

idb. КНИГА НОВОСТЕЙ

Е - между сном опытом

01:00 Загадки как подсказки

[К♥] Нарушение симметрии с двуделением

[Забывтые тайны](#) [40]

[Сны о чем-то большем](#) [41]

[Трюки Джокера](#) [42]

[Танцы на песке](#) [43]

[К♦] Черепаха и три ее слона

[Водные аттракционы](#) [44]

[Семейное дело](#) [45]

[Похоже на атмосферу](#) [46]

[Кольца Змеи](#) [47]

[J♦] Песчаный червь Уроборос

[Урок геометрии](#) [48]

[Мебиус и электричество](#) [49]

[ЭПР и относительность](#) [4A]

[Бразильский орех и гравитация](#) [4B]

[A♦] Музыка дымящихся зеркал

[Гармония звука, света и формы](#) [4C]

[Формы музыки](#) [4D]

[Кольца памяти](#) [4E]

[Память формы](#) [4F]

N	O	1	E
00:00	00:01	01:00	01:01
O	00:10	00:11	01:10
	01:10	01:11	O
	10:00	10:01	11:00
1	10:01	11:00	11:01
	10:10	10:11	11:10
W	10:11	11:10	11:11
	0	1	S

<http://KNIGANEWS.ORG>

[K♥] Нарушение симметрии с двуделением

Забытые тайны [40]

0 В независимости от того, как оценивать результаты развития фундаментальной науки за последние полвека – как череду грандиозных успехов или же как унылое топтание на месте – одно можно констатировать совершенно определенно. В том, что касается взгляда на материю и сознание как на единую и неразрывно связанную систему, наука не продвинулась вперед ни на шаг с момента ухода Вольфганга Паули. Иначе говоря, наиболее волнующие вопросы человеческого существования – такие как «Кто мы? Откуда пришли? Зачем мы здесь?» – по-прежнему считаются никак не относящимися к предмету изысканий ученых-физиков.

1 Имеется сильное ощущение, что это неправильно. В настойчивом разделении материи и сознания чувствуется нечто чрезвычайно противоестественное, словно навязанное человеку принудительно. А поскольку позиция Вольфганга Паули в этом отношении выглядит куда более цельной и последовательной, представляется логичным продолжить исследования с того места, где он остановился. Ну и дабы процесс дальнейшего развития идей Паули двигался естественно и органично, не лишено, быть может, смысла повнимательнее присмотреться к тем результатам и гипотезам, что появились одновременно у нескольких молодых физиков-теоретиков вскоре после кончины видного ученого в декабре 1958.

2 Каким именно образом одни и те же важные идеи по сути одновременно приходят в голову разным людям, это (пока) науке неизвестно. Но остается фактом, что в начале 1960-х годов сразу в трех местах полдюжины исследователей – Питер Хиггс [1] соло, дуэт F. Englert & R. Brout [2] и трио Guralnik / Hagen / Kibble [3] – независимо друг от друга разработали математику теоретического механизма для разрешения проблем с единством электрослабых взаимодействий и загадкой появления у частиц массы. Эта конструкция, обеспечивающая цельность и непротиворечивость Стандартной Модели частиц, в истории закрепились под не самым справедливым, но зато кратким названием «механизм Хиггса». И получила общепринятую интерпретацию в виде легендарного – поскольку до сих пор никем не наблюдавшегося – «бозона Хиггса». Однако здесь эта теория интересна ради совсем другой интерпретации.

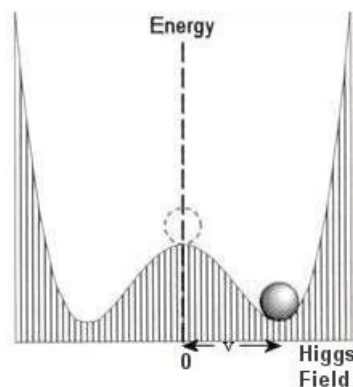
3 Суть одновременного открытия всех этих физиков можно представить так, что сконструированный ими механизм оказывается созвучен тем загадочным идеям Вольфганга Паули, что пронизывали и чрезвычайно воодушевляли – судя по письмам – его исследования в последний год жизни. Можно напомнить, что несколько неожиданный интерес Паули к задачам гидродинамики, не говоря уже о таинственных фразах про раздвоение и уменьшение симметрии, по сию пору не находят внятного объяснения у историков науки. В связи с чем особенно интересно посмотреть на теоретический механизм Хиггса в привязке именно к этим трем «ключам», которые могли бы дать подсказки относительно конструкции Паули.

#

4 Что касается эффектов гидродинамики, то здесь созвучие идей представляется вполне очевидным. Когда суть заведомо нетривиальной математики в хиггсовой модели пытаются популярно донести до понимания обычных людей, то самые простые аналогии из жизни обычно связывают с водой. В качестве элементарного примера, иллюстрирующего появление массы у
4 исходно безмассовых частиц, приводят замедление движений человека, которому приходится идти по пояс в воде. Чуть более наглядный пример – мелкие шарики раскрошенного пенопласта, практически невесомые сами по себе и на твердой поверхности стола разлетающиеся в разные стороны от малейшего дуновения. Однако если эти же шарики рассыпать на поверхность воды, то они уже куда меньше зависят от легких дуновений, словно становясь в воде тяжелее от дополнительно обретенной массы.

5 Примерно таким же образом – словно всепроникающая жидкость – воздействует на частицы и поле Хиггса. Сами по себе частицы не имеют массы, однако под действием «жидкости» Хиггса они обретают дополнительную инертность, проявляющуюся как их масса. При этом, чтобы данный механизм работал, поле Хиггса обязательно должно обладать весьма необычным свойством, отличающим его от всех прочих квантовых полей, рассматриваемых в физике. Любое другое квантовое поле в состоянии вакуума – когда в нем нет возбуждений-частиц – имеет нулевое значение энергии. А у всепроникающего поля Хиггса в состоянии вакуума энергия по определению должна быть ненулевой.

6 Данное свойство является принципиально важным не только для появления массы, но и для механизма нарушения симметрии, объясняющего разительные отличия между электромагнитными и слабыми ядерными взаимодействиями. Чтобы наглядно проиллюстрировать механизм нарушения (или «уменьшения») симметрии в физической системе применительно к конструкции Хиггса, часто используют аналогию мяча на вершине пригорка. Такой мяч находится в равновесном состоянии, которое симметрично относительно любого направления для скатывания вниз, но при этом состояние наверху нестабильно. От малейшего воздействия мяч скатывается с холма, из-за чего одно конкретное направление его движения становится отличным от всех прочих возможных. Симметрия системы оказывается нарушена, но при этом возрастает ее стабильность.



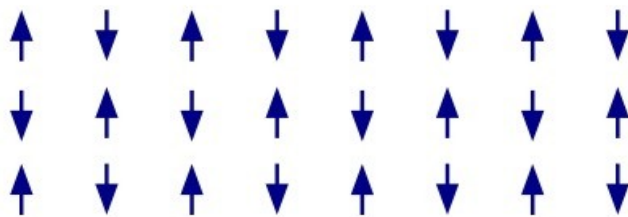
Механизм нарушения симметрии в поле Хиггса

7 Применительно к хиггсову механизму такого рода спонтанное нарушение симметрии позволяет объяснить появление различий в электрослабых взаимодействиях. Картина распределения энергии в поле Хиггса напоминает по форме тот же пригорок, а точнее, мексиканскую шляпу-сомбреро, которая наглядно иллюстрирует, каким образом система из симметричного, но нестабильного состояния, когда силы электромагнитного и слабого взаимодействия одинаковы, спонтанно переходит или «скатывается» в стабильное, но несимметричное новое состояние. При котором силы становятся очень непохожими – слабая действует лишь на очень коротких расстояниях, а электромагнитная на больших дистанциях.

##

8 Среди других популярных иллюстраций, поясняющих эффект спонтанного нарушения симметрии в привязке к механизму Хиггса, особенно интересны те, что одновременно способны демонстрировать еще и «принцип удвоения» системы. С этой точки зрения любопытно взглянуть на такие физические свойства материалов, как ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Ферромагнетики, как и прочие вещества с магнитными свойствами, состоят из молекул с дипольным моментом, или проще говоря, их молекулы ведут себя как крошечные магнитики. При высокой температуре все эти магнитики сориентированы в веществе беспорядочно, то есть каждое направление равноправно, а вся система в целом является симметричной.

9 Однако, когда температура системы понижается, то в определенной точке происходит спонтанное упорядочивание магнитиков по одной оси – значит, симметрия направлений в системе оказывается нарушена. В ферромагнитных веществах такое упорядочивание происходит у всех полюсов молекул в одну и ту же сторону. Особо же интересный для данного исследования вариант самоорганизации демонстрирует похожее в своей физике явление антиферромагнетизма. Отличие заключается в том, что в антиферромагнитных веществах каждый магнитик при спонтанном упорядочивании выстраивается антипараллельно своим соседям. То есть ось общего направления и здесь одна, но полюса у соседних молекул смотрят в противоположные стороны.



Нарушение симметрии в антиферромагнетике

Можно сказать, что здесь в результате спонтанного нарушения симметрии вся система распадается на две подсистемы молекул – в одной полюса всех магнитиков сориентированы в одну сторону, а в другой – в противоположную. То есть произошло «двуделение» системы, при котором, однако совокупное распределение магнитных зарядов не изменилось и осталось нейтральным...
a Достаточно очевидно, наверное, что на примере данного физического явления можно одновременно наблюдать эффекты раздвоения и уменьшения симметрии (созвучные, возможно, с идеями Паули). Чтобы стало понятнее, каким образом этот пример с антипараллельным расположением осей у соседних частиц также оказывается весьма созвучен и с механизмом Хиггса, следует сделать дополнительные пояснения.

Поскольку поле Хиггса демонстрирует свойства сверхтекучей жидкости, а сверхтекучая жидкость, состоящая из электрических зарядов, является сверхпроводником, близкие связи между физикой сверхпроводимости и физикой хиггсова поля всегда были общеизвестны. Но самое, возможно, главное, что именно физика сверхпроводников на сегодняшний день предоставляет и единственный пример экспериментально наблюдаемого механизма Хиггса. В 1981 году сотрудники Белловских лабораторий Литтлвуд и Варма показали [4], что неожиданные особенности в свойствах сверхпроводника диселенида ниобия ($NbSe_2$) теоретически можно трактовать как действие «бозона Хиггса». Или, иначе говоря, как появление дополнительной инертной массы у куперовских пар, то есть пар взаимно притягивающихся электронов, имеющих антипараллельные спины и обеспечивающих сверхтекучесть электронного газа в проводнике.

###

Самое примечательное в данном примере то, что он наглядно демонстрирует специфику физических интерпретаций для хорошо работающей математики. На самом деле никакого «бозона Хиггса» здесь конечно нет, а есть общий, как выяснилось, для всех сверхпроводников механизм осцилляции расстояния между электронами в куперовской паре. Случилось так, что этот механизм очень хорошо описывается математикой хиггсовой модели для появления массы у частиц. Формулируя иначе, и реальность частиц может оказаться такова, что хиггсова модель предсказывает вовсе не трудноуловимые бозоны, а новые, пока еще не выявленные особенности осцилляций в природе электромагнетизма и слабых взаимодействий. И нельзя исключать, что понимание этого достаточно принципиального нюанса неразрывно связано с разрешением других загадок, давно озадачивающих науку.

Правда, прежде чем подступаться к их решению, для начала необходимо вспомнить о самом факте существования таких загадок. Ибо не только обычные люди, далекие от физики, но и профессионалы-ученые в большинстве своем настолько уже с этими тайнами свыклись, что считают их просто данностью природы, не требующей объяснения. Загадок такого рода все еще довольно много, но именно сейчас желательно вспомнить об одной из фундаментальных – о тайне равенства электрических зарядов у протона и электрона, то есть главных кирпичиков, образующих всю известную человеку материю во вселенной. Достоверно известно, что протон и электрон представляют собой объекты, чрезвычайно разные по своим свойствам, таким как размер, масса, состав, взаимодействие с другими частицами. И при этом электрон, масса которого в 1836 раз меньше массы протона, имеет абсолютно такой же как у протона электрический заряд, отличающийся лишь по знаку. Физические эксперименты высочайшей точности подтверждают это равенство с совпадением до последней доступной измерениям цифры. Однако теория совершенно не в силах объяснить, откуда берется столь поразительное точнейшее совпадение.

Причем это далеко еще не вся загадка. На основе имеющихся у астрофизиков результатов можно подсчитать, что суммарное количество протонов в поддающейся наблюдениям вселенной составляет целое число длиной 80 десятичных цифр. В точности знать все эти 80 позиций человеку, конечно же, не дано, однако не это главное. Важно здесь то, что

количество электронов во вселенной тоже выражается числом длиной в 80 цифр. И по всей вероятности два этих невообразимо гигантских целых числа каким-то непостижимым образом оказываются – цифра за цифрой – равны между собой. Совпадение в цифрах самых младших разрядов наука гарантировать не может, однако отличия должны быть неощутимо малы. Точное равенство количества протонов и электронов в природе следует из того, что суммарный электрический заряд вселенной, насколько это известно астрофизике, равен нулю. Как объяснить это еще одно фантастическое совпадение, ученые тоже не знают...

f Но, быть может, если ответы на данные вопросы не удастся отыскать традиционными методами науки, то имеет смысл подойти к ним как-то нестандартно? Скажем – вслед за Паули – через сновидения?

-
- [1] Peter W. Higgs. «Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons». Physical Review Letters 13: 508-509. (1964)
 - [2] F. Englert and R. Brout. «Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons». Physical Review Letters 13: 321-323. (1964)
 - [3] G. S. Guralnik, C. R. Hagen, and T. W. B. Kibble. «Global Conservation Laws and Massless Particles». Physical Review Letters 13: 585-587. (1964)
 - [4] P. B. Littlewood and C. M. Varma. «Gauge-Invariant Theory of the Dynamical Interaction of Charge Density Waves and Superconductivity», Phys. Rev. Lett. 47, 811-814 (1981)

Сны о чем-то большем [41]

0 Насколько это известно современной науке, практически всем людям во время сна свойственно иметь сновидения. Если смотреть на данный неоспоримый факт с точки зрения биологической эволюции, то приходится сделать вывод, что сновидения – это эволюционно адаптивное состояние. Или, формулируя ту же мысль несколько иначе, сны должны были играть какую-то немаловажную роль в выживании человечества как вида.

1 Понятно, что из этого вывода совершенно естественным образом вытекает неудобный вопрос «типа почему»: «Так зачем же человеку снятся сны»? Неудобен он по той причине, что ответа на данный вопрос у науки до сих пор нет. То есть разнообразные варианты ответов, конечно, предложены. Но несмотря на более чем 40-летнюю историю целенаправленных исследований мозга, сфокусированных на нейрофизиологии сна, среди ученых к настоящему времени так и не наметилось никакого консенсуса относительно того, почему же мы видим сновидения.[1]

2 С другой стороны, хорошо известно, что на всем обозримом протяжении человеческой истории среди самых разных народов устойчиво бытовала идея, согласно которой сны даны нам во благо, то есть для получения всяческих наставлений и предупреждений. Известно также и о тех усилиях, что много тысячелетий назад уже предпринимались исследователями для систематизации картин из сновидений ради облегчения их понимания и интерпретации. В истории древнегреческой культуры, к примеру, сохранились свидетельства о софисте по имени Антифон Афинский, жившем в пятом веке до нашей эры и написавшем, среди прочего, книгу-руководство «Толкование сновидений». Текст этой книги, правда, не сохранился.

3 Но зато в полном виде дошло до нас аналогичное исследование «Онейрокритика», составленное другим мыслителем эпохи античности, Артемидором Далдианским. Этот автор жил и работал значительно позже Антифона, примерно во II веке н.э., однако при сборе материалов для пяти книг своего сочинения черпал информацию из разных, порой весьма древних источников. В частности, из египетской книги толкования сновидений, датированной примерно двухтысячным годом до новой эры.[2]

#

4 Иначе говоря, для людей прошлого их сновидения играли куда более важную роль, нежели та, что отводится этому состоянию сознания современной наукой. А более чем многочисленные документы и свидетельства из истории XIX-XX веков о том, как творческие личности черпали из своих снов не только плодотворные идеи, но даже целые произведения и научные теории, обычно расцениваются учеными просто как забавные анекдоты. Однако даже самый поверхностный обзор этой темы приоткрывает настолько интересные вещи, что остается лишь удивляться, почему данное направление стимуляции творческих способностей по сию пору не получило надлежащего исследования и развития среди специалистов-психологов.

Среди наиболее знаменитых примеров снов, подаривших вдохновение музыкантам, писателям и художникам, обычно упоминают такие. Рихард Вагнер и Пол Маккартни музыку самых выдающихся, быть может, из своих сочинений услышали во сне («Тристан и Изольда» и Yesterday, соответственно). Поэт Сэмюэл Колридж и прозаик Роберт Льюис Стивенсон имели впечатляющие сновидения, результатом которых стала поэма Колриджа «Кубла Хан» и роман Стивенсона «Доктор Джекилл и мистер Хайд». А художник Сальвадор Дали просто называл свои сюрреалистические картины «написанными от руки фотографиями снов».[3]

Если же разговор заходит о выдающихся сновидениях в мире науки, то почему-то чаще всего принято упоминать сны знаменитых ученых-химиков XIX века – германского Фридриха Августа Кекуле и русского Дмитрия Ивановича Менделеева. В 1865 году Кекуле, ломавший голову над загадочной структурой молекул углеводорода бензола, увидел сон, в котором змея, двигаясь по кругу, ухватила себя за конец собственного хвоста. Эта живая картина вызвала у Кекуле подлинное озарение, приведя не только к постижению формы бензольного кольца, но и к целому ряду важных работ ученого, заложивших основы современной органической химии.[4]

А несколько лет спустя, в 1869 году Дмитрий Менделеев, уже который месяц подряд упорно пытавшийся установить систему в том, как свойства химических элементов связаны с их атомными весами, после целой ночи безуспешных атак заснул под утро прямо в кабинете. И тут во сне он ясно увидел, как именно должны располагаться элементы в строках и столбцах его таблицы. От радости ученый проснулся и тут же – пока не забыл – набросал увиденное на первом попавшемся клочке бумаги. Так, по собственному рассказу автора, родилась периодическая таблица элементов Менделеева, повсеместно применяемая и по сию пору.[5]

##

Трудно сказать по какой причине, но значительно реже принято вспоминать о провидческих снах ученых, закладывавших основы физики XX века. То есть тех странных теорий, что попирали не только фундаментальные основы классической науки, но и вообще здравый смысл. Однако в мемуарной литературе при желании можно отыскать свидетельства и на этот счет. Например, о том, что самый важный вклад Эрнеста Резерфорда в физику, его «планетарная» модель атома, предложенная в 1911 году, была вдохновлена, говорят, ярким сном, в котором электроны словно планеты кружили вокруг ядра, подобного солнцу.

А молодому ассистенту Резерфорда, датчанину Нильсу Бору, чуть позже, в 1912, приснился другой важный сон – о скачках, где каждая из лошадей бежала по своей дорожке. Интерпретированные как электроны на дискретных орбитах, эти лошади вдохновили Бора на создание квантовой модификации планетарной модели, выстроенной на основе новаторских идей Макса Планка и Альберта Эйнштейна. Модели атома, сконструированные Резерфордом и Бором, выглядели для современников весьма странно, откровенно противоречили неоспоримым в ту пору законам механики и электродинамики, однако именно на их основе базируется вся сегодняшняя физика.

Похожая история имелаась и у Альберта Эйнштейна, который в одном из своих поздних интервью рассказал, что его научный путь, приведший к созданию теории относительности, можно представлять как продолжительную медитацию на ярком сновидении, увиденном еще в юности. В этом сне он катился на санках, а скорость саней все время быстро нарастала, приближаясь к скорости света. Когда же он взглянул вверх, то увидел, что звезды изменяют свою форму, распадаясь на невиданные никогда прежде цвета. Переполненный чувством благоговения, Эйнштейн в тот момент ощутил, что увиденная картина содержит важнейший для всей его жизни смысл...

Хотя в большинстве подобных рассказов сон фигурирует лишь в качестве однократного счастливого видения, известны и существенно иные истории. Вот что, к примеру, поведал в своей автобиографии Отто Леви, известный германо-американский врач и фармаколог. В 1921 году, однажды ночью среди сна он неожиданно проснулся, включил свет и набросал несколько фраз на листочке бумаги, оказавшемся поблизости. Затем ученый вновь заснул, а поутру, хотя и припоминал, что записывал крайне важные мысли о мучившей его научной проблеме, так и не смог расшифровать собственные каракули. На следующую ночь, примерно часов около трех, Леви опять увидел тот же самый сон. Эта была простая и красивая идея эксперимента для проверки его давней, еще 17 лет назад выдвинутой гипотезы о природе передачи возбуждений в нервной системе организма. Опять проснувшись, на этот раз Леви немедленно вскочил с кровати, отправился в лабораторию и тут же провел увиденный во сне эксперимент. За это открытие – химическую теорию синаптической передачи – Отто Леви получил в 1936 году Нобелевскую премию в области физиологии и медицины.[6]

###

Великое множество историй подобного рода прекрасно известно психологам и нейробиологам, занимающимся исследованиями мозга в состоянии сна. Большая проблема, однако, заключается в интерпретации всех этих фактов, поскольку трактовать их можно очень по-разному. Одни, к примеру, видят здесь убедительные подтверждения тому, что сны человека способны порождать принципиально новые решения и идеи. Однако имеется и прямо противоположная точка зрения, согласно которой во сне мозг человека просто лишь «утрачивает и укладывает» то, над чем человек размышляет в период бодрствования.[7]

Одна из разновидностей такой позиции носит название инкубационная теория креативности. Как считают сторонники этой концепции, способность мозга к инкубации информации позволяет сознанию продолжать исследование проблемы в разных состояниях, включая и сон. С той разницей, что во сне происходит «неявный процесс» обработки набираемых знаний. Однако в итоге это может приводить к спонтанному озарению – «моменту Эврика!» – как в бодрствующем состоянии, так и во сне. Практически все из собранных в истории свидетельств об открытиях через сновидение вполне согласуются с этой теорией, считают ее сторонники. Почти каждый из исторических персонажей, имевших подобный опыт, был продвинутой в своей профессиональной области личностью и до того, как получал «вдохновенный» сон.

