



## **Продольные волны и солитоны**

В технической литературе мы часто встречаем термины – «электромагнитные волны» и «электромагнитное излучение». Теоретики, вооружённые каноническими уравнениями Максвелла, «видят» в них одно и то же. Но так ли это за пределами данной теории? Ведь электромагнитные волны и электромагнитное излучение имеют существенные различия в физическом происхождении. Электромагнитные волны порождаются в результате простых колебаний масс заряженных частиц (например, электронов в проводнике), а электромагнитное излучение – имеет внутриатомное происхождение, оно результат сложных внутриатомных процессов, представляется фотонами, имеющими структуру (судя по спектру) соответствующую сложности указанных процессов. Образно говоря, посредством электромагнитного излучения не человек с человеком, а «звезда с звездой говорит»; электромагнитные волны отличаются от электромагнитного излучения так же, как механизмы, созданные человеком, отличаются от живых организмов, хотя те и другие состоят из одних и тех же атомов. Но специалистов (и они по-своему правы) – эти тонкости не интересуют, им важно только то, что по мере увеличения «жёсткости» излучения, всё в большей мере проявляется его квантовый характер и всё меньше его волновые свойства. Но эти и другие тонкости, интересуют нас. Например, следующая из уравнений Максвелла, загадка отсутствия продольной составляющей у электромагнитных колебаний.

Видные отечественные учёные, исходя из не менее убедительных, чем канонические уравнения Максвелла научных предпосылок, теоретически доказали необходимость и неизбежность реальности продольных электромагнитных волн [1]. Однако, существование, предсказанных здесь продольных волн, пока экспериментально не подтверждено. Мы же в своих исканиях будем исходить из предположения, что в природе любое колебание имеет (как минимум) и продольную, и поперечную составляющую одновременно. Но, сначала нам придётся совершить небольшой экскурс в область нелинейных колебаний.

Ещё в прошлом веке была доказана принципиальная возможность и теоретическая необходимость существования такого феномена, как солитонные волны. Как показано в [2, 3], основу исследований в этом направлении стимулировали работы Э. Ферми (с Д. Пастой, С. Уламом) по проверке гипотезы Дебая о нелинейности колебаний в кристаллической решетке. Результаты их работ показали, что распространение колебаний небольшой амплитуды на кубической решетке описываются уравнением Korteweg-de Vries (Фриза) – очень простым дифференци-

альным уравнением, но с удивительным решением. Если рассматривать решение как развитие процесса по времени, то функция (представляющая решение) сначала становится немонотонной, а затем распадается на систему уединенных волн, каждая из которых распространяется с постоянной скоростью, сохраняя свою форму. Такие локализованные волны, сохраняющие свою структуру, получили название солитонов. Каждый из солитонов представляет собой волну, бегущую со своей скоростью, причем, чем выше и уже солитон, тем быстрее он движется. Кроме того, несмотря на то, что уравнение  $K_d V$  (или  $K_d \Phi$ ) нелинейно, солитоны «проходят» друг через друга, не меняя ни формы, ни скорости, ни амплитуды.

Здесь автор настоящего опуса, пренебрегающий научным методом в интересах превратно понимаемого им дела, торопится выдвинуть несколько гипотез, а именно:

- электромагнитному излучению и электромагнитным волнам, присущ солитонный аспект. В радиосвязи (и в оптике) мы освоили прием только какой-то одной «группы уединенных волн», которые распространяются с т.н. «скоростью света»;

- для приема более быстрых и более медленных «групп уединенных волн» еще, видимо, нет соответствующих «резонаторов и детекторов», а если мы их и принимаем, то принимаем их за помехи;

- опыты Козырева, которые он интерпретировал довольно мистически, как проявление свойств времени, вполне могут быть следствием солитонности излучения. То есть, фиксируемый его датчиками поток энергии, опережающий свет – это проявление потока очень «узких и очень высоких» солитонов, распространяющихся со скоростью большей, чем скорость воспринимаемого нашим глазом света,

