакие математические «костыли» ситуацию принципиально не изменят . Нужен совершенно новый подход.

Математически описать одиночную волну оказывается достаточно просто . Вернемся к классическому выражению для волны

$$\psi = A\cos\left(r - vt\right);(17)$$

, из которого видно что свойством движения обладает только фаза волны $\left(r - vt\right)$, только в ней стоит скорость распространения волны v. В то же время амплитуда волны A здесь «неподвижна», амплитуда здесь константа, в которую не входит значение скорости волны v . Поэтому достаточно ввести в амплитуду скорость , и дополнительно потребовать чтобы она была постоянной , например в виде системы уравнений

$$\begin{array}{l} \psi = A\cos\left(r - vt\right) \\ A = \left(r - vt\right) = const \end{array};(18)$$

Однако такая запись не обладает наглядностью , более предпочтительна запись

$$\psi = A\cos\left(x + y + z - vt\right);(19)$$

$$A = \left(x - vt\right)^2 + \left(y - vt\right)^2 + \left(z - vt\right)^2 = R^2 = const \;;(20)$$

, здесь последнее уравнение имеет смысл шара радиуса R , движущегося со скоростью волны v . Таким образом система (19),(20) описывает волну в которой скорость амплитуды и фазовая скорость волны , точнее скорость фронта волны , одинаковы . В результате имеем математическое описание одиночной волны вида рис., 2,3. Если уравнение (20) просто подразумевать то уравнения одиночной волны можно написать в виде одного уравнения.

$$\psi = A\cos\left(x+y+z-vt\right) = \left[\left(x-vt\right)^2+\left(y-vt\right)^2+\left(z-vt\right)^2\right]\cos\left(x+y+z-vt\right);(21)$$

Можно убедиться в том что выражение (21) не является решением волнового уравнения . Следовательно , это выражение никогда не было рассмотрено в квантовых дисциплинах , а ведь оно является простейшим математическим выражением корпускулярно-волнового дуализма !? Как видим математическое описание одиночной волны в луже приводит к решению проблемы корпускулярно-волнового дуализма !? И это тоже есть своеобразный «эффект бабочки» в физике , только обратный .

Предварительный вывод таков , физика не имеет права игнорировать даже самые простейшие нерешенные проблемы . Совершенно невозможно предвидеть где и когда эта оплошность аукнется , что и ведет к «эффекту бабочки» в физике , ведь кто бы мог подумать что разгадка движения одиночных волн в луже способна привести к пониманию феномена микромира – корпускулярно-волнового дуализма .

Нам остается сделать последний шаг , найти уравнение решением которого будут волны вида (21) , а это оказывается уравнение ПО

$$\frac{d^2S}{dt^2} = \left(\frac{\partial}{\partial x}v+\frac{\partial}{\partial y}v+\frac{\partial}{\partial z}v+\frac{\partial}{\partial t}\right)^2 S = 0\ ;(22)$$

, многим набившее здесь оскомину. Его вывод , полный или сокращенный , можно найти во всех наших статьях, поэтому повторять его здесь смысла нет. Честно говоря мне самому надоело его постоянно муссировать , но другого выхода из «эффекта бабочки» в физике я не вижу . А , Вы?

Сметанников А.И. 4.11.2018