Пример со сном Эйнштейна-подростка, строго говоря, эту гипотезу опровергает. Однако для полноты картины куда интереснее обратиться к достижениям особо выдающегося персонажа – гения технической изобретательности по имени Томас Алва Эдисон. Будучи чудовищно необразованным человеком, багаж теоретических знаний которого ограничивался несколькими классами начальной школы, Эдисон умудрился поставить и по сию пору, похоже, непревзойденный мировой рекорд по числу патентов на изобретения (свыше 1000). Многие специалисты, особенно в Америке, считают, что никто не может сравниться с Эдисоном по масштабам личного вклада в современные технологии, основанные на электричестве. Каким образом такой казус мог произойти в просвещенный XIX век – внятно никто объяснить не может. Сам изобретатель признавался, что никогда не опирался в своей работе на цифры и предварительные расчеты (поскольку просто не умел их делать), а просто ставил эксперименты, придуманные особыми методами, которые он «не может объяснить».

Особого секрета из этих методов, в общем-то, никогда не делалось, поскольку всю свою жизнь Эдисон отличался несколько эксцентричной особенностью – в любых обстоятельствах он мог и любил немного поспать днем. При этом неподалеку от себя он непременно укладывал блокнот и карандаш, чтобы сразу по пробуждении записать посетившие его идеи. Более того, поскольку наиболее интересные мысли – зачастую прямые ответы на явно сформулированные вопросы – приходили именно в момент засыпания, а к моменту пробуждения уже успевали подзабыться, то Эдисон и на этот случай изобрел специальную технологию. Рассказывают, что он клал под кресло, в котором любил подремать, железные пластины, а в руки брал по увесистому шарик. И в тот критично важный момент, когда сознание переходило из бодрствующего состояния в сон, шарики выскальзывали из рук изобретателя и с грохотом будили его, давая возможность зафиксировать очередную интересную идею. Откуда в эдисоновой голове, абсолютно не отягощенной образованием, постоянно возникали великие идеи – для науки объяснить действительно непросто и по сей день.

-
- [1] Maquet, P., Ruby, P., Maudoux, A. et al., «Human cognition during REM sleep and the activity profile within frontal and parietal cortices. A reappraisal of functional neuroimaging data». *Progress in Brain Research*, 150,(2005) pp 219–27.
 - [2] Schatzman, Morton. «Dreams and problem solving». *International Medicine* (1984), 4, 6–9
 - [3] Ades, D., «Dali». London: Thames and Hudson (1982)
 - [4] Kekulé A., «25 Jahre Benzolfest: von August Kekulé». *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 23 (1): 1302–11 (1890)
 - [5] Иностранцев А. А., «Воспоминания (Автобиография)». СПб.: Центр «Петербургское Востоковедение», 1998.
 - [6] Loewi Otto. «From the Workshop of Discoveries». Lawrence: University of Kansas Press. (1953)
 - [7] Blagrove, M., «Dreams as a reflection of our waking concerns and abilities: A critique of the problem-solving paradigm in dream research». *Dreaming*, 2, 205–219 (1992)

Трюки Джокера [42]

0 Пример феноменальной плодовитости на открытия, продемонстрированный глубоко невежественным в науках Эдисоном, особо интересен вот по какой причине. Помимо умения правильно засыпать и просыпаться с интересными идеями, бесспорным даром этого человека было редкостное упорство в экспериментальной проверке озаряющих его идей. Без всякой

1 опоры на расчеты, методом неисчислимых проб и ошибок эти эксперименты нередко приводили-таки настырного изобретателя к нужному результату. Куда более образованную часть современников этот дилетантский подход крайне раздражал своей примитивностью и избыточностью, однако никто не мог отрицать, что Эдисону действительно удавалось сконструировать действительно новые вещи в науке и технике.

2 Однако дело это весьма давнее и характерное, вероятно, лишь для конкретно той исторической эпохи. Нынешний же уровень развития и специализации научных дисциплин возрос и усложнился до такой степени, что на их фоне почти любой человек со стандартным высшим образованием, не говоря уже о школьном, по своему багажу знаний мало чем отличается от Эдисона на фоне науки его времени. В таких условиях крайне наивным показалось бы предположение, будто и сегодня может появиться некий полуграмотный сновидец, способный содержательно поведать ученым о чем-то эдаком новом, чего бы они и так давным-давно не знали.

3 Но именно в этом переизбытке знаний, характерном для современной ситуации в науке и обществе, и кроется основная проблема. Всевозможные идеи, эксперименты и теории уже предложены в таких количествах, что сконструировать из них можно абсолютно что угодно - от новых психотехнологий для творческих сновидений до новых моделей мироздания. Единственное, что по-прежнему в очевидном дефиците - это действительно красивые идеи. А уж простой и красивой модели, объединяющей в себе вселенную и человека разумного, нет и в помине.

4 Задачу творчества люди одаренные иногда формулируют очень кратко - умело отсесть все лишнее, оставив чистую красоту. Главная трудность, конечно же, сводится к различению того, что тут лишнее, а что изъять никак невозможно. В подобных ситуациях и может оказываться очень кстати старая как мир помощь из сновидений. Только теперь - в новых условиях интернета и дикого избытка информации - образы из снов можно трактовать уже не столько как подсказки, а скорее как фильтры, помогающие сузить поиск и выделить в потоках материалов зерна простой красоты. Возможно, этот путь кому-то покажется нудным и избыточным, однако он действительно способен приводить к результатам.

#

Итак, представим теперь, что однажды вам - как в свое время Эдисону - тоже удалось освоить некую систему для поиска решений через сновидения. Суть метода в общем-то несложна и многократно описана в соответствующей литературе, однако для внятного ее объяснения здесь пришлось бы чересчур отдаляться от основной темы. С другой стороны, и к теме сновидений в дальнейшем придется возвращаться еще не раз, так что технические аспекты этого дела постепенно станут понятны сами собой. Поэтому сейчас имеет смысл сразу перейти к одному из важных итогов в подобных экспериментах над собственным сознанием.

В ходе данного эксперимента вы засыпаете с мыслью о том, что хотелось бы получить ответ на два явно связанных вопроса, очень просто формулируемых, однако по сию пору так и остающихся неразрешимой загадкой. (1) Каким образом природе удастся все время поддерживать строго равное количество протонов и электронов? (2) И почему (каков механизм того, что) эти столь разные по свойствам частицы имеют в точности одинаковый по величине электрический заряд?

...Как только вы засыпаете, то первое, что ощущается – это полная и непроглядная темнота. Но зато слышна музыка. Точнее, не музыка даже, а завораживающий упругий ритм. Судя по звуку, его отбивают ноги множества танцоров – нечто похожее можно услышать, к примеру, в ирландских национальных танцах. Затем в темноте появляется круг света, куда вступает – отбивая ногами все тот же общий ритм – несколько необычный персонаж. Судя по виду, то ли шут, то ли клоун, но каким-то образом вы быстро понимаете, что это карточный джокер. Наряд джокера замысловато скроен из ткани двух цветов, черной и белой, так что цвета эти симметрично чередуются во всем – в разном окрасе рукавов, штанин, обуви, бортов и спины камзола. На лицо надета белая маска, со строгим и непроницаемым выражением, однако со стороны затылка видно другую маску, черную и улыбающуюся.

Единственное, что выглядит не очень ясно в контрастном черно-белом облике Джокера, это его головной убор. Понятно вроде, что он похож на колпак, но колпак какой-то непрерывно мерцающий, с туманно расплывающейся формой и окраской. Джокер словно понимает, что вас заинтересовал его головной убор, и, не прекращая танец, снимает его с головы. Поначалу колпак конической формы кажется полупрозрачным, но как только Джокер выворачивает его наизнанку, изнутри он выглядит абсолютно черным. Когда же шапку выворачивают обратно наружу, то теперь цвет ее оказывается совершенно белым. Попутно вы замечаете, что в результате данных манипуляций в руках у Джокера оказываются уже два одинаковых колпака – черный и белый. Он разводит их на вытянутых руках в разные стороны, и тут начинается самое занятное во всем представлении.

##

Руки Джокер держит не строго горизонтально, а с наклоном – одна направлена чуть вверх, другая чуть вниз. Та рука, что находится выше, держит колпак острым концом вниз, а та, что ниже – острием, соответственно, вверх. Когда Джокер меняет положение рук, поднимая опущенную и опуская поднятую, то колпаки одновременно начинают выворачиваться, так что в итоге острый конец верхнего снова смотрит вниз, а нижнего – опять вверх. Медленно продемонстрировав колебания этих своеобразных качелей несколько раз, Джокер начинает вращаться вокруг собственной оси, не прекращая движение рук с колпаками.

Быстрое вращение и манипуляции танцора вызывают в вашем сознании нечто похожее на помутнение и вы, желая сосредоточиться, концентрируете внимание на одном из колпаков, а именно, на его широком конце. Из-за этого вы словно оказываетесь сидящим на краю шапки, наблюдая, как вокруг вас стремительно вращается острый конец второго колпака. На секунду вы вспоминаете, что со стороны картина происходящего выглядела существенно иначе, однако эта мысль тут же сменяется другой яркой картиной – будто вы находитесь в центре атома водорода, а вокруг вас снует электрон. Его стремительные движения по орбите почему-то напоминают вам, что и приютивший вас «протон» в своем втором, узком конце колпака сам является «электроном», кружащимся вокруг основания другой шапки-конуса.

Эта идея во сне представляется вам настолько очевидной и кристально прозрачной, что мысль на ней даже не задерживается, поскольку вокруг разворачиваются куда более захватывающие картины. Оказывается, что вы уже и не протон вовсе, а солнце, взирающее на летящие вокруг вас планеты. И хотя все эти планеты вам давно и отлично знакомы, вы в то же время очень четко ощущаете их в этой системе как «внешние», в то время как глубоко внутри вашего звездного тела имеются и другие, «собственные» планеты. Эти планеты-основания другим своим концом-вершиной кружат где-то далеко-далеко во вселенной, составляя компанию тем звездам, что вершинами своих «внутренних» планет скрашивают ваше одиночество здесь.

Правда, все эти сугубо человеческие понятия – внешние, внутренние, далеко, одиночество – теперь уже представляются весьма искусственными, искусными и забавными выдумками, поскольку все вы, как звезды, ощущаете себя единым и неразделимым целым. Ибо все вы некоей невидимой, но очень важной своей частью сплетены в плотный тугий узел в центре иной галактики. Причем и этот центр похож на конус – в основании являясь гигантской черной дырой, а на другом своем конце-вершине давая начало еще одной галактике, рассыпающейся мириадами ярко-белых звезд. Своим ослепительным светом это море огней пробуждает вас ото сна...

###

Даже поверхностный анализ столь богатого сновидения, показавшего много больше того, о чем спрашивалось, позволяет сформулировать ответы на поставленные вопросы следующим образом. Если верить загадочному Джокеру из сна, то вселенная имеет как бы две симметричные стороны. Так что частица, здесь представляющаяся тяжелым протоном, при взгляде с другой стороны вселенной оказывается легким электроном. И, соответственно, наоборот – здешний электрон для другой стороны оказывается протоном.

Понятно, что такая картина абсолютно естественным образом отвечает на вопрос о причинах точного и постоянного равенства в количестве протонов и электронов в природе. А коль скоро единая сущность протона-электрона представляется постигнутой, то отсюда столь же естественным образом следует и равенство электрических зарядов на концах этого совокупного объекта. Другое дело, что суть природы противоположных электрических зарядов так и осталась пока что совершенно неясной. Но, во-первых, вопрос об этом вообще-то перед сном и не ставился. А во-вторых, в подобном контексте задачи имеет смысл поискать ответ среди уже известных исследований физиков. Ведь практически наверняка, подобного рода идеи должны были приходиться ученым в голову и раньше.

Но прежде, чем приступать к поискам информации, в комплект ко сну с танцем Джокера полезно напомнить еще два весьма созвучных сна из тех, что снились в 1950-е годы Вольфгангу Паули. В обоих из них появлялась некая азиатская женщина в черном, и оба тоже были так или иначе связаны с танцами. В первом из этих снов кружащаяся в танце женщина также показала Паули два мира, верхний и нижний, соединенные через люк винтовой лестницей. А постоянные перемещения танцовщицы вверх-вниз по этой лестнице, в сочетании с вращением, стерли у Паули грань различия между верхом и низом.

f Второй сон Паули с участием той же женщины предоставил другую своеобразную подсказку, где в виде схемы танца пояснялось, каким образом одновременно обеспечивается динамика и устойчивость системы. Согласно этой схеме – квадрат, точки вершин которого меняются местами по диагонали – в системе происходит постоянное «перетряхивание» точек, когда верхнее меняется местами с нижним, а правое с левым... Несложно, наверное, заметить, что оба эти сна в важнейших своих моментах указывают, похоже, на те же вещи, что и сон с Джокером. Поэтому при дальнейших поисках информации представляется логичным принимать во внимание и эти подсказки.

Танцы на песке [43]

0 Среди того необозримого океана самых разнообразных физических исследований, в которые предстоит погружаться для поиска результатов, созвучных образам из сновидений, всякому ищущему, конечно же, очень легко утонуть. Дабы этого не произошло, имеет смысл – по крайней мере на начальном этапе – ограничивать поиски лишь наиболее надежными и достоверными фактами. А таковыми в физике издавна принято считать результаты экспериментов и наблюдений (богатейший инструментарий теоретиков сейчас позволяет предсказать и обосновать практически что угодно).

1 Сфокусировав внимание на ключевой идее сна с Джокером – о протон-электроне как двух сторонах одного и того же осциллирующего объекта – среди открытий экспериментальной физики удастся отыскать довольно близкую по сути аналогию, явно заслуживающую внимательного рассмотрения. Речь идет о любопытном и сравнительно недавно обнаруженном физическом явлении, получившем название «осциллон».

2 В середине 1990-х годов аспирант Техасского университета Пол Амбенхауэр проводил эксперименты по изучению свойств сыпучих веществ, то есть гранулированных, имеющих зернистую структуру материалов. Такие материалы состоят из множества твердых частиц, но при этом обладают текучестью подобно жидкостям. При общем же рассмотрении они по целому ряду свойств существенно отличаются как от твердых тел, так и от жидкостей или газов, занимая между ними собственное, особое положение.

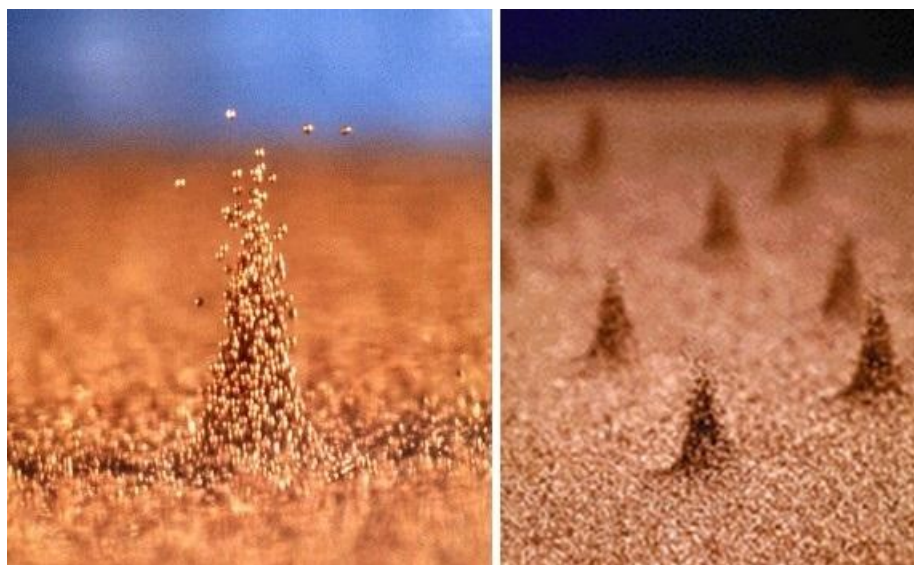
3 Чтобы наглядно себе представить, насколько оно особое, достаточно вспомнить обычный песок, который легко струится через небольшое отверстие в колбе песочных часов, но при этом на пляже легко удерживает на своей поверхности человека. Повышенный интерес гранулированные материалы вызывают еще и потому, что весьма своеобразно ведут себя при вибрациях. Например, давно известно, что при взбалтывании и потряхивании этот материал естественным образом разделяется на фракции, образуя отдельные слои из прежде перемешанных гранул большого и маленького размера.

#

4 Давно установлено, что если вибрации носят не случайный, а регулярный характер, то в слое вибрирующего гранулированного материала может происходить самообразование устойчивых структур разной геометрии – ячеек, полос, извилистых дорожек. Однако Полу Амбенхауэру и его коллегам удалось открыть в физике данного явления нечто совершенно новое.[1]

5 Экспериментальная установка ученых представляла собой цилиндрической формы контейнер с плоским дном, куда были насыпаны очень мелкие бронзовые шарики диаметром в доли миллиметра. Контейнеру придавали регулярные колебательные движения вверх-вниз с частотой от 10 до 100 раз в секунду, так что при толщине слоя шариков в 7-8 частиц материал, как и ожидалось, демонстрировал формирование разных устойчивых структур при сочетании различных частот и амплитуд колебаний.

Настоящее открытие произошло тогда, когда толщину слоя засыпанного в контейнер материала увеличили до глубины 17 шариков. В этом случае стали наблюдаться спонтанные зарождения совершенно новых одиночных структур, чем-то напоминающих всплеск воды в луже, но с одним очень важным отличием. После всплеска эта структура – названная открывателем осциллоном – не размазывается по поверхности, а вновь собирается в столбик, который затем снова плюхается вниз.



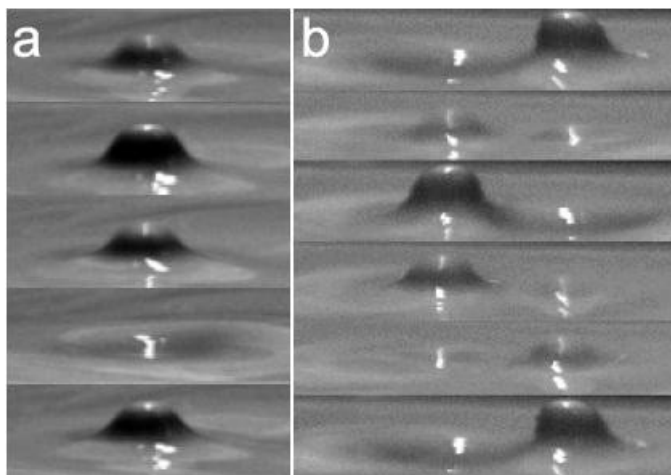
Осциллоны из бронзовых шариков

Формулируя суть несколько иначе, осциллон попеременно переходит из состояния, напоминающего пик, в состояние, напоминающее кратер, затем снова в пик и так далее неопределенно долго, пока продолжается опыт. При этом колеблющийся осциллон медленно дрейфует по поверхности слоя, а наиболее занятые вещи происходят при близкой встрече осциллонов друг с другом. Если два таких осциллона одновременно находятся в состоянии кратера или оба в состоянии пика, то есть в одной фазе колебаний, то они отталкиваются и расходятся в разные стороны. Если же осциллон в состоянии кратера приближается к осциллому в состоянии пика, то они притягиваются друг к другу и образуют связанное состояние. В ходе экспериментов было отмечено множество разных возможностей для комбинирования кратеров и пиков в конфигурации типа «молекул», «дорожек» и «кристаллических решеток».

##

Открытие в столь простом по сути эксперименте никем не предсказанного феномена осциллонов на первых порах вызвало повышенный интерес физиков во многих странах мира. Поскольку в науке пока что нет стройной теории, на уровне общих уравнений описывающей динамику гранулированной среды, нет и глубокого понимания того, почему осциллоны образуются или что определяет их взаимодействие. Поэтому исследования, главным образом, сосредоточились на экспериментах с различными материалами, в той или иной степени обладающими свойствами гранулированной среды.

Было установлено, в частности, что осциллоны возникают при вертикальной вибрации не только в обычном песке и других сыпучих материалах, но также в суспензиях и коллоидных смесях, где твердые частицы растворены в жидкой среде, либо даже просто в жидкостях, имеющих большой показатель вязкости [2]. Причем для жидких растворов, надо заметить, аналогия осциллонов с выворачивающимся «колпаком Джокера» становится особо отчетливой, поскольку противофазой для состояния пика является не кратер, а примерно конической формы яма.



Осциллоны в растворе глины: (а) одиночный;
(б) пара в противофазе

Обширная, как выяснилось, область сред, порождающих данный феномен, стала фундаментом для предположения о том, что осциллон может представлять собой некое универсальное явление самоорганизации для постоянно подпитываемых энергией нелинейных систем. Впечатляющий рост экспериментальных результатов в первые годы давал надежду, что скоро за опытом подтянется и теория, дав по-настоящему глубокое понимание как собственно осциллонов, так и роли их в природе...

Однако вместо этого произошло нечто совершенно иное. Примерно с начала 2000-х годов, если судить по количеству и содержательности интернет-публикаций об экспериментах с осциллонами, интерес к этому явлению как будто резко пошел на убыль. В науке, конечно, подобное случается сплошь и рядом - появляется новое модное направление, многие туда с воодушевлением бросаются в надежде открыть что-то грандиозное, а потом также быстро отворачиваются, разочарованные отсутствием быстрого прогресса. Но в данном случае примерно то же самое происходило как-то очень неестественно.

###

Ярче всего это можно проиллюстрировать на примере сайта первооткрывателя осциллонов Пола Амбенхауэра. На протяжении первых пяти лет он ежегодно публиковал с коллегами по несколько интересных статей с новыми результатами о структурах в вибрирующих гранулированных средах и в эмульсиях с жидкими кристаллами. А затем - в 2001 году - публикации новых результатов на сайте Амбенхауэра вдруг прекратились, хотя работа явно продолжалась, судя по статьям в журналах и ссылкам на сайтах менее известных соавторов. В последующие же годы веб-сайт ученого начал понемногу как бы растворяться - там стали пропадать фотографии экспериментов и ссылки на ранее опубликованные работы. Наконец, в декабре 2005 года исследователь вообще убрал свой сайт из Сети, вывесив вместо него безликое и бессрочное объявление «закрито на реконструкцию».

Все происходящее можно было бы понять, если бы к исследованиям осциллонов был утрачен интерес. Однако, судя по следам последующих работ Амбенхауэра и его коллег в других американских университетах, развитие этого направления явно и небезуспешно продолжается. Причем, что характерно, ныне эти работы как правило финансирует Министерство энергетики США. Из чего достаточно естественно могут следовать выводы о наиболее вероятной области практического приложения осциллонов. Одновременно данный факт является и косвенным указанием на то, почему текущую информацию о подобных исследованиях словно начали окутывать завесой секретности...