- кроме того, никто ведь не измерял скорость распространения электрического тока в проводнике. Считается, что она совпадает со скоростью света. Но это не факт. В 70-80 гг. прошлого века, при прогнозировании появления субмикронных интегральных схем, говорилось, что возникнут сложнейшие проблемы. Если размер транзисторного перехода в кристалле меньше микрона, то задержки в соединительных проводах (причина – величина скорости света) становятся более существенными, чем время переключения транзистора. Стали предлагаться сложнейшие алгоритмы синхрофазировки, вводился в обиход термин «эквилибронная зона». Факт, что теперь такие СИС созданы, а термина «эквилибронная зона» – нет. Похоже, что в проводниках мы имеем дело с другой «группой уединенных волн», солитонами, распространяющимися со скоростью много больше т.н. «скорости

света». Здесь, на малых расстояниях (внутри кристаллической решётки), эта «группа» проявляет себя ярче других.

Отметим: в широко известных канонизированных моделях (уравнениях) физических процессов (не только в уравнениях Максвелла) отсутствуют производные выше второй, и, следовательно, реальная нелинейная динамика в них не учитывается. Уравнение же К<sub>д</sub>В содержит третью производную.

Обратимся к первоисточникам. В работе Максвелла «Динамическая теория электромагнитного поля» 20 общих уравнений электромагнитного поля увязывают 20 переменных. А именно:

- три уравнения полных токов, (А)
- три уравнения магнитной силы, (В)
- три уравнения электрических токов, (С)
- три уравнения электродвижущей силы, (D)
- три уравнения электрической упругости, (E)
- три уравнения электрического сопротивления, (F)
- одно уравнение свободного электричества, (G)
- одно уравнение непрерывности (H)

Анализ этих уравнений показывает, что приписывать Максвеллу представление о существовании у электромагнитных колебаний исключительно поперечной составляющей, – неправомерно!

Известные нам по учебникам «четыре великих уравнения с семью неизвестными» - это, фактически, уравнения не Максвелла, а Генриха Герца и Хэвисайда. Именно из них, а не из исходных уравнений самого Максвелла, следует отсутствие продольной составляющей у электромагнитных колебаний. Есть, якобы, только поперечная составляющая. В чём дело? Возможно, Герц, найдя средство отбора энергии только у поперечной составляющей электромагнитных колебаний (т.н. «вibrator Герца»), только эту поперечную составляющую и счёл нужным отразить в своих уравнениях? Остальное же – «оставил за скобками». По-своему гениальное решение.

Далее, напоминая: что такое «вibrator Герца»? Индуктивностью и ёмкостью обладает даже кусок прямого провода. Замечательной особенностью такого контура с распределёнными параметрами является то, что резонансные ему волны вдвое длиннее стержня, его и называют «полуволновой vibrator». Vibrator взаимодействует с резонансной волной, переизлучая (отражая) её. К другим волнам он почти безразличен. У стержня разрезанного пополам есть «имя собственное» – «вibrator Герца». Он обладает ещё более замечательными свойствами.

Когда сопротивление разреза велико, перед нами, по сути, два отдельных вибратора, вдвое большей резонансной частоты. Если же включить в разрез согласованную нагрузку, то вибратор превратится в настоящую антенну (поглощает без переизлучения). Иначе говоря:

$R = 0$ , отражает;

$R = \text{«согласованная нагрузка»}$ , поглощает;

$R = \infty$ , не замечает.

«Согласованная нагрузка» составляет некий крат от волнового сопротивления эфира, которое равно 377 Ом. К сведению теоретиков, волновое сопротивление эфира столь же реально, как и сопротивление резистора. Наличие ригидности (сопротивления) обеспечивает существование колебательного процесса, одной только активности здесь недостаточно. Синтез какого-либо процесса возможен, если есть фактор, который итожит процесс становления. Если бы инженеры поверили, что эфира нет, то не было бы у нас ни радио, ни телевидения, а была бы только всеобщая «теория относительности».