В этой же связи представляется уместным вспомнить и другой факт. Именно после поездки в США неожиданно угасли все исследовательские порывы - а вскоре и сама жизнь - Вольфганга Паули. Общеизвестно, что почти все из близких знакомых и коллег Паули в американских университетах и лабораториях во время войны были тесно связаны с суперсекретным «Проектом Манхэттен», создавшим для Америки сначала ядерное, а затем и термоядерное оружие. В послевоенные годы большинство этих людей по понятным причинам продолжало работать на военно-промышленный комплекс страны и новое Министерство энергетики, ставшее непосредственным продолжением Манхэттенского проекта. Так что если «сон Джокера» действительно связан с разгадкой последних исследований Паули и при этом существенно иным путем снова вывел на секреты американского военно-промышленного комплекса, то появляются веские основания предполагать, что это не случайность.

Имеется во всей этой истории и еще одна довольно интересная, можно даже сказать, настораживающая закономерность. При сборе и анализе материалов, посвященных осциллонам, постороннему человеку довольно сложно понять загадочную слепоту едва ли не всех ученых, исследующих это явление. Осциллоны изучаются вроде как со всех сторон, однако при этом никто упорно не замечает весьма созвучные данным исследованиям работы, проводившиеся во второй половине XIX века норвежцем Карлом Бьеркнесом. А поскольку семья ученых Бьеркнесов самым непосредственным образом связана с двумя другими известнейшими именами в скандинавской науке - Свердрупом и Россби - это опять же трудно воспринимать как случайность. Потому что и Харальд Свердруп, и Карл-Густаф Россби в середине XX века плотно сотрудничали с военно-разведывательным комплексом США, а в 1957 году практически синхронно скоростно скончались при неясных обстоятельствах...

-
- [1] Paul B. Umbanhowar, Francisco Melo & Harry L. Swinney. «Localized excitations in a vertically vibrated granular layer». Nature 382, 793 - 796 (29 August 1996)
- [2] O. Lioubashevski, Y. Hamiel, A. Agnon, Z. Reches, and J. Fineberg. «Oscillons and Propagating Solitary Waves in a Vertically Vibrated Colloidal Suspension». Phys. Rev. Lett. 83, 3190-3193 (October 1999)

[К♦] Черепаха и три ее слона

Водные аттракционы [44]

С 15 августа по 15 ноября 1881 года в Париже проходила Первая Международная выставка электричества. К тому времени для физики электромагнетизма уже было обнаружено множество самых разных практических приложений, суливших небывалые перемены в жизни людей, поэтому выставка имела грандиозный успех. Среди важных новаций, в частности, здесь были представлены широкой публике такие изобретения, как лампочка накаливания Томаса Эдисона, электрический трамвай Вернера фон Сименса, телефон Александра Белла, электромобиль Гюстава Труве.[1]

Одновременно, как составная часть выставки, в Париже прошел первый Международный конгресс электриков (как называли себя в ту пору ученые, занимавшиеся исследованиями электричества и магнетизма). Именно здесь, к примеру, было принято решение о введении в науку и технику стандартных единиц измерения для основных характеристик электричества, таких как ампер, ом и вольт. Однако, как отмечал в тот период британский журнал Nature, наиболее интересным событием парижской выставки «с физической и чисто теоретической точки зрения» стали наглядные опыты норвежского профессора Бьеркнеса, демонстрировавшие мощные аналогии между эффектами гидродинамики и феноменами электричества и магнетизма.[2]

С помощью достаточно простых и остроумных приспособлений, вроде пары цилиндров-насосов, работающих синхронно или в противофазе, гибких шлангов-воздуховодов и погруженных в воду барабанов с упругими мембранами, Карл Бьеркнес демонстрировал, насколько хорошо результаты экспериментов отражают его теоретические расчеты. Согласно формулам Бьеркнеса, погруженные в воду и регулярно пульсирующие (то есть изменяющиеся в объеме) сферы порождают в ней волны, благодаря которым между сферами происходит взаимодействие с силами, обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними. Иначе говоря, аналогично кулоновскому взаимодействию между электрическими зарядами.

Теоретические выкладки Бьеркнеса предсказывали, а опыты подтверждали, что взаимное притяжение или отталкивание сфер зависит от того, вибрируют они в одинаковой или в противоположной фазе. В гидродинамических расчетах и экспериментах Бьеркнеса, правда, «кулоновское взаимодействие» получалось с точностью до наоборот — сферы, пульсирующие в одной фазе («одинаковые заряды») притягивались, а пульсирующие в противофазе («противоположные заряды») отталкивались. Впрочем, этот момент удалось подправить без особого труда, поскольку другим исследователем (А.Г. Лихи) вскоре было показано, что модель становится полностью «кулоновской», если среду полагать упруго сжимаемой, а не распространяющей взаимодействия мгновенно.

#

4 Другая установка Бьеркнеса демонстрировала гидродинамические аналоги магнитных сил – как возмущений среды, возникающих при движении через нее электрических зарядов. Два параллельных деревянных цилиндра вертикально погружались в густую жидкость (сахарный сироп) и приводились в синхронные вибрации при их движении в одинаковом или противоположном направлениях. Фигуры, порождавшиеся при этом волнами на поверхности жидкости, в каждом случае были такими же, как в опытах с магнитными опилками, выстраивающими характерные структуры «силовых линий» вокруг двух параллельных проводов, по которым течет ток в одном или разном направлениях.

5 Судя по публикациям того времени, эффектные демонстрации норвежского профессора произвели на научное сообщество огромное впечатление. На Первой выставке электричества работа Карла Бьеркнеса была удостоена почетного диплома – в одном ряду с выдающимися достижениями куда более знаменитых ныне деятелей вроде Эдисона, Белла, Томсона (Кельвина) и Сименса. Общее впечатление было таким, что «парижский триумф» профессора Бьеркнеса, расчетами и экспериментами прояснявшего весьма туманные электромагнитные феномены, уже обеспечил его гидродинамической теории пульсаций не только известность, но и всеобщее признание. Ничего подобного, однако, в действительности не произошло.

6 В немалой степени причиной для нынешнего полного забвения, постигшего открытия Бьеркнеса, явились специфические особенности в личности самого исследователя (о чем еще будет повод рассказать подробнее). Однако важнейшим для неудачи фактором оказалось скорее концептуальное расхождение идей Бьеркнеса с магистральным направлением в развитии теоретической физики XX века. Все свои результаты Карл Бьеркнес трактовал как убедительное подтверждение идей, выдвинутых ранее Леонардом Эйлером. Согласно этим воззрениям, говоря упрощенно, все «силы», действующие между телами, являются не столько порождением этих тел, сколько проявлениями динамических эффектов и процессов, возникающих в той среде, где тела находятся и через которую взаимодействуют.

7 Поскольку современная физика в начале XX века отказалась от идеи эфира как всепроникающей среды, обеспечивающей взаимодействия, можно говорить, что весь фундамент новых физических теорий по сути выстроен на «ньютоновской» концепции силовых полей. А идеи Эйлера и, соответственно, Карла Бьеркнеса в подобном контексте оказались не только анти-ньютоновскими, но и плохо согласующимися с основами квантовой физики и теории относительности. Когда же теоретические изыскания сделали полный цикл, вернувшись к идее великого объединения или сведения всех фундаментальных сил к одной, а полю Хиггса стала отводиться роль всепроникающей сверхтекучей жидкости, о давным-давно отвергнутых результатах норвежского профессора если вдруг и вспоминают, то лишь в качестве занятных археологических древностей...

##

Однако уместно напомнить, что математические выкладки Карла Бьеркнеса и подтверждающие их эксперименты никем и никогда не были опровергнуты. В определенный исторический момент их просто проигнорировали, найдя для физической науки более многообещающие направления развития. Открытый же в конце XX века феномен осциллонов наглядно показал, что с отказом от идей Бьеркнеса в свое время явно поторопились. А очевидно плохое понимание физики осциллонов на современном теоретическом уровне – это еще и наглядная демонстрация того, что давний научный спор о происхождении и природе сил во вселенной по-прежнему чрезвычайно далек от своего разрешения.

В связи с чем самое время описать еще один сон-подсказку, приснившийся в ответ на вопрос о том, что же представляет собой единая природа четырех фундаментальных сил – если таковая, конечно, имеется... Первое, что вы видите во сне, это бескрайняя гладь океана. А посреди водного простора возвышаются три слона. Судя по их гигантским размерам, это явно те самые слоны-кариатиды, что поддерживали плоский мир в представлениях древних индусов. Понятно, что животные не могут стоять на воде, и при более внимательном рассмотрении обнаруживается – ну конечно же – погруженная в воду гигантская черепаха, панцирь которой удерживает всех слонов на плаву. Согласованное балансирование трех мощных животных на спине четвертого больше всего похоже на цирковой аттракцион. Если же приглядеться, что делает каждый из слонов, то аналогия с цирком становится самоочевидной.

Первый из них лихо жонглирует множеством плавающих на поверхности воды мячиков, быстро-быстро погружая часть из них в воду, так что в результате из сочетаний остальных мячей создаются разные узоры. Другой слон делает с помощью своего хобота нечто трудноописуемое, но при этом чрезвычайно впечатляющее. Горячим дыханием он дует из хобота в воду, так что там начинается бурлящий водоворот. Затем водоворот вдруг распадается в кольцо отдельных вихрей. Эти вихри какое-то время кружатся порознь – а слон продолжает дуть – затем объединяются в общий водоворот, который потом вновь распадается на несколько меньших, и это повторяется снова и снова, словно само собой. Третий же слон выделывает занятные трюки с кольцами то ли пара, то ли дыма, пускаемыми через хобот. Такие кольца выпускаются им не по одиночке, а парами – одно сразу вслед за другим. Кольцо, выпущенное вторым, как обычно в таких случаях, быстро догоняет первое и, не разрушая форм обоих, проходит его насквозь через центр. Однако трюк на этом далеко не заканчивается. Первое кольцо, поначалу немного отстав, затем вновь нагоняет второе и, аналогично проскочив через его центр, вновь становится первым. Второе, в свою очередь, повторяет тот же самый маневр – так что взаимная перемена колец местами в парах продолжается безостановочно.

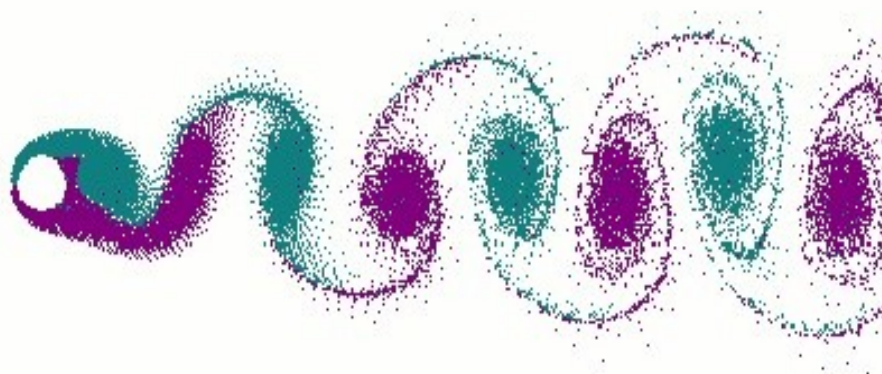
Затем, наконец, ваше внимание приковывает гигантская черепаха, практически полностью скрытая в воде и не исполняющая никаких «фокусов». Однако и без разъяснений понятно, что не будь ее, здесь не было бы и ничего остального. Черепаха держит на своей спине всех слонов, поэтому вам, естественно, хочется поближе рассмотреть ее столь потрясающей прочности панцирь. И тут вы с изумлением обнаруживаете, что покрытая ячеистыми узорами спина рептилии вовсе не твердая, как скала, а скорее... «жидкая». Во всяком случае, при близком рассмотрении совершенно очевидно, что вся структура панциря состоит из неисчислимого множества крошечных вихрей-водоворотов – почему-то тоже разбитых на пары, так что у любого вихря по соседству находится

точно такой же, но закрученный в противоположную сторону. Можно даже рассмотреть, как именно образуются эти пары – во всех точках соприкосновения плывущей черепахи с водами неподвижного океана... И вот тут вдруг вас пробивает осознание, что вся эта картина – и черепаха, и три ее слона – по сути является причудливым сочетанием вихрей океана. И одновременно, замысловатой метафорой для четырех фундаментальных сил природы – электромагнитной, сильной, слабой и гравитации – каждая из которых в действительности является одним из проявлений единого в своей сущности «аттракциона на воде».

###

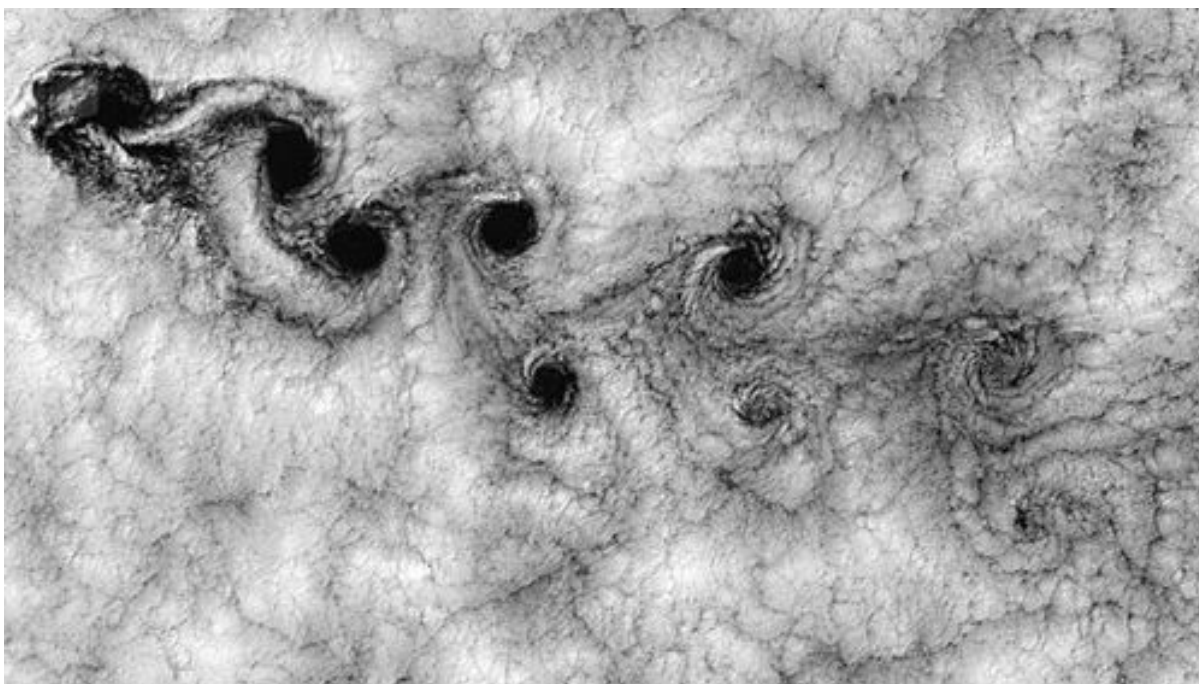
c От столь сильной идеи, конечно же, сразу просыпаешься, делаешь заметки, чтобы не забыть важные подробности, а затем отправляешься искать экспериментальные свидетельства, соответствующие эффектам, увиденным во сне. Благо имеется абсолютная, пусть и неясно откуда берущаяся, уверенность, что такие эксперименты просто обязаны существовать. Помимо узоров на воде, формируемых танцующими на воде шариками и очевидно отсылающих к уже установленному феномену осциллонов, сравнительно легко удастся отыскать параллели для «парных вихрей» в панцире черепахи.

d В 1911 году приват-доцент Геттингенского университета Теодор фон Карман (родившийся, кстати, весной 1881 – год проведения Парижской выставки электричества) занимался теоретическим анализом опытов с совсем новой по тем временам аэродинамической трубой, сооруженной в Геттингене дирижаблестроительной компанией Zeppelin. Т. фон Карман изучал своеобразный процесс образования двойного ряда перемежающихся вихрей позади объекта, движущегося в жидкости или газе, и сумел дать математическое описание этому явлению. С тех пор оно именуется «цепочками вихрей Кармана» (Karman's Vortex Street).



Цепочка вихрей Кармана

e Такого рода цепочки достаточно часто образуются в природе при подходящем сочетании размеров объекта, скорости потока и других параметров системы. Когда вихрь течения отрывается с одной стороны объекта, это приводит к резкому изменению давления в потоке по сравнению с другой стороной объекта, в результате там тут же образуется и отрывается другой вихрь, закрученный в противоположную сторону. Это, соответственно, порождает очередной отрыв с другой стороны и непрерывную цепочку вихрей характерной «парной» структуры.



Облака над о. Хуана Фернандеса в Тихом океане

Композиция всей картины сна явно указывала на то, что среда, образованная гигантским множеством такого рода вихрей (панцирь черепахи), имеет непосредственное отношение к гравитации. С другой стороны, хорошо известно, что гидродинамический феномен вихревых цепочек наблюдается в системах любых масштабов – от микромира до космоса. А при поиске соответствующих иллюстраций в интернете среди наиболее частых и впечатляющих фотографий этого явления попадают спутниковые снимки атмосферы Земли, где вихри Кармана нередко образуются в облачности над скалистыми островами в океане. Ну и если уж речь заходит о вихрях и прочих феноменах земной атмосферы, то здесь никак не обойтись без упоминания о работах ученых из семейства норвежских исследователей Бьеркнесов.

[1] K. G. Beauchamp, Exhibiting electricity IET, 1997 ISBN 0852968957, pp.160-165

[2] George Forbes, «Hydrodynamic Analogies to Electricity and Magnetism». Nature, 15 August 1881

Семейное дело [45]

Основатель знаменитой династии норвежских ученых, Карл Антон Бьеркнес (1825-1903), происходил из очень небогатой семьи врача-ветеринара. Несмотря на раннюю смерть отца, он успешно закончил школу и сумел поступить в столичный университет, получив фундаментальное образование и профессию горного инженера. Затем были четыре года работы по специальности на серебряных рудниках, еще три года — преподавание математики в школе, и лишь к 30 годам удача, наконец, улыбнулась Бьеркнесу по-настоящему. Он сумел добиться государственной стипендии на обучение за рубежом, в научных центрах Франции и Германии, и два важнейших в своей биографии года, 1856-1857, провел в университетах Парижа и Геттингена.

Особое впечатление произвели на Бьеркнеса лекции математика Густава Дирихле (1805-1859) в Геттингенском университете. Исследования Дирихле сыграли немаловажную роль в развитии многих направлений чистой математики и математической физики, а для нынешней теории струн, к примеру, имеют просто основополагающее значение. Разработанный германским ученым в середине XIX века математический инструмент для описания поверхностей с равным потенциалом стал основой новейшей струнной теории о множестве миров на D-бранах (собственно, и названных так в честь Дирихле).

Что же касается Карла Бьеркнеса, то его чрезвычайно впечатлили лекции Дирихле по гидродинамике. Теория движения жидкостей и погруженных в них твердых тел в ту пору была еще весьма слабо исследованной областью физики. А Густаву Дирихле всего несколькими годами ранее довелось стать первым теоретиком, сумевшим отыскать точное решение для уравнений гидродинамики, описывающих поведение сферы в идеальной — то есть несжимаемой и лишенной трения — жидкости.

На своих лекциях Дирихле рассказывал студентам об этой работе и о ее примечательном результате, согласно которому сферическое тело, находящееся в идеальной жидкости, может двигаться в ней с постоянной скоростью без воздействия внешних сил. В этом интересном и математически строгом результате Карл Бьеркнес углядел важную аналогию с определенными эффектами электричества и магнетизма, известными из опытов. Красота гидродинамики покорила Бьеркнеса и, судя по всему, именно тогда у него появилась идея о возможности выстроить общую теорию электромагнитных взаимодействий на основе гидродинамических принципов.[1]

#

С течением времени эта идея захватывала ученого все больше, но лишь к 1875 году — уже будучи почтенным 50-летним профессором математики в университете Кристиании (как в ту пору называлась норвежская столица Осло) — он сумел-таки получить свой самый важный теоретический результат. Для случая ритмично пульсирующих сфер, погруженных в идеальную жидкость, Карл Бьеркнес вывел уравнения взаимодействия, аналогичные уравнениям электромагнетизма. Согласно этим результатам, пульсирующие сферы порождают в среде волны, благодаря которым они взаимодействуют так же, как электрические заряды или магнитные полюса. В зависимости от того, происходят пульсации в одной фазе или отличаются на полупериод, между сферами возникает взаимное притяжение или отталкивание, определяемое законом обратных квадратов. Если же фазы пульсаций отличаются на четверть периода, то действия не происходит.

5 Сын профессора, Вильгельм Бьеркнес (1862-1951), которому в ту пору было всего 13-15 лет, оказался не только на редкость смышленным в науках, но и более рукастым в ремеслах, нежели его папа-математик. Поэтому именно Вильгельм стал важнейшим ассистентом Карла Бьеркнеса при конструировании и изготовлении оборудования, необходимого для экспериментальной проверки теоретических результатов. И в 1881 году, когда норвежский профессор блистал на Парижской выставке электричества со своей глубоко проработанной теорией и подтверждающими ее эффектными опытами, никому и в голову не приходило, что все приборы сконструированы совсем еще молодым сыном ученого.

6 Успешные демонстрации и лекции профессора Бьеркнеса в Париже принесли ему международную известность. Однако повышенное внимание со стороны других – зачастую более знаменитых и авторитетных – исследователей породило совершенно естественные для научного сообщества критику, обсуждение и собственные попытки развития для «теории пульсирующих сфер». На автора данной теории, уже перешагнувшего 55-летний рубеж, вся эта бурная активность «чужаков» вокруг его любимого детища производила крайне гнетущее впечатление. Поэтому в последующие годы он предпочел уйти в самоизоляцию, воздерживаясь от публикации своих открытий и продолжая исследования с опорой на одного лишь сына.

7 Вильгельм продолжал помогать отцу вплоть до 1889 года. К тому времени ему исполнилось уже 27 лет, а накопленные молодым ученым знания и опыт явно сулили значительные достижения на научном поприще. Однако очень непросто продвигавшиеся работы отца, сколь бы многообещающими не представлялись их окончательные итоги, привели Карла Бьеркнеса к полной самоизоляции и ту же самую безрадостную судьбу намечали для его сына. Поэтому Вильгельм, как и прежде питавший к отцу самые нежные чувства, решил, что пришла пора начать ему самостоятельный путь в науку. В последующие годы своей долгой жизни он еще не раз будет возвращаться к развитию и популяризации идей Карла Бьеркнеса, однако и его собственные научные достижения почти всецело окажутся неразрывно связанными с гидродинамикой.

##

8 В 1890 году Вильгельм Бьеркнес переезжает в Бонн, где становится сначала ассистентом, а затем научным соавтором и близким другом семьи видного германского физика Генриха Герца. Одним из наиболее значительных совместных достижений этого дуэта стало глубокое исследование электрического резонанса – очень важного для развития радиосвязи эффекта, при котором сопротивление электрическому току в колебательной системе становится чрезвычайно малым для некоторого узкого диапазона частот. К тридцати годам защитив по этой теме докторскую диссертацию, Бьеркнес решает вернуться к исследованиям в области гидродинамики и выбирает для постоянной работы Стокгольмский университет.

9 Вскоре к молодому профессору приходит и первый большой успех. В 1897 году – в год рождения своего сына Якоба – Вильгельм Бьеркнес открыл важную теорему циркуляции, обобщавшую уже известные результаты Гельмгольца и Томсона (Кельвина) о сохранении вихря в идеальной жидкости. Опирируя этой новой, ныне носящей его имя, теоремой о формировании вихря в неоднородной среде, Бьеркнес обнаружил, что теперь у науки имеется такой комплекс гидродинамических и термодинамических уравнений, который является полноценным инструментарием для описания движений неоднородных по температуре и давлению жидкостей в произвольной физической системе.

И вот тут-то в голову Бьеркнесу пришла грандиозная идея – применить новую теорию к поведению атмосферы Земли и предсказаниям погоды. В своей программной статье, подготовленной к 1904 году, ученый описал вычислительную процедуру, ныне известную как численный прогноз погоды. Бьеркнес предложил рассматривать предсказание погоды как стандартную в математической физике задачу с начальными условиями и, соответственно, решать ее известными науке методами. Иначе говоря, интегрировать имеющиеся уравнения по времени, начиная с известных в данный момент начальных значений, то есть наблюдаемых в атмосфере показателей температуры, давления, скорости ветра. Бьеркнес показал, что в теории, обладая достаточной информацией о текущем состоянии атмосферы, ученые могут с помощью математических формул и расчетов предсказывать будущее поведение погоды.

Таким образом, ученый предложил рассматривать в качестве анализируемой физической системы целиком атмосферу Земли. На сегодняшний день эта мысль может показаться самоочевидной, однако для той эпохи подобная идея звучала весьма революционно. Столетие назад, правда, у науки и близко не было таких вычислительных средств, которые позволяли бы численными методами решать столь трудоемкие задачи. Тем не менее, прогресс в электротехнике и механических вычислительных машинах уже тогда давал основания предполагать скорое появление компьютеров. Поэтому Вильгельм Бьеркнес рассматривал научное предсказание погоды в качестве главной цели метеорологических исследований, так что ныне его по праву считают одним из отцов-основателей современной метеорологии.

###

В отличие от своего отца, Вильгельм Бьеркнес повсюду, где ему доводилось работать, окружал себя множеством молодых и талантливых ассистентов, чтобы коллективными усилиями находить и продвигать наиболее перспективные направления исследований. В 1913 году по приглашению из Германии Бьеркнес возглавил новый геофизический институт при Лейпцигском университете. В связи с разразившейся вскоре Первой мировой войной и резко ухудшившихся из-за этого условий для развития науки, в 1917 году ученый был вынужден покинуть Германию. Благодаря участию видных норвежских океанографов Фритьофа Нансена и Бьёрна Хелланд-Хансена специально для Вильгельма Бьеркнеса в городе Берген на западе Норвегии была учреждена сначала профессура, а затем и новый геофизический институт, ставший основой для прославившейся на весь мир «бергенской метеорологической школы».

Среди знаменитых учеников Бьеркнеса и виднейших представителей бергенской школы особо заметных успехов в науке достигнут, в частности, швед Карл-Густаф Россби и норвежец Харальд Свердруп (появляющиеся в других разделах книги). Основатель же института, Вильгельм Бьеркнес, руководил своей школой до 1926 года, после чего принял кафедру на факультете математической физики в Университете Осло, где вновь вернулся к теоретическим исследованиям гидродинамики, начатым его отцом. Что же касается нового метеорологического направления в науке, то в качестве одного из его главных представителей с этой поры стал считаться даровитый сын Вильгельма, Якоб Бьеркнес (1897-1975).

Подобно отцу, Якоб Бьеркнес начал проявлять научные таланты в весьма раннем возрасте, также как и он пленившись гидродинамикой и физикой вихрей в атмосфере. Классическая статья Якоба Бьеркнеса «О структуре движущихся циклонов»[2] появилась в 1919 году, когда ученому не было и 23 лет, но по сути своей она и поныне служит фундаментом для современных долгосрочных прогнозов погоды. Когда близкий соратник Бьеркнесов, К.Г. Россби, обосновался в Массачусетском технологическом институте, то в 1933 году Якоб по его приглашению приехал в США чтобы прочитать курс лекций в МТИ. Еще несколькими годами позже, в 1939, когда Якоб Бьеркнес вновь приехал в США читать лекции, в Европе разразилась Вторая мировая война, так что ученый предпочел остаться в Америке.

Среди нескольких предложений в качестве постоянного места работы Бьеркнес выбрал UCLA, Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе. Здесь по воле случая Джек (как стали его теперь называть на американский манер) Бьеркнес оказался соседом с другим своим старым знакомым, Харальдом Свердрупом, с 1935 года возглавлявшим местный Институт океанографии им. Скриппса. К 1945 году в UCLA был учрежден новый факультет метеорологии, который возглавил, ясное дело, Джек Бьеркнес, вскоре сделав из него один из ведущих в мире центров по изучению атмосферы Земли. Несколько позже, во второй половине 1950-х годов, когда Джеку Бьеркнесу было уже около шестидесяти, интересы ученого вдруг обратились к существенно новой области исследований – взаимодействиям атмосферы и мирового океана как единой системы, состоящей из сред разной плотности. Этой весьма нетривиальной проблемой, увязывающей в частности, океанские течения с атмосферными явлениями, Бьеркнес не без успеха будет заниматься до конца своей жизни. По словам самого ученого, вдохновили и подтолкнули его к разработке этого направления три человека – Карл-Густаф Россби, Харальд Свердруп и Бьерн Хелланд-Хансен [3]. Уместно отметить, что когда Джек Бьеркнес только-только приступил в США к этим своим исследованиям, в Скандинавии все трое скоропостижно скончались в конце августа и начале сентября 1957 года. По совершенно случайному, как принято считать, совпадению.

-
- [1] William J. McPeak, «Hooked on Hydrodynamics». The World & I, February 1997. Vol. 12, Issue 02
- [2] Jacob Bjercknes, «On the structure of moving cyclones». Geofys. Publ. I(2). 1919
- [3] Arnt Eliassen, «Jacob Aall Bonnevie Bjercknes: A Biographical Memoir», 1995, National Academies Press, Washington D.C.

Похоже на атмосферу [46]

Синхронная смерть скандинавских ученых в 1957 году несколько замысловатым образом сопрягает две картины-подсказки из сна про черепаху и трех ее слонов. Один из слонов, можно напомнить, жонглировал в воде шариками, что по логике сна указывало на связь электромагнетизма с феноменом осцилляций и с забытыми ныне гидродинамическими работами Карла Бьеркнеса. Другой же слон демонстрировал природу сильных ядерных взаимодействий, играя в воде с необычным вихрем, который то распадался на несколько маленьких, то вновь собирался в один большой. Как показали длительные поиски информации, такого рода феномен именуется в гидродинамике «васцилляция Хайда» (Hide's vacillation). Однако знают о нем на удивление мало ученых, не говоря уже обо всех остальных.

Чтобы наглядно прояснить взаимосвязи между этим феноменом и особенностями развития передовой науки в 1950-е годы, начать придется издалека. Первого марта 2006 года в Интернете случилось выдающееся по своей значимости событие – всенародный энциклопедический проект Wikipedia достиг объема в 1 миллион англоязычных статей (без учета материалов на множестве других языков мира). Сегодня о Википедии знают практически все, однако в то время это было все еще делом сравнительно новым и крайне необычным. Энциклопедия, любую статью в которой «могут написать, дополнять или исправлять все желающие», довольно быстро смогла охватила чуть ли не все области человеческих знаний и интересов, но при этом не превратилась в скопище мусора.

Один миллион статей – это, конечно, очень много, и ни одна другая энциклопедия в мире даже отдаленно не приближается к подобному масштабу. Однако даже Википедия с ее небывалым множеством статей имела в своем составе ощутимые пробелы, объяснить которые иногда достаточно просто, но в некоторых случаях – весьма затруднительно. Например, когда среди этого миллиона так и не появилось статьи, посвященной малоизвестному норвежскому ученому XIX века Карлу Антону Бьеркнесу, вряд ли это должно кого-то удивлять. На новую физику XX века он абсолютно никакого влияния не оказал, а потому очень мало кому сегодня интересен.

Но в «миллионе Википедии» в то же время не было не то что статьи, но даже сколь-нибудь заметного упоминания ни о видном ученом второй половины XX века, британском физике по имени Раймонд Хайд (р. 1929), ни о его замечательном открытии – физическом явлении под названием «васцилляция». К слову сказать, никаких упоминаний об этом не обнаружилось и в куда более уважаемой энциклопедии Britannica. Факт подобного отсутствия представляется чрезвычайно необычным, поскольку имя и работы Р. Хайда, вообще говоря, достаточно широко известны среди специалистов. Сам же он за свою долгую научную жизнь не только был удостоен множества всевозможных наград и отличий, но и в разное время занимал большие административные посты в ученом мире – от президента Европейского геофизического общества до президентов национальных астрономического и метеорологического обществ Великобритании.

#

4 Для добавления странности происходящему, нелишне также отметить, что в рядах весьма специфической научной организации под названием Папская академия наук Ватикана, традиционно насчитывающей всего 80 пожизненно назначаемых членов, Раймонд Хайд представляет свою страну наряду с такими выдающимися учеными, как астроном и космолог Мартин Рис, недавно возглавивший британское Королевское общество (националь-
ную академию наук), и физик-теоретик Стивен Хокинг. При этом заметно, что Ватикан, в отличие от всех авторов Википедии и Британники, проявляет к работам Хайда самый живой интерес. Так, в ноябре 2004 года на ежегодной пленарной сессии Папской академии этот ученый делал специальный доклад под названием «Геомagnetизм, васцилляция в нелинейных системах, предсказуемость атмосферы и детерминированный хаос».[1]

5 В чем же суть научных открытий Раймонда Хайда, самое главное из которых он сделал в 1951 году, будучи молодым аспирантом Кембриджского университета? В ту пору Хайд работал на кафедре геодезии и геофизики, занимаясь проблемами магнитного поля Земли и его
6 предполагаемого порождения из-за вращения жидкого ядра планеты. Для экспериментальной проверки гипотез и изучения температурной конвекции во вращающейся жидкости, ученым был сконструирован специальный прибор из двух коаксиально (то есть по одной оси) скрепленных цилиндрических сосудов.

6 Подобные установки часто используют для изучения эффектов вязкости жидкости и разнообразных гидродинамических феноменов, вроде конвекционных потоков Тэйлора-Куэтте, для чего жидкость заливают в кольцевое пространство между сосудами, а цилиндры раскручивают с
7 разной скоростью вокруг общей оси. Для лучшей визуализации структур, образующихся при этом в жидкости, в нее добавляют масло и мелкую алюминиевую пудру. Особенность прибора Хайда была в том, что внутренний цилиндр у него подогревался, имитируя расплавленное ядро планеты, а жидкость в сосуде за счет этого получала температурный градиент, то есть неравномерное распределение тепла между вертикальными стенками сосуда.

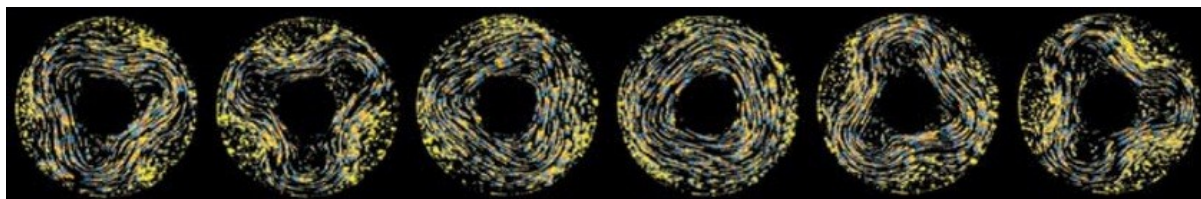
7 В ходе экспериментов выяснилось, что при возрастании температурного контраста между стенками сосуда, либо при увеличении скорости его вращения, в жидкости возникают упорядоченные структуры, напоминающие волны. При еще большем возрастании разности температур в сосуде волновые структуры меняют свою форму, а затем наступает хаотическая, полностью беспорядочная турбулентность. Но, как оказалось, не всегда.



Структуры, полученные в опытах Хайда

##

Поразительным открытием Хайда стало явление, которое он назвал «васцилляция» (качание). При определенных сочетаниях скорости и температуры, волны в сосуде наблюдались в двух периодически сменяющих друг друга режимах: то находясь в регулярной фазе, когда меняется лишь амплитуда, длина или наклон волн; то разрушаясь, превращаясь на время в турбулентные вихри «циклонов» и «антициклонов»; после чего эти вихри вновь возвращались в регулярную фазу, продолжая цикл «качания». Получалось, что на грани порядка и хаоса во вращающейся неравномерно нагретой жидкости возникали собственные колебания, в которых кинетическая энергия от упорядоченного движения передавалась к хаотическому, а от него затем обратно к упорядоченному.[2]



Васцилляция Хайда

Как вспоминал впоследствии Хайд [3], по случаю именно в это время в барак, где кембриджские аспиранты и студенты занимались экспериментами, зашел Хэролд Джефриз, в ту пору одно из главных британских светил в области геофизики и астрономии. Именно ему принадлежала гипотеза о жидком ядре Земли, а четвертью века ранее Джефриз сделал важный вклад в метеорологию, показав, сколь важную роль играют циклоны в общей циркуляции атмосферы планеты. Подобно Нильсу Бору, Джефриз отличался на редкость невнятной, бормочущей речью, но всем студентам Кембриджа рекомендовалось с максимальной серьезностью относиться к ворчанию и бормотанию мэтра, потому что там «с большой вероятностью содержатся жемчужины мудрости».

Когда Раймонд Хайд показал Джефризу свою установку и получаемые на ней любопытные результаты, тот, взглянув на явление васцилляции, довольно невнятно пробормотал «похоже на атмосферу» и пошел по своим делам дальше. Оставив Хайда в размышлениях о том, что означает эта фраза и каковы могут быть ее последствия. А последствия, надо сказать, получились воистину богатейшие и разнообразные (принимая во внимание, что на момент открытия васцилляции еще не было ни теории нелинейных динамических систем, ни самого понятия детерминированный хаос).

В метеорологии очень быстро заметили, что открытая Хайдом васцилляция качественно подобна так называемому циклу индекса Россби, незадолго до этого, в 1944 году, открытому для атмосферы Земли. К.-Г. Россби и Х. Виллетт обнаружили, что в атмосфере регулярно чередуются состояние с повышенной скоростью упорядоченного западно-восточного переноса, при котором энергия вихревого, хаотического движения понижена, и противоположная ситуация, когда преобладают неупорядоченные, вихревые процессы — циклоны и антициклоны. Среднюю скорость западно-восточного переноса было принято характеризовать определенной величиной, получившей название «индекс Россби». Колебания же этого индекса, открытые Россби и Виллеттом, получили название «цикл индекса». Соответственно, стало понятно, что это — основной колебательный процесс, формирующий чередование разных типов циркуляции атмосферы.

Из опытов же Хайда получалось, что такой цикл – это не особенность земной атмосферы, а общая черта всех вращающихся жидкостей и газов. Естественно, сразу появились и следующие вопросы: а существуют ли подобные колебания в океане, в атмосферах других планет, в жидком ядре Земли, в звездах и галактиках, наконец? Постепенно выяснилось, что ответ на все эти вопросы в общем утвердительный.

В океане тоже были обнаружены периодические «синоптические вихри», похожие на циклоны и антициклоны в атмосфере. В динамике атмосфер других планет и вращающихся звезд обнаружены свойства, во многом подобные свойствам земной атмосферы, в частности и цикл индекса. Повсюду, от настольной лабораторной установки для гидродинамических опытов и вплоть до галактик наблюдаются признаки удивительного явления, когда колебательный процесс имеет особую фазу, в которой энергия локальных вихревых движений передается общему упорядоченному.

Наконец, имеется тут и еще одно крайне удивительное обстоятельство. Хотя общеизвестно, что уравнения гидродинамики и электродинамики во многих отношениях являются практически идентичными, явление васцилляции Хайда – судя по архивам открытых публикаций – почему-то совершенно не изучается ни в квантовой электродинамике, ни вообще в физике микромира. Что не может не поражать, принимая во внимание давно известный факт: в структуре частиц атомного ядра – протонах и нейтронах – определенно выявлены свои собственные «циклоны» и «антициклоны», с подачи Мюррея Гелл-Манна носящие имя кварки.

В ранней научной биографии Раймонда Хайда есть несколько страниц, дающих основание полагать, что все эти умолчания в энциклопедиях и «незамечания» его результатов в физике частиц – дело неслучайное. Достаточно сказать, что в 1953 году – сразу после защиты Хайдом диссертации по открытому им новому феномену – ученого пригласили работать в Чикагский университет США (знаменитый не только метеорологической школой Россби, но и активнейшим участием в Манхэттенском проекте). После Чикаго связь Хайда с ядерной физикой стала еще более отчетливой, поскольку начиная с 1954 года он работал старшим сотрудником в AERE, британском агентстве по исследованиям атомной энергии. И лишь в 1957 – в год практически синхронной смерти Россби и Свердрупа и в год официального перехода Шеннона из Bell Labs на преподавательскую работу в МТИ – Хайд также уходит из секретного агентства на должность обычного лектора по физике в Кингз-колледже Даремского университета... (Справедливости ради осталось упомянуть, что статья о Раймонде Хайде в итоге появилась-таки в Википедии, в 2008 году. Однако из ее краткого текста совершенно нельзя понять, чем этот ученый знаменит и в чем суть его открытия.)

-
- [1] R. Hide, «Geomagnetism, 'vacillation', atmospheric predictability and 'deterministic chaos'». Pontifical Academy of Sciences Acta, 18, 257-274, 2006.
- [2] R. Hide, 'Some experiments on thermal convection in a rotating liquid', Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 79, 161 (1953); «An experimental study of thermal convection in a rotating liquid», Phil. Trans. Roy. Soc. London A250, 414-478 (1958).
- [3] «Raymond Hide Receives the 1997 Bowie Medal», American Geophysical Union, Spring Meeting Honor Ceremony on May 28, 1997, in Baltimore (Hide's response).

Кольца Змеи [47]

0 Среди картин сна-подсказки, в котором четыре силы природы увязаны с эффектами гидродинамики через образ плывущей в океане черепахи с тремя слонами на спине, пока что никак не исследованным остался единственный фрагмент. Та картина, где третий из слонов выпускает через хобот кольца дыма. Причем кольца эти выпускаются парами и тут же начинают что-то типа игры в чехарду – все время догоняя друг друга и проскакивая один сквозь другого. Каким-то неясным пока образом данный трюк имеет непосредственное отношение к природе слабых ядерных взаимодействий...

1 Случилось так, что при поиске дополнительной информации на данный счет одной из первых находок оказался сюжет о любопытном астрономическом феномене под названием «объект Хога». На первый взгляд, он абсолютно никак не связан с физикой микромира. Но, во-первых, по ранее установленным фактам уже можно было убедиться, что феномены гидродинамики проявляются на любых масштабах вселенной. А во-вторых, объект Хога был обнаружен практически одновременно с васцилляцией Хайда, а на подобные синхронности всегда имеет смысл обращать внимание – даже если внешне между ними нет ни малейших связей.

2 Итак, за несколько месяцев до того, как в Британии Раймонд Хайд обнаружил феномен васцилляции, главное, можно сказать, открытие своей жизни сделал в США другой молодой ученый, гарвардский аспирант-астроном Артур Хог (1921-1999). В 1950 году, изучая фотопластины снимков телескопа, Хог обнаружил в созвездии Змеи объект весьма необычной формы – практически идеального кольца. Несколько первоначальных гипотез, выдвинутых относительно природы объекта со столь редкой для астрономии конфигурацией, были довольно быстро отвергнуты. В итоге, после дополнительных наблюдений и размышлений, Арт Хог выдвинул предположение, что этот загадочный объект, получивший в звездных каталогах название PGC 54559, скорее всего, является галактикой особого вида. [1]

3 Исследования «объекта Хога», предпринятые в последующие десятилетия другими учеными, полностью подтвердили гипотезу астронома-первооткрывателя. Было установлено, что эта кольцевая галактика находится от нас на расстоянии 600 миллионов световых лет и имеет поперечный размер порядка 120 000 световых лет, что несколько превышает диаметр галактики Млечный путь. Однако то, как именно могла образоваться столь внушительных размеров галактика, имеющая форму идеального вихревого кольца, по сию пору остается полной загадкой и предметом оживленных дискуссий в науке. К тому же, внутри кольца галактики Хога (по воображаемому циферблату примерно в районе 1 часа) со временем нашли еще один объект точно такой же редчайшей формы колечка дыма, но на более далеком расстоянии. Что означает эта пара колец – еще большая загадка.



Объект Хога

#

Чтобы стало немного понятнее, отчего современная наука то и дело испытывает очень серьезные затруднения при объяснении многих феноменов, так или иначе связанных с гидродинамикой, уместно привести небольшую цитату. Слова эти были сказаны весьма известным ученым, нобелевским лауреатом Ричардом Фейнманом, еще в 1960-е годы, однако 4 актуальными они остаются и сегодня: «Существует физическая проблема, общая многим наукам, очень старая к тому же, но до сего времени не решенная. Это вопрос давно, свыше ста лет назад, отставленный наукой в сторону. Ни один физик еще не смог математически безупречно проанализировать его, несмотря на важность для сопредельных наук. Это — анализ циркуляции или вихревой жидкости»... [2].

Свойства турбулентных жидкостей чрезвычайно важны в океанографии и авиации, при проектировании трубопроводов и анализе многих промышленных процессов, однако физика продолжает испытывать огромные трудности при изучении и описании постоянно изменяющихся смесей вихрей, образующих турбулентный поток. Когда Леонард Эйлер, 5 один из величайших математиков XVIII века, выводил свои уравнения, соотносившие скорость, давление и плотность в движущейся жидкости, сразу было видно, что решать эти уравнения будет крайне непросто. Но вряд ли кто мог представить тогда реальную сложность поставленной задачи.