В дальнейших рассуждениях о продольной составляющей электромагнитных колебаний, воспользуемся механической аналогией, а именно – волны на поверхности глубокой воды, – так как мы, не обладая непосредственным восприятием электромагнитных колебаний, не имеем и их зрительных образов. Метод аналогий, конечно, несовершенен, но и другие методы не лучше, а если и лучше, то только при прочих равных условиях, которые обычно неравны. Кстати, Максвелл при изложении своей теории электромагнетизма, активно использовал в качестве иллюстраций механические образы и аналогии. Более того, в своей работе «Динамическая теория электромагнитного поля» (часть III, п.74) он пишет: «Однако, говоря об энергии поля, я хочу быть понятным буквально. Всякая энергия есть то же, что механическая энергия, существует ли она в форме упругости, или в какой-нибудь иной форме. Энергия в электромагнитных явлениях – это механическая энергия. Единственный вопрос заключается в том, где она находится». Волновые процессы в среде связаны не с потоком, перемещающим вещество, а с передачей импульса от одних частиц, совершающих короткие регулярные движения, к другим (не думаете же, вы, что воздух, исходящий из свистка, пролетает тысячи метров). Наблюдая волны на поверхности воды (или, в ветряную погоду, на луговой траве), мы впадаем в иллюзию, что вода непрерывно движется в направлении от источника колебаний. На самом деле частицы воды совершают движения по замкнутым эллиптическим траекториям и, тем самым, создаётся иллюзия движения водных массивов. Очень хорошо это описано и обрисовано в учебнике физики Р.В. Поля (Механика, акустика и учение о теплоте,

стр. 302). Волны – это только зримый ландшафт реального, но сенсually не воспринимаемого колебательного процесса. Пусть ландшафтами занимаются ландшафтные дизайнеры.

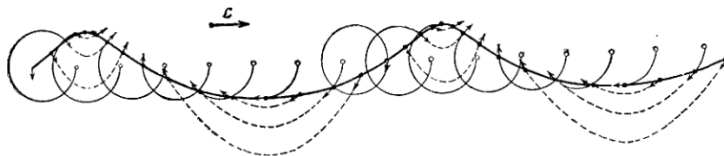


Рис. 437. Связь линий тока и круговых путей в бегущих водяных волнах. Горизонтальный ряд точек показывает частички поверхности воды в состоянии покоя, дуги окружностей — пути, пробегаемые ими по направлению часовой стрелки. Соединив маленькие *острия стрелок*, мы получаем профиль распространяющейся вправо волны в конце следующего промежутка времени. Круговые траектории вычерчены для каждой второй стрелки.

Известна установка математика-бурбакиста Лежена Дирихле: «Одoleвать проблему при минимуме слепых вычислений и максимуме наглядных идей». Следуя этому совету, не станем прибегать к помощи формул, а обратимся к нашим скромным иллюстрациям:

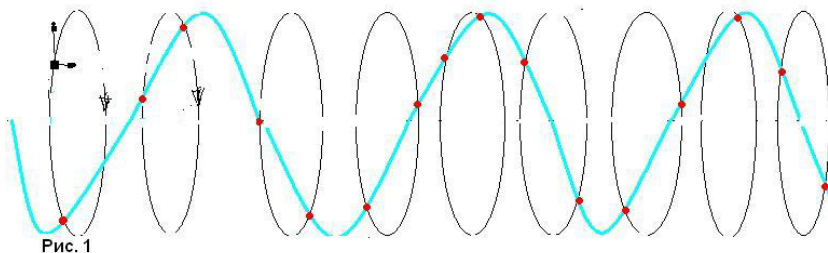


Рис. 1

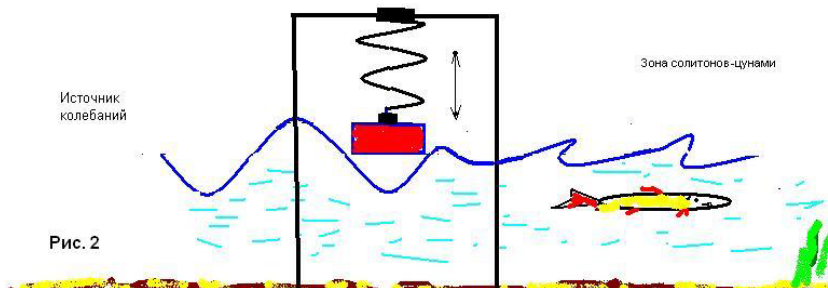


Рис. 2

На рис. 1 схематично показано, как при движении частиц воды по замкнутым эллиптическим траекториям, нам являются волны с иллюзией их движения (линия небесного цвета). Это как-то «бьёт» с представлениями о спине элементарных частиц. Получается, что при анализе волн на воде, передачу импульса следует связывать не столько с количеством движения, сколько с моментом количества движения частиц воды.