6 В 40-е годы XIX века, когда Джордж Стокс перешел от анализа «идеальной» жидкости Эйлера (несжимаемой и невязкой, то есть лишенной трения) к жидкостям, похожим на настоящую «мокрую» воду, обладающую вязкостью, то хотя бы ради частичного успеха мероприятия ему пришлось очень четко разделить движения на безвихревые и вихревые. Это позволило Стоксу весьма

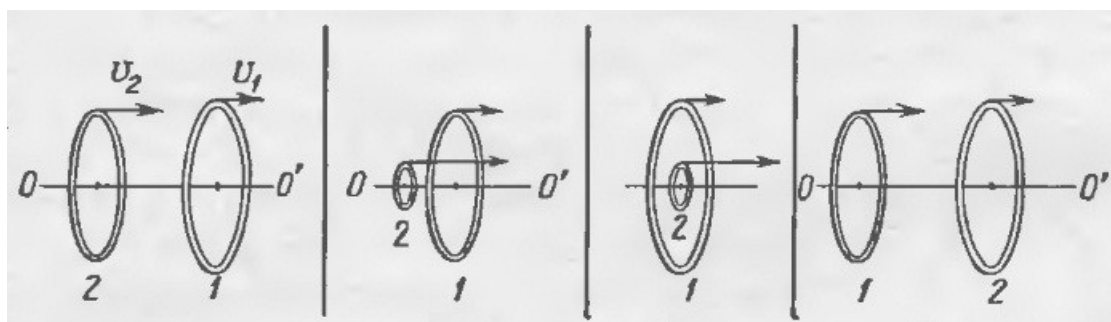
7 подробно проанализировать ламинарное, безвихревое течение. А вскоре после этого было положено и начало изучению вихрей в жидкости. Прорыв совершил германский врач и физиолог Герман Гельмгольц (1821-1894), подобно универсальным людям эпохи Возрождения сумевший за свою жизнь сделать осязаемый вклад в самые разные научные дисциплины.

В 1858 году Гельмгольц опубликовал свою эпохальную статью «Об интегралах гидродинамических уравнений, которым соответствуют вихревые движения». Решив уравнения для вихрей в несжимаемой и невязкой жидкости, Гельмгольц обнаружил целый букет удивительных свойств этих объектов. Математика

7 свидетельствовала, что вихри в идеальной жидкости оказываются поразительно стабильными: они могут упруго сталкиваться друг с другом, переплетаться с образованием сложных и похожих на узлы структур, выдерживать растяжения или сжатия — и все это без потери своей индивидуальности. [3]

##

8 Среди прочего, исследовал Гельмгольц и такую разновидность вихрей, как вихревые кольца. Особенно интересным здесь результатом — если помнить про слона из сна — оказалось нетривиальное взаимодействие двух колец. Если два одинаковых вихревых кольца движутся в идеальной жидкости вдоль общей оси в одном и том же направлении с одинаковыми скоростями, то они начинают притягиваться. При этом первое кольцо (1) растягивается и замедляет движение, а второе кольцо (2) стягивается, ускоряется и проскакивает через кольцо 1. Как только это происходит, кольцо 2 начинает расширяться и замедляться, а кольцо 1 — сужаться и ускоряться. Когда их размеры и скорости выравниваются, вся игра повторяется, и так до бесконечности. Столь занятная картина взаимодействия колец была выведена чисто теоретически, исходя из основных уравнений гидродинамики идеальной жидкости.



Чехарда вихревых колец

9 При анализе вихревых движений в этих упрощенных условиях Гельмгольцем было получено несколько примечательных результатов для так называемых вихревых линий и вихревых трубок. Под «вихревой линией» ученый понимал воображаемую линию, проходящую через сердцевину вращения жидкости, наглядно представить которую легко, вспомнив «ножку» водяной воронки в ванной или вихрь торнадо. Гельмгольц аналитически доказал, что вихревые линии должны быть либо замкнуты, образуя вихревое кольцо, либо оканчиваться на поверхности жидкости, на дне или стенках ограничивающего ее сосуда.

Если то же самое сформулировать чуть строже, то вихревые линии были определены как линии, совпадающие с локальным направлением оси вращения жидкости, а вихревые трубки — как пучки вихревых линий, проходящие через малый элемент площади. Такой подход позволил Гельмгольцу показать, что вихревые трубки должны замыкаться, а также что частицы жидкости в вихревой трубке будут оставаться в ней неопределенно долго. Иначе говоря, в независимости от того, как вихревую трубку деформируют, она будет продолжать сохранять свою форму. Если жидкость движется как целое, то вихрь в ней уносится, словно щепка в общем потоке. Однако, если поблизости нет других вихревых движений, то центр вихря остается неподвижным относительно окружающей жидкости.

Столь пространственный экскурс в довольно древнюю, пусть и очень важную для своей эпохи, теоретическую статью понадобился здесь вот по какой причине. В XX веке многие важные свойства идеальной жидкости были экспериментально обнаружены в явлении сверхтекучести жидкого гелия, охлажденного ниже температуры 2,19 градусов Кельвина. Вследствие квантовых ограничений при столь низкой температуре становятся невозможны обычные взаимодействия, свойственные трению и вязкости обычной жидкости, поэтому сверхтекучий гелий во многом похож на идеальную жидкость Эйлера и Гельмгольца. Более того, к началу XXI века экспериментальная физика продвинулась настолько, чтобы непосредственно на тонких опытах со сверхтекучестью помочь теоретикам в понимании турбулентности в обычных жидкостях.

###

В сверхтекучей или супержидкости атомы могут двигаться относительно друг друга лишь ограниченным количеством способов. Как и в модели Гельмгольца, они обращаются вокруг вихревых линий, которые не могут иметь концов внутри супержидкости, поэтому они либо вытягиваются до границ жидкости либо искривляются для образования замкнутых вихревых колец, похожих на кольца дыма. Важнейшим отличием сверхтекучей жидкости от жидкости Эйлера является квантовая природа образующихся в ней вихрей. Это означает, что при сверхнизких температурах квантовые эффекты начинают играть в физике явления доминирующую роль, и энергия образующихся вихрей может принимать не любые значения, а лишь кратные постоянной Планка.

Формирование квантованных вихрей впервые экспериментально наблюдалось в сверхтекучем гелии, когда сосуд с супержидкостью вращали быстрее, чем определенная критическая скорость. Размышляя над космологическими приложениями феномена, в середине 1990-х годов теоретики выдвинули гипотезу, что такого рода вихри могли простимулировать образование «космических струн» на раннем этапе эволюции вселенной. Вихри в сверхтекучей жидкости вообще вызывают у струнных теоретиков повышенный интерес, поскольку отмечается множество аналогий между их свойствами и математическими структурами, возникающими при анализе уравнений теории струн. Если струны не замкнуты в кольца, а «открыты» (разомкнуты), то тогда их концы — как и у вихревых линий Гельмгольца — не могут свободно висеть в пространстве, а должны заканчиваться на «границе среды». Иначе говоря, должны быть прикреплены в пространстве к мембране той или иной размерности, именуемой мембраной Дирихле или кратко D-браной.

И хотя экспериментальная проверка предсказаний теории струн продолжает оставаться в высшей степени трудно решаемой проблемой, уже начали появляться идеи о моделировании поведения суперструн с помощью цепочек вихрей в сверхтекучих жидкостях. Так, в 2005 году группа голландских теоретиков из Утрехтского университета предложила модель лабораторного эксперимента, который позволил бы создать «четырёхмерную суперструну» из вихревых колец в конденсате Бозе-Эйнштейна, то есть особом сверхохлажденном газе, демонстрирующем сверхтекучесть и уникальные свойства единой квантовой системы.[4]

Но хотя отчетливые взаимосвязи между вихрями Гельмгольца и теорией струн сомнения не вызывают, пока что остается совершенно неясным, каким образом чехарда парных вихревых колец из сна соотносится со слабыми ядерными взаимодействиями. То есть с силами, отвечающими за радиоактивность и термоядерные реакции в звездах. Причем к теме звезд тут явно следует вернуться. По той причине, что сразу же вслед за обнаружением информации о космической паре колец – загадочном объекте Хога и наблюдаемым за ним колечком точно такой же галактики – словно сам собой пришел еще один насыщенный образами сон.

-
- [1] A.A. Hoag (1950). «A peculiar object in Serpens». *Astronomical Journal* 55: 170.; R.W. O’Connell, J.D. Scargle, W.L.W Sargent (1974). «The Nature of Hoag’s Object». *Astrophysical Journal* 191: 61-62.
 - [2] Feynman Lectures on Physics. Volume 1. Mainly mechanics, radiation, and heat. Русский перевод: Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. «Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 1. Современная наука о природе. Законы механики». Эдиториал УРСС.
 - [3] H. Helmholtz, «Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen», *Crelle-Borchardt, Journal für die reine und angewandte Mathematik*, Bd. LV, S. 25-55. Berlin, 1858. Русский перевод: Гельмгольц Г. «Основы вихревой теории». Москва—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002
 - [4] M. Snoek, M. Haque, S. Vandoren, H.T.C. Stoof. «Ultracold Superstrings», Preprint 3 May 2005, arXiv: cond-mat/0505055

[J♦] Песчаный червь Уроборос

Урок геометрии [48]

Исключительно правильная и симметричная форма кольцевой галактики Хога, согласно наблюдениям астрономов, не имеет аналогов во всей вселенной. По этой причине особо удивительным выглядит тот факт, что внутри объекта Хога наблюдается еще одна очень далекая и оттого крошечная галактика в той же редчайшей форме кольца. И хотя это кольцо уже не выглядит столь же совершенно круглым, как первое, подобное совпадение заставляет насторожиться. Если же при этом обратить внимание на особенности того участка небосвода, где обнаружена столь примечательная пара колец, то становится совсем интересно.

Как уже говорилось, объект Хога находится в экваториальном созвездии Змеи (Serpens). А это созвездие – лишь одно из всех 88 – отличается от прочих участков звездного неба тем, что оно состоит из двух частей. Причиной тому является еще одно созвездие – Змееносца (Ophiuchus) – которое разделяет Змею на две примерно равные части. Обычно на этот исторический казус в астрономии никакого внимания не обращают, и уж тем более не усматривают в нем завуалированного указания на ключ к тайнам вселенной. (Да и кто, собственно, мог этот ключ дать?)

Старинные названия созвездий у разных народов Земли и конкретные группы звезд, в них объединяемые, – это сама по себе тема, чрезвычайно любопытная для исследований. Здесь же, однако, пора сделать шаг чуть в сторону и вспомнить об одном очень древнем, архетипическом по выражению Юнга, символе, который обнаруживается у множества древних культур планеты – от египтян и греков до индейцев Центральной Америки и цивилизаций Дальнего Востока. Речь идет об изображении змея, свернувшегося в кольцо и ухватившего пастью собственный хвост. По древнегреческой традиции этот мистический образ, символизирующий бесконечность и единство вселенной, принято именовать Уроборос (что дословно можно перевести как «пожирающий свой хвост»).

В связи с загадочным объектом Хога этот образ возникает по той причине, что вместе они наводят на довольно экзотическую идею. Пара далеко разнесенных колец-галактик, при наблюдении с Земли находящихся на одной оптической оси, да еще расположенных в созвездии под названием Змея (Уроборос), могут свидетельствовать о замкнутости вселенной. Иначе говоря, в действительности мы видим, быть может, не две редчайшие по форме галактики, вложенные одна в другую, а только лишь одну и ее отражение – словно в зале зеркал. И если бы разрешение телескопов позволяло, то внутри второго колечка мы могли бы увидеть третье и так далее... Столь неожиданная идея порождает не только множество дополнительных вопросов, но и еще один содержательный сон, насыщенный новой информацией.

#

В этом сне вы обнаруживаете себя посреди безбрежной пустыни, где от горизонта до горизонта нет ничего, кроме песка. «Песок – удобный материал для рисования поучительных фигур», – слышите вы голос, исходящий неизвестно откуда. На песке появляются изображения квадрата и окружности, одинаковых в поперечном размере. «На первый взгляд, совершенно разные вещи, не так ли? Но достаточно сменить точку зрения, и сразу становится очевидным, что это один и тот же предмет – просто в разных проекциях». И рядом появляется трехмерная проекция цилиндра, у которого диаметр равен высоте.

«А вот теперь пример не столь тривиальный». Все рисунки, кроме окружности, исчезают, а круг превращается в прозрачную сферу, лежащую на песке. Внутри сферы вспыхивает светильник, освещая все вокруг мягким светом. «Ту же самую композицию можно показать и иначе». Огонек светильника поднимается в верхнюю точку сферы, оказывается снаружи и смещается в сторону, теперь освещая сферу как бы сбоку и чуть сверху. Из-за этого на песке появляется бледная тень сферы с границей в форме ветвей параболы, расходящихся от места соприкосновения сферы с песком.

«Сейчас внимание – суть инсталляции». Из песка на поверхности сферы появляется змея, которая обвивает ее по горизонтальной окружности одним витком, затем вторым, третьим и так далее, поднимаясь таким образом по спирали все выше и выше к вершине сферы. «Обрати внимание на размер колец змеи и на их тень», – подсказывает голос. На сфере, понятное дело, кольца при подъеме змеи сначала расширяются, а затем, по мере прохождения «экватора» и приближения к «полюсу», начинают сужаться. На параболической тени сферы, однако, та же картина выглядит совершенно иначе. Полосы каждого из колец в проекции становятся с каждым витком лишь все больше и больше, никак не отражая то, что происходит на самом деле.

«Змея – это тело вселенной, а то, что видите вы – это лишь тень, одна из проекций реальной картины. Полезно взглянуть и на другие проекции. Например, тебе кажется, что змея обвила сферу? На самом деле это не совсем так». Когда точка наблюдения приподнимается и оказывается над сферой, то становится ясно, что на полюсах имеются уходящие вглубь воронки, из-за чего «шар» в действительности больше похож на яблоко. Или, используя более аккуратную геометрическую терминологию, на тор почти сферической формы. «Отсюда можно сообразить, что когда змея достигнет вершины, то путь ее не закончится – просто начнется следующий цикл обхода. Это замкнутая природа бесконечного времени».

##

«Чтобы понятнее стала замкнутая природа бесконечного пространства, иногда помогает такая иллюстрация... Только главное, чур не пугаться, это только аллегория»... Прежде мелкое дрожание песка под ногами начинает все больше усиливаться, в какой-то момент устоять становится уже практически невозможно, поэтому вы взлетаете вверх. Когда же высота подъема становится достаточно большой, то обнаруживается, что под вами была не совсем пустыня. Точнее, совсем даже не пустыня, а поверхность гигантского песчаного червя, свернувшегося кольцом и ухватившего собственный хвост. А еще точнее, червь оказывается состоящим из двух змей – светлой и темной.

Схватив друг друга за хвосты, обе огромных змеи – на первый взгляд – словно пытаются проглотить друг друга. Однако делают они это строго по очереди и, что тут же выясняется, как бы «с возвратом». То есть когда белая часть червя заглатывает черную, та практически полностью оказывается у белой внутри. Но в последний момент уже черная змея начинает заглатывать белую, опять
9 увеличиваясь в размерах, а общая картина изменяется на противоположную – теперь уже белая часть червя внутри, а черная снаружи. Эта сцена циклически повторяется раз за разом, причем с каждым циклом змеи становятся все больше и больше по величине. «Между внешним миром и миром внутренним нет никакой разницы – на самом деле, это поверхность одной и той же замкнутой на себя вселенной», – заключает демонстрацию голос.

«Но кроме поверхности есть у вселенной и множество других промежуточных слоев – для вас невидимых и потому более соответствующих понятию
a внутренний мир». Вместе с этими словами появляется картина двух концентрически вложенных колец, черного и белого, которые вращаются вокруг общей оси и переплетаются в черно-белую косу. В какой-то момент эта коса вновь разделяется на два кольца, теперь уже состоящих из черно-белых сегментов в шахматном порядке. Далее внутреннее кольцо сужается, внешнее расширяется, а между ними возникают еще несколько колец, окрашенных разными цветами радуги – от красного внешнего к синему внутреннему. «Эти слои обеспечивают всеобщее единство мира, и некоторые называют их всепроникающим внутренним континуумом».

«Каждый атом вселенной в своих вибрациях проходит через слои внутреннего континуума. Однако вам для наблюдений обычно доступны лишь крайние
b точки этих колебаний. Фазы вибраций частиц, соответствующие слоям внутреннего континуума, проявляются только на кратчайшие мгновения в экспериментах физики высоких энергий. Это направление – про семейства частиц – у вас изучено наукой обстоятельно, так что с дополнительной информацией в библиотеках проблем не будет»...

###

«Ну а чтобы завершить этот урок геометрии действительно малоизвестными у вас вещами, осталось продемонстрировать еще одну сторону в природе
c эволюции вселенной. Эту особенность можно назвать конвективной и она намного ближе физике вихревого движения, нежели физике взрывов. Итак, очередной цикл»...

Вся обстановка вновь меняется к исходной сцене с прозрачной сферой, внутри которой ровным светом сияет огонек. Когда этот сгусток света начинает смещаться вверх, оставляя за собой сияющий след, становится лучше видно,
d что он движется по трубке канала, соединяющего воронки на полюсах сферы. Оказавшись на поверхности сферы, вращающееся пятнышко света начинает увеличиваться в размерах. Затем, в какой-то момент роста этот светящийся вихрь распадается на множество вихрей поменьше, которые также растут и в итоге заполняют собой всю поверхность шара.

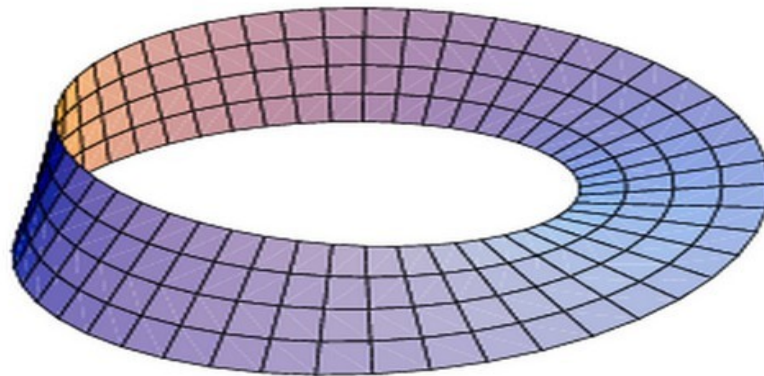
В результате данного процесса поверхность сферы обретает ячеистую структуру и оттого начинает напоминать футбольный мяч, сшитый из
e правильных многоугольников. Но только с тем отличием, что здесь сами многоугольники отчетливо потемнели, сохранив заметные точки света лишь по центру, а вот соединяющие их швы стали ярко светиться. Если же присмотреться к этим «швам» повнимательнее, то оказывается, что они состоят из цепочек сияющих бусин. А каждая из этого бесчисленного количества бусин – при ближайшем рассмотрении – представляют собой галактику со множеством миллиардов звезд...

f Голос: «Для более осмысленного постижения всех этих картин пригодятся несколько очень важных тут чисел. Прежде всего, 1 – как ясный символ неразрывного единства всего, что есть. Затем 3 – как три слоя реальности (в общем-то уже известных физикам, но геометрически пока не воспринятых). Далее 5 – как ключ к ячеистой структуре космоса. И наконец, очень интересное своим символизмом число 8 – положенная на бок, цифра восьмерки с давних времен обозначает у математиков бесконечность. А две восьмерки рядом, 88 – это не только число созвездий на небосводе. Также, это еще и подсказка о двух сторонах бесконечного мира. Если же записать перечисленные цифры как 1858 и 3, то они станут еще одним ключом: в год 1858 ищи 3 важных события, которые подскажут, куда двигаться дальше. Ну а чтобы искать было полегче, все три события происходили в Германии... Пора просыпаться».

Мебиус и электричество [49]

Первая, вполне очевидная связь между образами сна и 1858 годом отыскивается без труда. Именно в это время была открыта так называемая лента Мебиуса – простейшая форма односторонней поверхности, играющая очень важную роль в разделе математики под названием топология. Собственно, и сам этот термин – топология – ввел в научный обиход германский математик Иоганн Бенедикт Листинг (1808-1882), первым обнаруживший и описавший одностороннюю поверхность. Однако в итоге вышло так, что имя свое эта примечательная фигура получила в честь другого немецкого ученого, астронома и математика Августа Фердинанда Мебиуса (1790-1868), сделавшего то же самое открытие одновременно и независимо от Листинга.

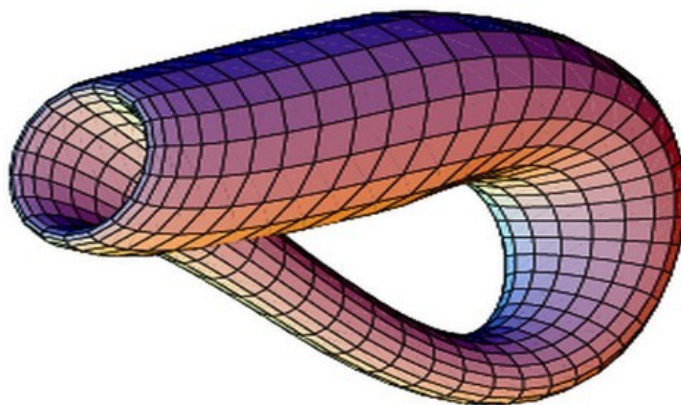
При всяком описании выдающихся свойств ленты Мебиуса обычно принято подчеркивать, что этот объект каждый интересующийся может очень легко изготовить и повертеть-пощупать самостоятельно. Данный факт действительно очень важен, поскольку науке топологии очень часто приходится иметь дело с фигурами и формами, которые в привычном человеку трехмерном пространстве сконструировать в принципе невозможно. Ленту же Мебиуса изготовить проще простого – надо взять достаточно длинную полосу бумаги и склеить противоположные концы с полупереворотом, т.е. повернув один конец на 180 градусов.



Лента Мебиуса

После чего сразу можно приступать и к первичному ознакомлению с причудливыми свойствами получившегося объекта. Самое главное, как уже сказано – это односторонняя поверхность данной фигуры. Хотя изначально у листа бумаги было две поверхности, несложно убедиться, что лента Мебиуса имеет одну бесконечную поверхность. Для этого достаточно взять карандаш и начать вести линию посередине ленты. Эта линия на своем пути пройдет по обеим сторонам листа и вернется в точку начала. Иными словами, если представить себе муравья, миром обитания которого является свернутая кольцом лента Мебиуса, то в сравнении с другим муравьем, живущим, скажем, на сфере, для него нет никакой разницы между внешней и внутренней поверхностью. Ибо здесь они гладко переходят одна в другую, так что исчезает само различие между понятиями «внутри» и «снаружи» кольца.

3 Давно подмечено, что лента Мебиуса дает чрезвычайно интересную и наглядную аналогию для трехмерной односторонней поверхности – как возможной модели реальной вселенной. Правда, у ленты Мебиуса есть несколько специфических особенностей, совершенно не свойственных тому пространству, что окружает человека. Прежде всего, бесконечным и замкнутым у ленты является лишь одно выделенное направление, а в перпендикулярном ему направлении у листа есть края. Точнее, один край с двух сторон. Эта проблема, впрочем, преодолевается без труда, поскольку еще в 1882 году другой германский математик, Феликс Клейн, придумал и описал замкнутую одностороннюю фигуру, получившую название «бутылка Клейна» (по форме очевидно схожую с гигантским песчаным червем-уроборосом из сна про геометрию). Получается этот объект путем склеивания краев у двух лент Мебиуса. Правда с двумерными листами такая операция возможна лишь при условии дополнительных разрезов и склеек. Однако в случае трехмерной поверхности те же самые по сути манипуляции уже возможны гладко и без швов.



Бутылка Клейна

#

4 Другая, более серьезная особенность, сильно отличающая лист Мебиуса и другие односторонние поверхности от известной человеку вселенной – это так называемая неориентируемость. Говоря упрощенно, под ориентируемостью в топологии принято называть свойство, позволяющее разделять идентичные в остальном объекты на «правые» и «левые». Если же поверхность неориентируема, то принадлежащий ей объект после одного оборота по петле возвращается в зеркально отображенном виде. На прозрачной ленте Мебиуса это легко увидеть, когда буквы латинского алфавита «L» и «R» после однократного обхода цикла превращаются в буквы кириллицы «Г» и «Я».

5 Все экспериментальные данные, известные человеку об окружающем его мире, свидетельствуют в пользу того, что пространство вселенной всюду является ориентируемым. То есть, сколь бы далеко левша не забредал в своих блужданиях по космосу, он все равно вернется левшой, а не правой, и записи его будут состоять из прежних букв, а не зеркально отраженных. Из чего естественным образом следует, что моделировать наш мир в виде «обычной» трехмерной бутылки Клейна не представляется возможным.

Однако богатство свойств ленты Мебиуса далеко не исчерпывается одной лишь бесконечностью односторонней поверхности. Если, скажем, эту ленту аккуратно разрезать вдоль осевой линии, то в результате получится не два кольца, а опять одно, но узкое и в два раза большей длины. Если же другой лист Мебиуса разрезать вдоль не на две, а на три части, отступив от каждого из краев на треть ширины ленты, то получится такая фигура: еще один лист Мебиуса шириной в треть от первоначального, а в него продета длинная и тонкая лента, дважды перекрученная вдоль своей оси.

Теперь «маленького Мебиуса» можно как-то пометить, например закрасив его поверхность, а длинную ленту аккуратно уложить с обеих сторон поверх окрашенной. В результате получится лист Мебиуса тройной толщины и с новым любопытным свойством. Две крайние незакрашенные части «сэндвича», хотя и сделаны из одной длинной ленты, тем не менее, нигде не смыкаются друг с другом, а просто лежат вдоль сторон третьей, окрашенной ленты. Впрочем, о каких сторонах идет речь? Ведь вспомним, центральная часть — это же односторонняя поверхность. Да и крайние, раз они повторяют ее форму, тоже стали похожи на два листа Мебиуса, которые обрели самостоятельность, обвившись вокруг окрашенной прослойки.

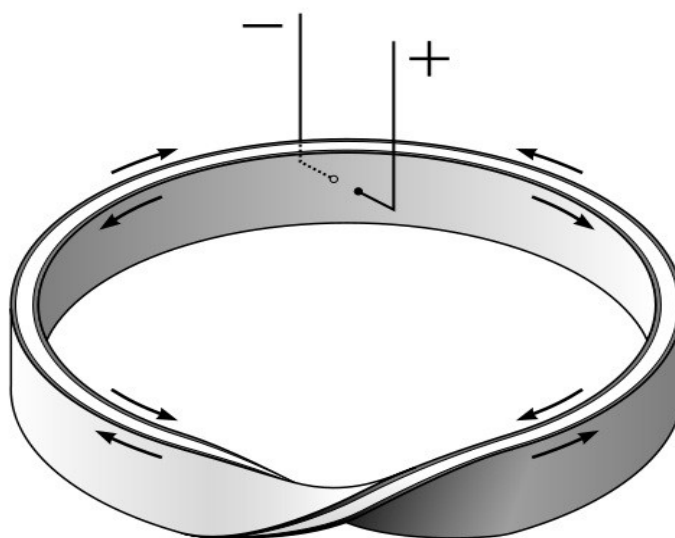
##

С практической точки зрения описанная конструкция интересна тем, что обеспечивает весьма оригинальное и красивое решение для серьезной проблемы, с которой регулярно приходится сталкиваться разработчикам электронных схем. Речь идет о схемах, предназначенных для работы с переменными токами или импульсными сигналами высокой частоты, как, например, в радарах и системах высокочастотной связи. В подобных условиях на работу любых электронных устройств в значительной мере влияют нежелательные воздействия со стороны неизвестных (то есть не поддающихся расчетам) реактивных сопротивлений в самих компонентах схемы или нежелательные эффекты связи (емкостной или индуктивной) между отдельными компонентами.

В идеальных условиях всякий резистор схемы должен обеспечивать только сопротивление (именуемое активным), конденсатор — только емкость, а катушка дросселя — только индуктивность. Но в реальном физическом мире каждый предмет, включая и радиодетали, имеет конкретную форму и как-то образом располагается в пространстве. Поэтому всякая радиодеталь ведет себя и как маленький конденсатор (обладающая собственной электрической емкостью и, значит, оказывая переменному току емкостное сопротивление), и как крохотный дроссель — порождая сопротивление индуктивное.

Оба этих паразитных сопротивления объединяют общим термином «реактивность», а для сокращения эффектов реактивного сопротивления придумываются самые разные трюки и ухищрения. В конечном счете, правда, все они так или иначе сводятся к способу, придуманному шотландским физиком Максвеллом еще на заре электротехники. Джеймс Клерк Максвелл, глубоко постигший особенности взаимодействия электрических и магнитных полей при создании своей теории электромагнетизма, в свое время отметил, что резисторы можно симметрично сгибать в форме шпильки для волос, чтобы электрический ток шел по проводнику в двух противоположных направлениях, уравновешивая и сводя на нет емкостное или индуктивное сопротивление.

Разнообразные решения, придуманные впоследствии на основе метода Максвелла, работали сравнительно неплохо. Однако к 1960-м годам, с появлением космической техники и мощного высокочастотного оборудования, имевшихся технологий для гашения реактивности стало явно недостаточно. В американском ядерном центре Sandia Labs по заказу агентства НАСА над улучшенным решением этой проблемы работал физик Ричард Л. Дэвис. И вот как-то однажды, по его собственным воспоминаниям, Дэвис решил дать полную волю фантазии и отпустил свой ум поблуждать в свободном поиске ответа. Вот тут-то он и вспомнил о ленте Мебиуса – поначалу, как о старом математическом фокусе для развлечения публики в салонах и компаниях. Но затем необычные топологические свойства фигуры неожиданно перемешались с электроникой, и в итоге Дэвис получил то, что искал – конструкцию неактивного «резистора Мебиуса».[1]



Резистор Мебиуса

###

Дэвис изготовил ленту Мебиуса из гибкой ленты пластмассового изолятора, с двух сторон которой была приклеена металлическая фольга, служащая в качестве электрического сопротивления. Провода, подводящие ток к фольге, он припаял в точках, находящихся строго друг против друга с противоположных сторон ленты. Поэтому, когда через эти провода пошли электрические импульсы, ток разделился на две ветви, которые потекли через ленту фольги в обоих направлениях, по сути, проходя через проводник дважды. Благодаря этому вся паразитная реактивность стала взаимно гаситься практически идеально.

Попутно в ходе экспериментов были выявлены и другие примечательные особенности резистора Мебиуса. В частности, то, что это устройство электромагнитно никак не влияет на другие металлические объекты, компоненты схемы или на себя самого, даже если форма готового резистора изменяется (например, при компактной намотке ленты на сердечник). Кроме того, Ричард Дэвис обнаружил еще одно удивительное — и весьма полезное на практике — свойство резистора Мебиуса. Если к сторонам одной ленты изолятора он приклеивал не один, а два комплекта резистивных лент из фольги, расположенных на расстоянии около 1,5 мм друг от друга, то получались два полноценных резистора Мебиуса, электромагнитно никак не влияющих друг на друга.

Эти резисторы оказалось возможным затем соединять последовательно и параллельно — как обычные элементы электронных схем. Величина результирующего сопротивления менялась в соответствии с обычными эффектами последовательного-параллельного соединения, без изменения константы времени реакции, полученной для единственного резистора. Результат, с одной стороны, очень приятный, поскольку позволяет компоновать резисторы с любой нужной величиной активного сопротивления. С другой же стороны, данный результат крайне озадачивает своей физикой. Потому что импульсы тока одновременно проходят через проводник в противоположных направлениях, а два комплекта невзаимодействующих резисторов на одной ленте Мебиуса — это, если присмотреться внимательней, на самом деле одна и та же длинная лента...

По признанию самого изобретателя, в 1966 году оформившего на резистор Мебиуса патент США [2], он и сам толком не смог понять, как и почему работает это устройство. Быть может, сказал однажды Ричард Дэвис в одном из интервью, что-то содержательное на данный счет мог бы поведать нам Максвелл, но он, увы, давно уже мертв... А еще может быть и так (если верить сну «про геометрию космоса»), что загадки резистора Мебиуса каким-то существенным образом связаны с квантовым парадоксом Эйнштейна-Подольского-Розена или кратко ЭПР — еще более озадачивающей загадкой современной физики.

[1] “Making Resistors With Math”, Time, September 25, 1964

[2] Richard L. Davis, “Non-Inductive Electrical Resistor”, US Patent # 3 267 406, August 16, 1966

ЭПР и относительность [4А]

0 Еще одно важнейшее событие 1858 года – это появление на свет очередного, шестого по счету ребенка в большой семье профессора-правоведа Кильского университета Иоганна Юлиуса Вильгельма фон Планка. При рождении мальчика нарекли звучным и довольно длинным именем Макс Карл Эрнст Людвиг, однако для того, чтобы оставить яркий след в истории, ему вполне хватило и самого короткого варианта – просто Макс Планк (1858-1947).

1 За свою долгую и плодотворную жизнь Планк успел сделать в науке много чего заметного и полезного, однако мир в первую очередь помнит его как отца-основателя квантовой физики. Открытый ученым минимальный квант действия, или «постоянная Планка», вкуче с соответствующей теорией об излучении-поглощении энергии дискретными порциями, стали важнейшим шагом человечества к постижению атомных и субатомных процессов микромира. Для всей физики XX века работа Планка оказалась столь же важна, как и эйнштейновская теория относительности, давшая принципиально новый взгляд на пространство и время.

2 В качестве редактора авторитетного журнала *Annalen der Physik*, Макс Планк был чуть ли не первым из маститых ученых, ознакомившихся в 1905 году с серией статей никому неизвестного в ту пору Альберта Эйнштейна. Сразу поняв важность этих работ, Планк лично способствовал их быстрой публикации в журнале и дальнейшей популяризации в научном сообществе. Особенно интересными и многообещающими Планку представлялись идеи специальной теории относительности (как он отмечал в ту пору, «скорость света для теории относительности – то же самое, что элементарный квант действия для квантовой теории, это абсолютная сердцевина»).

3 Что же касалось идеи Эйнштейна о корпускулярной природе света и частицах фотонах, переносящих кванты световой энергии, то поначалу она Планку не слишком глянулась. Однако именно этой работе с новой трактовкой фотоэлектрического эффекта было суждено дать существенный толчок в развитии планковской квантовой теории.

#

4 Занимая пост декана в Берлинском университете, Макс Планк привлек на свой факультет Альберта Эйнштейна в 1914 году, а чуть позже, в 1919, и своего любимого ученика Макса фон Лауэ. Когда с приближением 70-летия Планк уходил в конце 1920-х годов на пенсию, то его должность занял другой виднейший теоретик, основатель волновой механики Эрвин Шредингер. Перечисление столь знаменитых в физике фамилий нобелевских лауреатов понадобилось здесь по той причине, что все эти люди категорически не согласились с так называемой «копенгагенской интерпретацией» квантовой механики.

5 Созданная, главным образом, усилиями Нильса Бора, Вернера Гейзенберга и Макса Борна, эта трактовка теории для берлинских соратников Планка представлялась столь формалистичной, контр-интуитивной и «нефизической», что согласиться им с ней было никак невозможно. Матричную механику Гейзенберга, например, вычислявшую поведение взаимодействующих частиц путем оперирования с колонками и строками числовых таблиц, Макс Планк называл «отвратительной», вполне резонно полагая, что волновое уравнение Шредингера является куда более адекватным отражением реальных процессов в природе.

6 Острые дискуссии между оппонентами и сторонниками Бора начались, по сути дела, уже при рождении квантовой механики в середине 1920-х годов. При этом самым упорным и последовательным противником копенгагенской интерпретации стал Альберт Эйнштейн, до конца жизни так и не признавший возобладавшую в физике «копенгагенскую» идею о принципиально вероятностном характере событий и взаимодействий в микромире.

7 Когда Эйнштейн из-за антисемитизма нацистов был вынужден перебраться в США, там в 1935 году при его непосредственном участии была написана и опубликована самая знаменитая, пожалуй, работа в истории этого великого противостояния. Именно с этой статьи принято отсчитывать историю удивительного «парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена» или кратко ЭПР, получившего свое название по именам соавторов и по сию пору остающегося самой большой загадкой квантовой физики.[1]

##

8 Теоретическая работа, совместно подготовленная Эйнштейном и его коллегами, Борисом Подольским и Натаном Розеном, носила название «Может ли считаться полным квантово-механическое описание физической реальности?» и на примере весьма убедительного мысленного эксперимента демонстрировала, что с описанием реального мира у науки тут возникают очень существенные проблемы. Дабы изложить суть идеи ЭПР более понятно для неспециалистов, обычно прибегают к эквивалентной трактовке, предложенной несколько позже Дэвидом Бомом, другим соратником Эйнштейна.

9 В варианте Бомы эксперимент выглядит примерно следующим образом. Можно подготовить две частицы так, что сначала они образуют единую квантовую систему - «синглет», описываемый одним волновым уравнением. Причем спины частиц в синглете равны по значению и противоположны по направлению. О конкретном направлении спинов ничего сказать нельзя, поскольку оно становится определенным лишь при измерении, но зато определенно известно, что суммарный спин системы всегда равен нулю.

а Затем частицы можно аккуратно разделить и разнести в пространстве на сколь угодно большое расстояние, после чего измерить значение спина у одной из частиц. Поскольку до этого никаких измерений не проводилось, то по законам квантовой механики обе частицы продолжают составлять единую систему. А значит, измерение-фиксация спина одной частицы должны вызвать «коллапс волновой функции» и моментальную ориентацию спина другой частицы в направлении, противоположном спину первой. Происходить это должно с абсолютной неизбежностью, мгновенно и независимо от текущего расстояния между частицами, будь они хоть на разных планетах. Эрвин Шредингер дал столь специфическому состоянию частиц собственное название *Verschraenkung* (англ. *entanglement*), что на русский обычно переводят как «спутанность» или реже «сцепленность».

б Понятно, что столь странный результат с «пугающим взаимодействием на расстоянии», по шутливому выражению Эйнштейна, очень плохо вписывается в научные представления об устройстве физической реальности. Точнее, не вписывается никак, поскольку физика не может предложить даже гипотетических механизмов, которые обеспечивали бы мгновенное взаимодействие квантово сцепленных частиц на любых расстояниях. Более того, данный результат вопиюще противоречит специальной теории относительности, один из базовых постулатов которой - это принципиальная невозможность распространения взаимодействий со скоростью, превышающей скорость света в вакууме...

###

c Все это, конечно, крайне озадачивало теоретиков и требовало внятных объяснений. Однако успехи квантовой физики, в целом развивавшейся на основе копенгагенской интерпретации, были столь грандиозными и впечатляющими, что разбираться с загадкой парадокса ЭПР у большинства не было ни времени, ни особого желания. Лишь к 1980-м годам уровень развития и точность экспериментальной физики возросли настолько, что проверить предсказания ЭПР стало возможным не только посредством мысленных опытов, но и с помощью реальной аппаратуры.

d Впервые это было сделано во Франции в 1982 году, группой французских исследователей во главе с Аленом Аспектом [2]. На протяжении последующих десятилетий эксперименты удалось усовершенствовать настолько, что расстояние между сцепленными частицами, по преимуществу фотонами, было увеличено до многих десятков километров. Как это ни поразительно, но в подавляющем своем большинстве данные опыты убедительно подтвердили – находящиеся в состоянии квантового сцепления частицы действительно мгновенно, со сверхсветовой скоростью взаимодействуют друг с другом при измерении состояния одной из них. Но как именно это происходит, сказать не может никто.

e Чтобы противоречие с теорией относительности не выглядело столь очевидным и вызывающим, было придумано множество разных хитроумных объяснений и доводов. Самый, вероятно, главный из них сводится примерно к следующему. Несмотря на теперь уже бесспорную сцепленность частиц, связанных каким-то неведомым науке механизмом, мгновенно передать по этому каналу информативный сигнал нет никакой возможности (на этот счет доказана специальная теорема). А раз информация не передается, то можно считать, что и противоречия никакого с теорией относительности нет.

f Считать, спору нет, можно и так. Однако остается ясным, что подобные объяснения лишь пытаются завуалировать очевидную загадку парадокса ЭПР. Но абсолютно никак не способны помочь в попытках понимания сути мгновенных взаимодействий. Или, если переформулировать несколько иначе, сути неразрывного единства всех элементов природы.

-
- [1] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen. «Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?». Physical Review 41, 777, 15 May 1935
- [2] A. Aspect, Dalibard, G. Roger: «Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers». Physical Review Letters 49 #25, 1804 (20 Dec 1982)

Бразильский орех и гравитация [4В]

Третье ключевое событие 1858 года так же, как и оба предыдущих, непосредственно связано с Германией и уже упоминалось чуть ранее. В тот год Герман Гельмгольц, профессор Боннского университета (где он возглавлял, что примечательно, кафедру анатомии и физиологии) опубликовал одну из наиболее значительных работ своей жизни – физико-математическую статью «Об интегралах гидродинамических уравнений, которым соответствуют вихревые движения»[1]. Нельзя, правда, сказать, что революционная статья Гельмгольца – о выведенной им чисто теоретически удивительной стабильности вихрей и вихревых колец – сразу же получила широкую известность и всеобщее признание. Скорее даже наоборот, поначалу публикация прошла почти незамеченной.

1 Существенное развитие результаты Гельмгольца получили лишь примерно десятилетие спустя – в 1867 году, в работах Питера Тэта и Уильяма Томсона (Кельвина). Тэт придумал остроумный способ для порождения вихревых колец – заполненный дымом ящик, имеющий резиновую диафрагму с одной стороны и круглое отверстие с противоположной. Резкий удар по диафрагме выдавал из отверстия плотное кольцо дыма практически идеальной формы. А применение таких устройств в паре позволило Тэту экспериментально подтвердить теоретические предсказания Гельмгольца о необычном поведении взаимодействующих вихревых колец. Кольца действительно меняли свой размер и скорость, испытывали при взаимодействиях сильные вибрации, но при этом стабильно возвращались к правильной круглой форме.

2 Уильям Томсон, друг и коллега Тэта, был настолько впечатлен его опытами и устойчивостью дымовых колец, что усмотрел в них прообраз для модели строения атомов материи. Согласно научным представлениям того времени, все пространство было заполнено неуловимой идеальной жидкостью, эфиром. По гипотезе же Томсона, стабильные вихревые образования в этой жидкости, или «вихревые атомы», при разной плотности упаковки могли бы образовывать жидкости или твердые тела со всеми присущими им физическими свойствами... Несмотря на массу усилий лорда Кельвина и его последователей, за три последних десятилетия XIX века эту гипотезу так и не удалось довести до кондиций теории, убедительной для большинства ученых. Ну а далее настало время для совсем другой физики.

3 Нельзя, однако, исключать, что если бы идеи Кельвина о вихревых атомах и об эфире как зернистой структуре микровихрей смогли получить более глубокое развитие, то современная физика вряд ли была бы столь недоразвита в области анализа вибрирующих гранулированных сред. Сколь бы странным это ни казалось, но по сию пору, в XXI веке у исследователей, работающих в данной области, так и нет общего математического аппарата уравнений, способных описывать и предсказывать поведение гранулированных материалов при разных условиях среды. Более того, в физике зернистых материалов имеются чрезвычайно простые, доступные даже детям опыты, так и не находящие удовлетворительного теоретического объяснения. Ярчайший тому пример – так называемый «эффект бразильского ореха».

#

4 Этот эффект знаком очень многим и получил свое название благодаря популярным в народе упаковкам ореховых смесей. Если в такой смеси, обычно состоящей из миндаля, фундука и так далее, есть также зерна бразильского ореха, отличающегося заметно большим размером, то при вскрытии упаковки эти самые крупные зерна всегда оказываются наверху. Ту же самую картину можно увидеть и в любой другой смеси разнокалиберных гранул, вроде мюслей для завтрака, где самые крупные ингредиенты непременно находятся в верхней части, а мелкие – ближе ко дну.

5 С этим же эффектом многие годы вынуждены сражаться в пищевой и фармацевтической индустрии, а также всюду, где промышленное производство требует создания гранулированных смесей однородной концентрации, а физика вибраций упорно разделяет эти смеси на слоифракции по калибру ингредиентов. В книжках, конечно, имеются и теоретические объяснения этому феномену. Однако, если изучить проблему «естественной калибровки» чуть тщательнее, то быстро выяснится, что объяснений существует сразу несколько, причем они противоречат и друг другу, и опыту. А это, ясное дело, первый признак того, что в действительности понимания нет.

6 По давней традиции чаще всего прибегают к такому объяснению данного эффекта. В неоднородной смеси те частицы, что помельче, при каждом встряхивании проникают в пустоты, образуемые под более крупными частицами. Поэтому с течением времени все гранулы крупных размеров постепенно поднимаются в смеси наверх. Излагая более научнообразно, когда орехи встряхиваются, то гравитация старается опустить центр масс всей системы, а достигается это тем, что крупные орехи смещаются вибрацией вверх. Такое объяснение выглядит достаточно правдоподобно, однако опыты показывают, что достаточно изменить форму дна контейнера – с плоской на конически сужающуюся к центру – и общая картина поведения гранул в корне меняется. Теперь бразильский орех не всплывает, а опускается ко дну. Этот озадачивающий результат также очень хорошо известен и именуется «обратным эффектом бразильского ореха».