Здесь же, на первом эллипсе, видно, что у колебаний частиц воды (непрерывное движение по эллиптической траектории, занимающей одно и то же место в пространстве) есть поперечная и продольная составляющие.

На рис. 2 показано механическое устройство для отбора (экстракции) энергии у поперечной составляющей волны (механический вибратор Герца, приёмная антенна). Понятно, что наиболее эффективно энергия будет отбираться, если ширина днища поплавка будет составлять полволны, а «согласованная нагрузка» – упругость пружина вверху рамы, будет составлять где-то четверть от архимедовой силы (волнового сопротивление воды). Механическую энергию возвратно-поступательного движения легко превратить в другие виды энергии.

Как могло бы выглядеть устройство для отъёма энергии у продольной составляющей волны? Видимо, для начала нужно придумать – как разделить эти составляющие. Очевидно, если осуществить отбор энергии у поперечной составляющей колебания, то энергия его продольной составляющей сохранится. Характер возникшего после этой операции явления, подскажет: чем можно воспользоваться для управляемого отбора мощности у продольной составляющей колебания. Но не напрасно же мы мучили читателя представлениями о солитонных волнах? Сделаем предположение, что здесь колебания, лишившись поперечной составляющей, экстрагируются в волны солитонного типа, своего рода цунами. Это, в принципе, наблюдается, например:

если (рис. 2) считать источник колебаний расположенным слева от нашего поплавка-вибратора, то в области справа от него, где энергия продольной колебания составляющей уже поглощена поплавком-вибратором, – отмечаются быстро бегущие водные накаты, подобные цунами (над рыбкой),

вблизи больших антенных полей приёмных радиосетей, наблюдаются эффекты, аномальные с позиций теории радиосвязи.

Опираясь на только что сказанное, вновь прибудем к аналогии. Наши иллюстрации волнового процесса на поверхности глубокой воды

демонстрируют его развитие на фоне двухмерной поверхности, плоскости, с выходом за пределы двухмерного пространства, а электромагнитные волны – волны пространственные, для их описания необходим выход за пределы трёхмерного пространства. Должное представление о них может быть получено путём сопоставления с процессом роста. Общую интерпретацию процесса роста дал П.Д. Успенский [4].

Рост, пишет он – это не только увеличение или уменьшение в размере, но и движение, происходящее во времени. Поэтому все точки куба при расширении и сжатии не возвращаются на исходное место (координата времени), а описывают некоторую кривую. Рост – явление нелинейное. В процессе живого роста расстояния между молекулами (точками) не просто расширяются, а заполняются новыми молекулами, которые при дальнейшем расширении, в свою очередь, тоже уступают свое место другим. Такое представить без привлечения четвертого измерения невозможно, а с четвертым измерением – трудно, но возможно. Например, завязь яблока создается благодаря непрерывному движению во времени и отклонению в пространство. Завязь от яблока, тем самым отделена четырьмя месяцами движения его молекул в четвертом измерении, а геометрическая схема его роста может считаться диаграммой четвертого измерения. Четвертое измерение проглядывает сквозь растущие формы в природе. Снежинки и деревья без листьев являют человеческому взору следы движения молекул в пространстве четвертого измерения, которые остаются благодаря тому, что линии движения (роста) не исчезают. Так, например, благодаря тому, что следы роста четырехмерного тела сохраняются, человек видит причудливые, но удивительно симметричные формы снежинок, а в других случаях – листьев, цветов. Получается, что, даже обладая трехмерным восприятием, мы способны соприкоснуться с четвертым измерением, увидеть его следы. Для любителей наглядности можно привести образ тессаракта – четырехмерного куба. Гипотетически представлять его можно как бесконечное количество кубов, как бы вырастающих из одного. Однако, если при этом попытаться мысленно смоделировать движение в четырехмерном пространстве, то оно наиболее адекватно передается аналогией процессов расширения и сжатия, которые наблюдаются в трехмерном пространстве. Принципиально важно, что при этих процессах все точки расширяющегося и сжимающегося тела движутся одновременно (по радиусам), сохраняя взаимное расположение относительно центра и друг друга. Заметим, что сохраняющаяся в процессе пространственно-временного расши-