7 В начале 1990-х годов группа исследователей из Чикагского университета (Knight, Jaeger, Nagel) провела серию весьма остроумных экспериментов, демонстрирующих, что когда гранулированный материал подвергают вибрациям, то частицы в контейнере движутся не совсем хаотически, а отчасти упорядоченно – в порожденном вибрацией конвекционном потоке. В частности, если контейнер имеет прямоугольную или цилиндрическую форму, характерную для стандартных упаковок, то благодаря конвекции индивидуальные частицы движутся через середину наверх, потом по поверхности к краям, а затем вниз вдоль стенок контейнера. Если в смеси есть большая частица, то она тоже выносится наверх потоком конвекции. Когда же более крупная гранула наверху, то она так там и остается, потому что конвекционные токи слишком узки, чтобы утащить ее вниз вдоль стенки. Особо привлекательным новое объяснение эффекта выглядело по той причине, что если цилиндрическую форму контейнера изменить на коническую, то и направление конвекционных потоков изменяется на противоположное, так что теперь частицы восходят наверх по краям, а вниз утаскиваются потоком через центр. Значит, в этом случае бразильский орех оказывается на дне.[2]

##

Но только-только физики начали привыкать к новому, более верному пониманию хитрого эффекта, как были обнаружены эксперименты, опровергающие и это объяснение. В 1998 году Трой Шинброт и Фернандо Муссио из Университета Рутгерс опубликовали экспериментальную работу [3], убедительно доказывающую, что в эффекте бразильского ореха важнейшую роль может играть не только размер, но и плотность гранул. Ученые показали, что в совершенно одинаковых условиях контейнера и частоты вибраций крупные частицы одного размера могут как идти ко дну, так и плавать на поверхности – в зависимости от их массы. Продемонстрировано это было очень простым и остроумным способом, с помощью яйцеобразных пластиковых коробочек из шоколадных «Киндерсюрпризов».

Внутри таких яиц засыпалось разное количество стальной дроби, после чего их помещали в контейнер, заполненный мелкой стеклянной пудрой, и подвергали всю систему вибрациям с частотой около 10 герц. Более тяжелые яйца, как и ожидалось, плавали на поверхности, но зато самые легкие яйца ушли на дно. Вибрация, по сути дела, для «бразильских орехов» переворачивала обычный эффект гравитации с ног на голову... Результат казался столь необычным и противоречащим здравому смыслу, что рецензент научного журнала, куда была подана статья для публикации, поначалу даже отказывался ее брать, уверенный, что этого просто не может быть, а экспериментаторы что-то там в своих опытах напутали. Однако опыты по сути своей крайне просты и могут быть повторены любым, даже ребенком, с помощью коробки, наполовину засыпанной солью и пары крупных «гранул» разной массы, но примерно одинакового размера. Например, тяжелой гайки и примерно такой же величины куска пробки.

Более того, еще несколько лет спустя тот же коллектив исследователей обнаружил совсем странную разновидность эффекта бразильского ореха. Оказалось, что поведение крупных частиц принципиально зависит и еще от одного важного параметра – направления вибраций. Все опыты подобного рода обычно принято проводить на установках с вертикальным направлением вибраций «вверх-вниз». Однако, если изменить направление на перпендикулярное, «из стороны в сторону», то в корне меняется и эффект бразильского ореха. Если при вертикальных вибрациях тяжелые «включения» всплывают, а легкие тонут, то при поперечной тряске все происходит с точностью до наоборот – тяжелые тонут, а легкие всплывают...[4]

Здесь самое время напомнить, что столь простые и в то же время удивительные факты обнаружены наукой буквально только что – публикация Троя Шинброта в журнале Nature об эффекте поперечных вибраций датируется маем 2004 года. Это означает, что поведение гранулированных смесей вообще и феномен сегрегации смесей на калибровочные слои в частности, для современной науки продолжают оставаться по сути дела загадкой. Никто по сию пору так и не знает, как правильно описывать и контролировать эти процессы.

###

Ближе всех, возможно, к теоретическому пониманию проблемы начал подходить в начале 2000-х годов физик корейского происхождения Дэниэл Хонг, работавший в Университете Лехай в США. К 2001 году Хонгу и его коллегам удалось выделить в физике гранулированных смесей новый, не описанный прежде эффект самопроизвольного разделения на фракции, получивший название «конденсация». На основе анализа этого эффекта была разработана теория, хорошо предсказывающая поведение «бразильского ореха», то есть направление смещения крупных гранул относительно мелких, на основе известных параметров системы.

Механизм «конденсации» удалось нащупать с помощью программ компьютерного моделирования для процессов в области молекулярной динамики. Поначалу исследователи рассматривали систему из частиц одного размера, и приравнивали кинетическую энергию каждой частицы (в кинетической теории прямо связанную с температурой окружающей среды) к ее эквивалентной потенциальной энергии. Было обнаружено, что существует некая критическая температура, ниже которой слой частиц «выпадает в конденсат» на дне контейнера. Причем, эта критическая температура определяется конкретным соотношением между массой и диаметром частицы. Сконденсировавшиеся частицы далее вибрируют в ограниченном пространстве, и уже не могут меняться местами со своими соседями или возвращаться в более подвижную «жидкую» часть системы.

После этого группа Хонга стала наблюдать влияние конденсации в ходе второй серии компьютерных экспериментов, где смешивались уже два комплекта частиц, каждая со своей собственной «критической температурой», определяемой массой и диаметром. Если «температура системы», то есть динамика вибраций, устанавливалась между этими пороговыми температурами, то набор сфер с более высокой критической температурой «конденсировался», в то время как второй набор оставался «жидким». Для взаимного расположения слоев, как обнаружили Хонг и его коллеги, критично важными оказались соотношения между массами и диаметрами разных частиц. На основе большой серии моделирований при разных контрольных параметрах группа Хонга выстроила фазовую диаграмму для разных комбинаций в соотношениях массы и диаметра частиц. Эта диаграмма отображала начало процесса сегрегации смеси на слои и точки перехода от эффекта бразильского ореха к обратному эффекту. Подобного рода диаграмму было бы преждевременно, конечно, называть «теорией», однако она позволяет предсказывать, как будут смешиваться определенные комбинации частиц, и дает богатый материал для выведения общих уравнений.[5]

Вполне вероятно, что именно в этом направлении и двигались бы последующие работы, однако в июле 2002 года, к несчастью, профессор Дэниэл Хонг скоропостижно скончался от остановки сердца в возрасте 46 лет. По этой причине перспективные исследования в области взаимосвязей между гравитацией и топологией расслоений в гранулированных средах несколько затормозились.

-
- [1] Helmholtz H., «Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen», Crelle, LV, 1858
 - [2] J. B. Knight, H. M. Jaeger, and S. R. Nagel: «Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection». Phys. Rev. Lett. 70, 3728 - 3731 (Issue 24 - June 1993)
 - [3] Troy Shinbrot and Fernando J. Muzzio: «Reverse Buoyancy in Shaken Granular Beds». Phys. Rev. Lett. 81, 4365 - 4368 (Issue 20 - November 1998)
 - [4] Troy Shinbrot: «Granular materials: The brazil nut effect - in reverse». Nature, Volume 429, Issue 6990, pp. 352-353 (May 2004)
 - [5] Daniel C. Hong and Paul V. Quinn: «Reverse Brazil Nut Problem: Competition between Percolation and Condensation». Phys. Rev. Lett. 86, 3423 - 3426 (Issue 15 - April 2001)

[A♦] Музыка дымящихся зеркал

Гармония звука, света и формы [4С]

Идею о том, что все частицы окружающего нас мира постоянно находятся в состоянии непрерывных вибраций, никак не назовешь ни новой, ни революционной. Это, скорее, давно установленный и общеизвестный факт. Куда меньше, однако, известно о тех механизмах упорядочивания, что обеспечивают поразительное разнообразие форм и структур, наблюдаемых в природе. В условиях зыбкой основы из непрестанно вибрирующих атомов, все эти конструкции демонстрируют не только впечатляющую устойчивость формы, но и способность к стабильному воспроизведению тех же самых структур снова и снова.

Существует целое научное направление – морфогенезис – в рамках которого предпринимаются попытки объяснить и систематизировать все то разнообразие, устойчивость и усложнение форм, наблюдаемых в природе. Но если для таких вещей, как молекулы, собранные из атомов, кристаллы с их регулярной решетчатой структурой, или циклоны и торнадо, зарождающиеся в атмосфере, морфогенетические механизмы формирования просматриваются достаточно отчетливо (хотя и не без своих загадок), то для огромного множества прочих явлений картина далеко не столь понятна.

Масштаб этой проблемы удобнее всего оценить по уровню нашего понимания живой природы. При всех своих грандиозных достижениях в области генетических исследований и биофизики, наука по-прежнему не в силах объяснить тот механизм, благодаря которому всего из одной яйцеклетки вырастает самый сложный организм с четко определенными свойствами. Упрощенно говоря, почему из семечка подсолнуха все время вырастают подсолнухи, а из куриного яйца – только куры? Если же учесть, что эти куры не только растут, но и все время находятся в движении, а также в непрерывных вибрациях пребывают и составляющие их тело атомы-молекулы, то механизм стабилизации формы для всей этой конструкции представляется совершенно неясным.

В широчайшем диапазоне между сложными формами жизни и элементарными конструкциями неживой природы, вроде кристаллов, находится неисчислимое множество прочих стабильных форм материи, совокупно именуемых «окружающий нас мир». Все мы от рождения привыкли считать, что просто этот мир всегда таким был, таков есть и таким будет. Люди словно не замечают, насколько «противоестественно» выглядит вся эта сложность и стабильность природы, выстроенная на чрезвычайно подвижной основе из постоянно вибрирующих и сталкивающихся друг с другом частиц. Но игнорируемая проблема – не значит решенная проблема. Иначе говоря, понятно, что и на данный счет тоже хотелось бы увидеть какой-нибудь содержательный и просвещающий сон...

#

4 Местом действия этого сновидения оказывается неясных размеров помещение в форме многогранника. Все грани этой конструкции являются зеркалами и сходятся друг с другом под углом, явно больше прямого. Из-за этого невозможно четко определить, что здесь следовало бы называть полом, что потолком, а что стенами. Зеркальная поверхность граней, в свою очередь, придает замкнутому пространству комнаты ощущение бесконечной глубины во всех направлениях – куда бы ни был брошен взгляд.

5 Как только в этом зале появляется единственный огонек света, он тут же вспыхивает мириадами отражений во всех гранях. Одновременно комната наполняется звуком, но поначалу довольно невыразительным и больше похожим на гудение или жужжание. При этом огоньки-отражения словно обретают самостоятельность, то и дело независимо друг от друга совершая какие-то скачки и перемещения. А кроме того, буквально за каждым из миллиардов этих огоньков тянется тоненькая струйка дыма. Поначалу дым стелется лишь над зеркалами, но затем начинает заполнять всю комнату.

6 Клубы дыма сперва кажутся беспорядочными, однако быстро становится очевидно, что это не так. В действительности, напоминающие облака хаотичные формы движутся и меняют очертания в зависимости от перемен в звуке. Первоначальное гудение при этом становится не только благозвучным, все больше напоминая музыкальные гармонии, но затем и достаточно сложным по форме. Вместе с усложнением музыкальной темы все более причудливые очертания принимают и облака дыма. Впрочем, на дым это уже и не похоже вовсе.

7 Пластичная и подвижная, светящаяся масса сначала принимает формы разнообразных рельефов местности, включающих в себя горы, равнины и водоемы. Эти ландшафты заполняют растения, а затем животные, рыбы и птицы во множестве самых разных видов. Все происходящие в картине перемены попутно порождают ощущение, что появление каждой новой фигуры непременно сопровождается и добавлением еще одной мелодии в общую музыкальную тему. И хотя выделить что-то конкретное из этого мощного звучания уже невозможно, есть абсолютная уверенность, что звук и формы неразрывно связаны в единое целое. Не будет одного – исчезнет и другое...

##

8 Но сколь бы эффектно и впечатляюще ни выглядела продемонстрированная картина, она все равно оставляет чувство, что внутренний механизм происходящего при этом не становится яснее. Началом всего явно были рассыпавшиеся по зеркалам огоньки света, однако далее их роль почти сразу затуманилась в клубах дыма... Как будто следуя ходу этих мыслей, ваш взор вновь обращается к исходной картине, проникает сквозь тонкий поначалу слой дыма и фокусируется на одном из светящихся огоньков-отражений. По мере того, как размеры объекта увеличиваются, становится лучше видна и его конструкция.

9 По общему виду этого светящегося микромеханизма (или микроорганизма?) можно понять, что перед вами атом материи, но какой-то необычный. То есть тут тоже есть ядро, есть оболочка, однако прочие детали сильно отличаются от того, что рисуют в учебниках. В своих разных ракурсах и фазах пульсаций объект скорее напоминает формы различных типов галактик – спиральных, эллиптических и чего-то еще промежуточного между ними. В том из ракурсов, где атом похож на спиральную галактику, по центру отчетливо видно перемычку-бар. Эта перемычка вращается, словно трубка садового разбрызгивателя воды. Но только в данном случае с концов трубки вылетают не водяные брызги, а капли света в форме крошечных вихревых колец.

Попутно удастся заметить и еще кое-что существенное. Светящиеся капли, разбрызгиваемые с концов перемычки-трубки, ведут себя очень по-разному. Колечки света с одного конца вылетают энергично, летят далеко в разные стороны, переливаясь всеми цветами радуги, а когда попадают в тот или иной атом поблизости, оставляют его на какое-то время светиться одним из своих разноцветных оттенков.

Что же касается брызг-колечек, вылетающих с другого конца трубки, то они – по неясной причине – разлетаются не в стороны, а как бы формируют светящийся след позади атома. Этот след от каждой трубки имеет вид тонкой, спирального вида струи или нити. Причем нитей таких две, и они постоянно сплетаются в двойную спираль, похожую на бесконечную молекулу ДНК. В одном из ракурсов, «сбоку», эта «ДНК атома» тянется от частицы все дальше и дальше «вниз» – перпендикулярно той плоскости, в которой разлетаются разноцветные брызги. Если же смотреть на эту картину «сверху», то нить спирали словно наматывается бесконечным клубком или вихрем внутри частицы – как ее память.

###

По какой причине эту двойную спираль следует воспринимать как «память», поначалу сказать сложно. Во сне вы просто осознаете, что это так. Но затем вы понимаете, что эту же нить можно трактовать и как физический след частицы во времени, фиксирующий в вихревых кольцах ее состояния в каждое из мгновений эволюции. Вопросы о том, почему такая конструкция способна быть устойчивой, возникнут уже после сна. Ну а в ходе этого сновидения разворачивается сцена финала.

Прежде пульсировавшие по-отдельности, атомы приходят в согласованное движение – явно откликаясь на звуки музыки. Постепенно они собираются в форму растения, похожего на папоротник, при этом композиция предстает для обозрения со всех сторон, как будто вращаясь перед вашими глазами. А пока происходит эта процедура формирования, нити памяти соседних атомов переплетаются в косы, так что к концу «самосбора» все эти косы оказываются заплетенными в один общий жгут.

Затем, словно под резким порывом ветра, фигура папоротника вдруг разлетается на части, оставив на месте лишь заплетенный жгут. И тогда этот жгут начинает звучать сам, воспроизводя сначала ту же самую музыкальную тему, а затем и общие визуальные очертания рассыпавшегося растения. Примерно то же самое происходит и с разлетевшимися фрагментами «папоротника», каждый из которых тоже поет их общую песню и становится похож на целое растение, пусть и поменьше размером.

Похоже на голографию, думаете вы. «Ну конечно же, это принцип голографии», – подтверждает уже знакомый, непонятно откуда раздающийся голос. «Суть ухвачена верно, однако в подробностях постичь всю эту механику будет не так-то просто. Но не сказать, что невозможно. В подобных озадачивающих ситуациях восточные мудрецы-суфии порой отправляли ищущего “в Китай” – как символическое место обитания скрытой истины. Почему бы и тебе не поискать ключи к ответам в древних открытиях китайцев? История Китая большая, непременно что-нибудь подходящее отыщется... Короче говоря, пора просыпаться».

Формы музыки [4D]

0 Среди множества редкостей и диковин, обнаруживаемых исследователями в многотысячелетней истории народов Востока, иногда попадаются вещи, очень занятные с точки зрения физики. Вроде, скажем, поющего бронзового тазика-фонтана из древнего Китая времен правления династии Мин (1368-1644).

1 На первый взгляд, этот плоский металлический сосуд с двумя ручками по бокам ничем особенным не отличается от другой посуды своей эпохи, разве что украшающим дно тазика барельефом из четырех рыб, испускающих фонтаны воды. Но если в чашу наливают воду, а мокрыми пальцами начинают ритмично тереть ручки, то таз откликается характерным гудением, а затем вода в нем приходит в заметное волнение, словно закипая. В итоге же, если тереть ручки умело, то из нескольких, обычно четырех точек поверхности – как раз над головами рыб с барельефа – вверх начинают бить струйки воды, словно это не тазик, а небольшой фонтан.

2 Кто и когда придумал столь впечатляющий фокус в древнем Китае, историкам, ясное дело, неизвестно. Зато физикам суть явления представляется вполне понятной и весьма близкой куда более известному застольному трюку с бокалами для шампанского, которые начинают петь, когда по их ободу водят мокрым пальцем. Если с подобным стеклянным бокалом, наполненным водой, аккуратно поэкспериментировать, прикладывая ритмичное трение не к ободу, а к стенке, то можно воспроизвести и возникновение ряби на поверхности, и вообще упрощенную картину того, что делает китайский таз-фонтан.

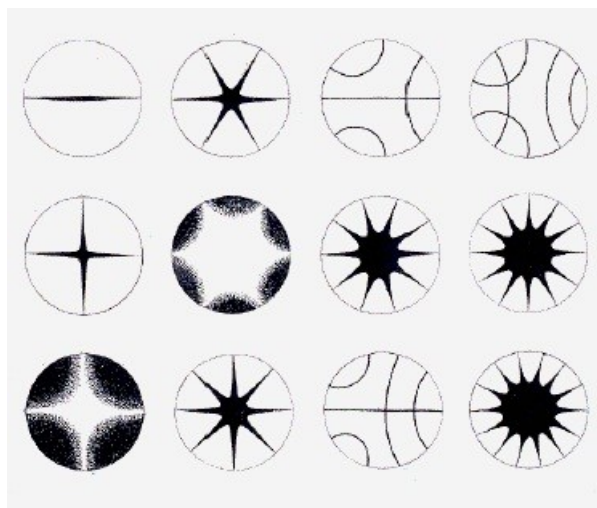
3 Из-за трения мокрых пальцев в сосуде порождаются ритмичные колебания его стенок. Волны этих колебаний передаются по воде от одной стенки сосуда к другой. Дойдя до противоположной стенки, они отражаются от нее и идут обратно, навстречу колебаниям от другой стенки, так что прямые и отраженные волны складываются. Из-за интерференции волн и формы сосуда амплитуды колебаний в определенных точках поверхности многократно возрастают. Образуются так называемые стоячие волны с характерными для них пучностями и узлами. Точки, где вода остается неподвижной, принято называть узлами стоячих волн. Те же места, где вверх начинают бить струйки воды, соответствуют пучностям этих волн. Иначе говоря, необычные фонтаны в поющем китайском тазике оказываются хотя и очень эффектным, но в то же время вполне естественным следствием физики волн.

#

4 Говоря о физической теории стоячих волн, в своем развитии теснейшим образом связанной с акустикой как наукой о звуке, никак нельзя обойти стороной идеи и открытия пионера этого направления, германского физика-самоучки Эрнста Хладни (1756-1827). Сам он, правда, называл себя странствующим артистом-ученым. Что вполне справедливо, поскольку для пропаганды своих открытий Хладни практиковал оригинальную форму гастрольных выступлений, с которыми за несколько десятилетий объездил великое множество городов Европы от Франции до России. В этих выступлениях научные лекции об открытиях в акустике органично сочетались докладчиком с исполнением музыкальных произведений на необычных инструментах собственного изобретения.

Один из знаменитых инструментов Хладни под названием эуфон, то есть «благозвучный» в переводе с языка древних греков, работал на основе того же, в сущности, принципа, что и поющий китайский тазик. Эуфон представлял собой набор небольших стеклянных трубочек, издававших звуки под действием продольных движений, которые совершали по их поверхности смоченные пальцы исполнителя. Существенно усиленное резонатором, приятное и красивое звучание трубочек эуфона производило на современников большое впечатление. Благодаря публикациям в прессе изобретатель и его новый инструмент стали быстро обретать известность поначалу в Германии, затем в Англии и других странах. Этот успех, собственно, и послужил начальным толчком к идее о гастрольных поездках, сочетающих музыку и науку. Благо и в научной области Хладни изобрел весьма эффектные опыты-демонстрации.

В тот же самый период, когда им был придуман и сконструирован эуфон, ученый сделал также свое главное открытие в акустике, вошедшее в историю как «звуковые фигуры Хладни». Подробное описание этих фигур появилось в первом научном сочинении исследователя «Открытия в теории звука»[1], опубликованном в 1787 году. В работе были приведены рисунки красивых орнаментов и узоров из симметричных фигур, образующихся под действием скрипичного смычка на плоском листе металла, поверхность которого посыпана мелким сухим песком. В случае круглой пластины скопления песка вдоль узловых линий могут давать узоры круговой или радиальной структуры. На пластинах же прямоугольной формы или с несколькими прямыми краями узловые линии ориентированы по направлениям, параллельным сторонам или диагоналям. Меняя точки закрепления пластин и места их возбуждения смычком, Хладни получал разнообразные формы фигур, соответствующие различным собственным частотам колебаний пластин.



Фигуры Хладни

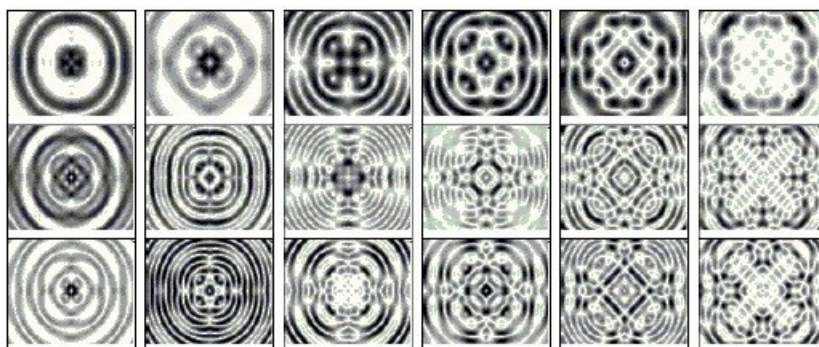
Теоретическое объяснение для всей этой красоты будет получено лишь в XIX веке, значительно позже экспериментального открытия фигур. Придуманная же Эрнстом Хладни техника для визуализации звука и образуемых им геометрических форм не только чрезвычайно впечатлила современников, но и плодотворно используется по сию пору. Разные вариации этого метода применяются, скажем, мастерами, разрабатывающими новые конструкции корпусов для акустических инструментов вроде гитар, скрипок и виолончелей. Или инженерами – для изучения собственных

частот у мембран телефонных трубок, микрофонов и других электроакустических устройств. Вместо смычка, правда, с XX века стали предпочитать динамик громкоговорителя или пьезокристаллический элемент, подавая на них фиксированную частоту от электронного генератора сигналов. Благодаря этому обеспечиваются более стабильные и точно настраиваемые частоты колебаний.

##

8 С тех пор, как фигуры Хладни вошли в повседневный рабочий инструментарий целого ряда профессий, люди почти перестали обращать внимание на красоту и богатство этого явления. Считая его, вероятно, уже полностью изученным и постигнутым. Среди тех немногих, кто не утратил способности удивляться, оказались по преимуществу художники, артисты и экспериментаторы-самоучки. Благодаря их энтузиазму и общему прогрессу технологий во второй половине XX века удалось получить множество новых интереснейших результатов в физике фигур Хладни. Что продемонстрировало тесную связь форм, порождаемых звуком, со множеством смежных областей науки, включая теорию хаоса, биологию и квантовую физику.

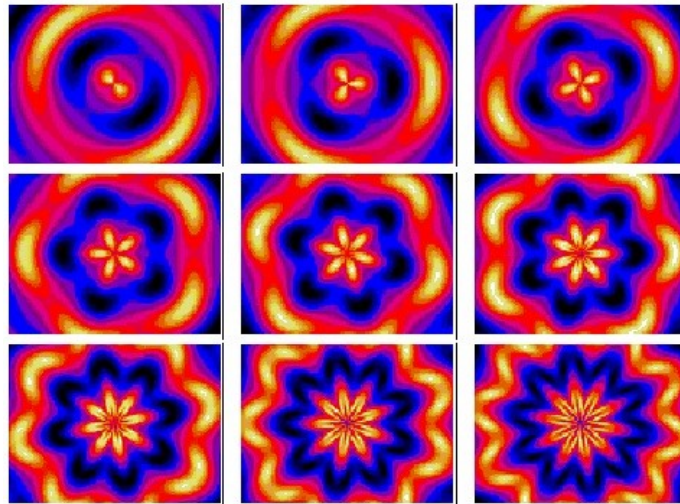
9 В течение 1950-60-х годов поистине грандиозное множество разнообразных экспериментов провел в этой области швейцарский врач и художник Ханс Йенни (1904-1972). Для своих опытов Йенни сам конструировал приборы, в широком диапазоне колебаний изучая поведение различных веществ от песка, пудры и мельчайших спор растений до воды, вязких жидкостей и густых паст. Ошеломляющее богатство получаемых при этом структур, форм и режимов их движения в вибрирующей среде произвели на исследователя столь мощное впечатление, что он был уверен в открытии самостоятельной научной области. Свою новую науку Йенни назвал Киматикой (от греческого «кима» - волна), желая подчеркнуть ключевую роль волновых эффектов в исследуемых явлениях. Такое же название, «Киматика: структура и динамика волн и вибраций», получила книга экспериментатора, вышедшая в 1967 году с итоговым обобщением его результатов.[2]



Звуковые структуры Йенни из песка

а Среди наиболее существенных эффектов, отмеченных в опытах Йенни и без проблем воспроизводимых в других лабораториях, можно отметить такие. Для жидкостей и мелкодисперсных пудр процессы образования фигур Хладни в сравнении с вибрациями песка идут с точностью до наоборот. Иными словами, при колебаниях жидкости на мембране вода скапливается в зонах пучностей или наибольших вибраций, уходя из неподвижных узловых линий, где обычно скапливается песок. В своих экспериментах

Йенни использовал пьезокристаллические осцилляторы, что позволяло ему точно задавать желаемые частоты и амплитуды синусоидальных колебаний. Как правило, постепенное увеличение частоты вибраций приводило к последовательному возрастанию сложности и числа элементов в формируемых структурах. Переход от одной фигуры к другой проходил скачкообразно – устойчивая структура с ростом частоты рассыпалась в хаотическую бесформенную массу, а затем при следующей «частоте порядка» формировалась фигура более сложной структуры.



Звуковые структуры Йенни в капле воды

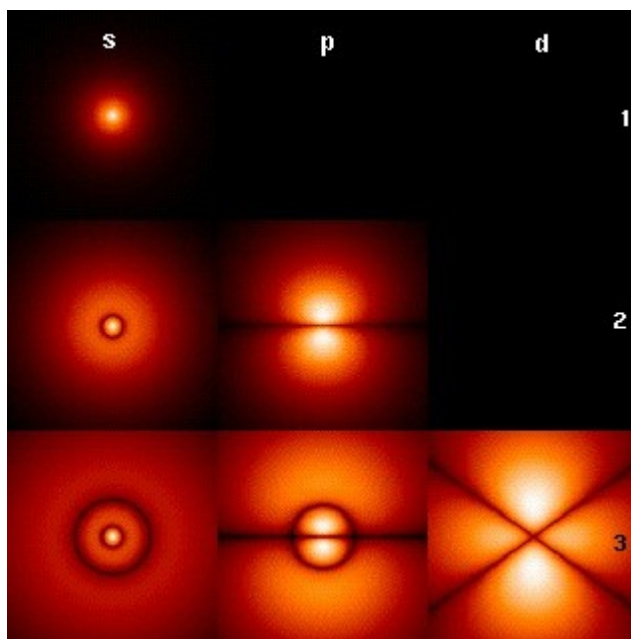
b Как правило, образующиеся при фиксированных параметрах фигуры имели устойчивый статичный характер. Но кроме того, Йенни обнаружил, что имеются определенные сочетания из собственных свойств материала и частоты / амплитуды колебаний мембраны, при которых порождаемые формы могли изменяться и находиться в движении непрерывно – несмотря на постоянные параметры системы. Для случая жидкостей, в частности, вибрации порождали вихревое движение – спирали и волнообразные структуры в состоянии непрерывной циркуляции.

###

c Впечатляющие, но дилетантские по сути эксперименты Ханса Йенни остались практически незамеченными в мире большой науки. Зато их с воодушевлением стали развивать художники, дизайнеры и прочие любители-энтузиасты, уловившие здесь несомненную эстетическую красоту и чуть ли не безграничный потенциал для творчества. Фигуры, порождаемые с помощью звука, демонстрируют удивительное разнообразие форм и гармоничность пропорций.

d В этих формах без труда можно распознать структуры, повсеместно встречающиеся в природе – в строении раковин, цветов, кактусов, других растений и животных. Особенно простейших организмов или животных, обитающих в воде, вроде медуз или морских звезд. Параллели с творениями природы становятся особо убедительными, когда экспериментаторам удается формировать не плоские, а объемные фигуры в трехмерном пространстве. Например, заполняя дымом ящик с прозрачными стеклянными стенками и подбирая особые звуки, удавалось формировать в воздухе структуры, очень похожие на листья папоротника.

Другое плодотворное направление для экспериментов с фигурами Хладни связано с лазерными эффектами в шоу-бизнесе. Уже довольно давно, на рубеже 1960-1970-х годов было установлено, что отраженный от объектов и рассеянный в среде свет лазера формирует наглядные интерференционные картины, аналогичные фигурам Хладни. Причем для колебаний света, подобно жидкостям и газам, такие фигуры образуются по принципу, обратному вибрациям песка на мембране. То есть наиболее яркие участки света приходятся не на узлы стоячих волн, а на пучности колебаний, иначе именуемые антиузлами. Поскольку фигуры Хладни при модуляции лазерного света музыкой испытывают постоянную трансформацию, это позволило создать весьма эффектную проекционную аппаратуру для сопровождения эстрадных программ и лазерно-дымовых шоу.



Электронные оболочки в атоме

Наконец, говоря о полезных и наглядных приложениях фигур Хладни, никак нельзя обойти стороной квантовую механику. Ибо здесь модель акустических стоячих волн и собственных резонансных колебаний оказывается чрезвычайно удобной и внятной аналогией, поясняющей физику электронных оболочек в атоме. Электрон, как известно, можно представлять в виде бегущей волны энергии. А в атоме эта волна оказывается замкнута притягивающим потенциалом ядра. Иначе говоря, подобна колеблющейся струне гитары. И подобно тому, как корпус гитары резонирует лишь на дискретный набор звуков с определенными длинами волн, так и в атоме электроны могут занимать лишь определенные орбиты, соответствующие стоячим волнам или режимам собственных колебаний атома. Поэтому вовсе не случайность, что некоторые из фигур Хладни, при определенных частотах звука образуемые в круглой емкости с жидкостью, по своей форме аналогичны электронным оболочкам в атоме.

[1] E. F. F. Chladni, «Entdeckungen über die Theorie des Klanges», Leipzig 1787, Reprint 1980

[2] Hans Jenny, «Kymatik - Wellen und Schwingungen mit ihrer Struktur und Dynamik / Cymatics - The Structure and Dynamics of Waves and Vibrations», 1967

Кольца памяти [4Е]

0 Среди важнейших технологических достижений, освоенных Востоком раньше Европы, обычно принято упоминать «четыре великих открытия Китая»: бумагу, книгопечатание, порох и, конечно же, компас. Точную дату рождения компаса на основе намагниченной иглы по естественным причинам установить уже невозможно. Однако достоверно известно, что с необычными магнитными свойствами железа – как правило самородного происхождения – в Китае начали экспериментировать по меньшей мере две тысячи лет назад.

1 О том, что многие из магнитных самородков имели метеоритное происхождение, стало известно значительно позднее. Но, возвращаясь к истории европейской науки, нельзя не отметить, что исследование метеоритов было второй главной страстью Эрнста Хладни. Который в памяти последующих поколений остался не только в качестве родоначальника акустики, но и как отец новой науки метеоритики. До появления исследовательских работ Хладни, весьма логичных в аргументах и революционных в своих выводах, ученые Европы в массе своей вообще не признавали, что из космоса на землю могут падать камни. Ибо к концу XVIII века авторитет ньютоновых законов в науке был уже непоколебим, а согласно Ньютону – как считалось – между движущимися в космосе планетами и звездами находится пустое пространство, где никаких камней быть не должно.

2 Первую статью с идеей о космическом происхождении сильно оплавленных камней, нередко содержащих железо, Хладни опубликовал в 1794 году. В целом же, за последующие 30 лет ученый подготовил в этой области свыше полусотни работ, включая несколько каталогов с историческими свидетельствами о падении метеоритов в разные эпохи. В итоге хладниева теория о «метеорных камнях» как о мелких осколках больших событий, происходящих в космосе, довольно быстро обрела сторонников поначалу среди астрономов и физиков, а затем и среди минералогов.

3 Было бы сильным преувеличением говорить, будто правильное разрешение Эрнстом Хладни загадки о метеоритах с их магнитных свойствами повлияло на прогресс в исследованиях электромагнетизма. Но с другой стороны, совершенно точно известно, что еще один великий самоучка, англичанин Майкл Фарадей, был чрезвычайно впечатлен акустическими экспериментами с фигурами Хладни. Ибо в этих устойчивых волновых формах он усматривал явные аналогии и объяснения тем феноменам, что наблюдались в опытах с электричеством и магнетизмом.

#

4 Важнейшее открытие Фарадея – явление электромагнитной индукции – было сделано, как все знают из учебников, в 1831 году. Значительно меньше известно, что в этот же год ученый интенсивно изучал физику звука. В частности, его интересовали механизмы образования устойчивых статичных структур в результате динамического, постоянно меняющегося воздействия волн. Интуиция говорила Фарадею, что металлические опилки, рассыпанные по листу бумаги над электромагнитом и складывающиеся в характерный узор силовых линий, управляются примерно той же физикой волн, что и фигуры Хладни. В ходе собственных опытов им были открыты так называемые «волны Фарадея» – стоячие волны в форме регулярных решеток из полос, шестиугольников или квадратов, образующихся в вертикально вибрирующей жидкости. Отвлекаясь чуть в сторону, можно заметить, что в такой же, по сути дела, экспериментальной установке спустя полтора века будут открыты осциллоны в гранулированной среде.

5 В опытах же с фигурами Хладни особый интерес Фарадея вызывало явление акустической индукции. То есть когда смычком возбуждали одну, чистую металлическую пластину, а рассыпанный песок начинал вибрировать и формировать фигуры на другой пластине, расположенной поблизости. Нечто очень похожее, по убеждению ученого, должно было происходить при экспериментах с электрическими контурами и магнитами.

6 То, что ток в проводнике отклоняет магнитную стрелку, было известно уже около 10 лет из опытов датчанина Ханса Эрстеда. Однако заставить течь ток в контуре, находящемся рядом с другим проводником под током, пока не удавалось никому. Собственные эксперименты Фарадея с двумя проводами, спирально намотанными на деревянную основу, тоже не дали почти никакого результата. Кроме, разве что, чуть заметного вздрагивания стрелки гальванометра во вторичной цепи, когда включали ток в первичной обмотке. И вот тут Фарадею пришла в голову блестящая идея – намотать изолированные провода на противоположные половины массивного железного кольца. Дабы оно выступало в качестве общего сердечника электромагнита и усиливало индуктивное воздействие одной обмотки на другую. Начиная свой великий опыт 29 августа 1831 года, Фарадей вряд ли мог предположить, что это кольцо, прочно прикрепленное им к обычному стулу, в XXI веке будут демонстрировать посетителям британского Королевского института как памятную реликвию или важный музейный экспонат.

7 Планируя эксперимент, Фарадей ожидал, что при замыкании цепи в первой обмотке будет порождена «электро-тоническая волна» (концепции «поля» тогда еще не было), и эта волна должна себя проявлять как отклонение стрелки гальванометра во второй цепи. Он замкнул первый контур и с глубоким удовлетворением отметил, что стрелка гальванометра не просто отклонилась, а завертелась, сделав несколько оборотов. Значит, ток во второй обмотке действительно удалось индуцировать. Но вот чего Фарадей совершенно не ожидал так это последующего сюрприза. Выключив ток, он был поражен, увидев, что стрелка гальванометра с той же интенсивностью скакнула и закрутилась в противоположном направлении. Иначе говоря, выходило, что при размыкании первичной цепи во вторичной обмотке также порождался индукционный ток, равный и противоположный по направлению исходному.

##

8 Открытие электромагнитной индукции предоставило Фарадею столь богатый материал для дальнейших экспериментов, что в течение нескольких последующих лет им были обнаружены и продемонстрированы многие важнейшие принципы, поначалу легшие в основу электромоторов и динамо-машин, а затем и радиоэлектроники. Своеобразный итог этой череде великих открытий был подведен в 1845 году, когда исследователь после долгих поисков сумел-таки продемонстрировать давно подозревавшееся им взаимодействие магнетизма и света – в явлении, носящем сегодня имя «эффект Фарадея». Суть этого феномена в том, что плоскость поляризации света можно вращать, в надлежащем направлении воздействуя на среду магнитным полем.

9 Ровно столетие спустя, в 1945 году произошло другое событие, несомненно важное для развития темы о Китае, магнитах и кольцах памяти. В этот год из Шанхая в Америку перебрался молодой и талантливый китайский инженер Ан Ванг (1920-1990), специализировавшийся на электронике. После окончания аспирантуры Гарварда и защиты диссертации, Ванг остался работать в совсем новой по тем временам компьютерной лаборатории университета. Где вместе с давним однокашником еще по учебе в Китае, Вэй-Донгом Ву, они изобрели в 1949 году очень важную для вычислительной электроники технологию, названную авторами «устройство управления передачей импульсов».[2]

Важность технологии была в том, что она открывала дорогу к созданию сравнительно быстрой, емкой и удобной компьютерной памяти на основе ферритовых сердечников, то есть миниатюрных колец из ферромагнитного керамического материала. Привлекательные свойства ферритовых сердечников – намагничиваться под действием тока в расположенном рядом проводнике и сохранять намагниченность сколь угодно долго – были известны уже давно. И естественным образом привлекали интерес инженеров-конструкторов, в 1940-е годы энергично экспериментировавших с самыми разными технологиями в поисках эффективного решения для электронной памяти компьютера.

Ферритовый сердечник без проблем перемагничивался небольшим током в проводе, проходящем через кольцо, так что намагниченность по часовой стрелке можно было считать двоичной 1, а намагниченность в обратном направлении – двоичным 0. Другой провод, пропущенный через кольцо, мог эту информацию считывать. Главная же проблема была в том, что операция считывания всегда оказывалась деструктивной – понять, как именно кольцо намагничено, можно было лишь другой операцией перемагничивания, уничтожающей прежнее значение. Ну а разработка Ванга (его друг Ву по болезни вскоре отошел от дел) проблему снимала. Новое устройство позволяло организовать импульсы считывания-записи сердечников таким образом, что информацию в памяти можно было сохранять.

###

Изобретение китайцев, правда, в Гарварде оказалось не ко двору, поскольку компьютерные исследования там вскоре свернули. Но зато устройство оказалось очень кстати в другом научном центре, Массачусетском технологическом институте, где как раз в это время – на рубеже 1940-1950-х годов – создавали воистину новаторский компьютер по заказу Военно-морских сил США. В отличие от всех предыдущих вычислительных машин, строившихся под решение конкретной проблемы, в новом компьютере новые задачи можно было загружать извне через программы, что обеспечивало универсальность системы. Компьютер мог не только обсчитывать заранее заготовленные данные, но и обрабатывать их в реальном масштабе времени, гибко реагируя на разную входную информацию. Для представления же результатов на выходе здесь впервые был применен видеодисплей.

Столь выдающаяся система получила, что надо отметить особо, название Whirlwind (Вихрь), и по мнению специалистов именно ее можно считать прообразом всех современных универсальных компьютеров. Впервые запущенный в работу в 1951 году на основе ламповой памяти, Whirlwind подвергли существенной модернизации в 1953. Вместо громоздкой и постоянно перегревающейся памяти на электронных лампах в новой машине установили еще одну новинку – матрицы памяти на ферритовых сердечниках. Благодаря этому быстродействие системы повысилось примерно вдвое, что сделало Whirlwind одним из самых быстрых компьютеров своего времени.

К началу 1960-х годов матрицы быстрой памяти на сердечниках удалось сделать дешевыми настолько, что они понемногу вытеснили остальных конкурентов и стали главной технологией памяти в компьютерах. Это доминирование продолжалось примерно полтора десятилетия, до тех пор, пока на смену ферритовым сердечникам в 1970-е не пришли модули памяти на основе полупроводниковых микросхем. Среди примечательных особенностей памяти на ферритовых сердечниках было то, что одним из важных факторов в быстром удешевлении технологии было постоянное уменьшение размеров ферромагнитных колец. Если в 1950-е годы диаметр кольца обычно составлял несколько миллиметров, то к началу 1980-х колечки имели столь микроскопический размер, что были уже почти невидимы для невооруженного глаза.

Можно сказать, что прогресс этих элементов памяти развивался по закону Мура еще до того, как данный закон был сформулирован для полупроводниковых схем в середине 1960-х. Согласно этому эмпирически выведенному правилу Гордона Мура, число транзисторов на единице площади схемы удваивается примерно каждые 18 месяцев. За полувековую историю закон Мура доказал свою справедливость не только для микропроцессоров, но также для чипов памяти, и – что особо примечательно – для памяти на жестких магнитных дисках. Где ячейками для хранения битов информации служат микроскопические магнитные домены, а перезапись битов сводится к перемагничиванию крошечных магнитных вихрей в этих доменах – как и в ферритовых кольцах на заре компьютерной техники.

[1] John Tyndall, «Faraday as a Discoverer», the fifth edition, 1893

[2] An Wang, «Pulse transfer controlling device», U.S. Patent # 2 708 722, filed October 1949, issued May 1955

Память формы [4F]

Среди множества открытий и технологий, отмечаемых историками в культуре Древнего Китая, особое место занимают так называемые «волшебные зеркала» из бронзы. Как правило, это круглой формы металлическая пластина, у которой с одной стороны имеется гладкая и тщательно отполированная зеркальная поверхность, а с другой стороны нанесен барельеф с каким-либо рисунком или иероглифической надписью.

0 Иначе говоря, внешне предмет похож на вполне обычное зеркало, какие применяли повсюду до появления более совершенных стеклянных. Но тут, если световой луч, отраженный полированной бронзой, спроецировать на лист бумаги или экран, то в круглом пятне света отчетливо проступает рисунок, нанесенный с обратной стороны зеркала. Чем создается сильнейшая иллюзия, будто явно металлическое изделие обладает свойством прозрачности.

Одно из самых древних зеркал такого рода, обнаруженное археологами при раскопках гробницы высокопоставленного вельможи в провинции Ухань на юге Китая, датируется примерно 500 годом до новой эры. Мастера, создававшие необычные зеркала, всегда тщательно оберегали секрет производства, из поколения в поколение передавая его лишь доверенным

1 ученикам. С течением веков это освоенное тайной искусство переместилось также на Японские острова, а к началу XIX века «магические зеркала» из Японии и Китая стали весьма популярны в Европе. Однако, сколь это не поразительно, вплоть до начала 21 века науке не удавалось дать исчерпывающее объяснение того, в чем же заключается секрет бронзового волшебного зеркала.

На первый взгляд, даже оптические свойства этого предмета противоречат, в некотором смысле, общеизвестным законам физики. Из правил классической оптики следует, что отражающему зеркалу, проектирующему на экран действительное изображение подобно киноаппарату, положено иметь вогнутую форму. Если же для формирования изображения

2 используется прозрачная линза, то она, напротив, должна быть выпуклой. Все исследования китайских магических зеркал показывают, что они обладают не вогнутой, как можно было бы ожидать, а слегка выпуклой поверхностью – имея наибольшую толщину в середине и утончаясь к краям. При этом замечено, что четкость изображения, проектируемого зеркалом, не зависит от расстояния между предметом и экраном.

За полтора с лишним столетия научных исследований данной загадки написано множество работ с самыми разными объяснениями феномена. Каждое из объяснений выглядит вполне разумно и по-своему убедительно. Кто-то считает, что все дело в протравливании лицевой стороны кислотой перед началом полировки. Другие полагают, что все дело в хитром

3 комбинировании бронзы разной плотности. Третьи уверены, что литой барельеф с тыльной стороны в процессе полировки и утончения пластины незаметно для глаза проступает на стороне лицевой. Короче говоря, недостатка в умных объяснениях явно нет, однако все они противоречат друг другу и при этом не способны убедительно опровергнуть конкурирующие гипотезы.[1]

#

Иным путем пошли в одном из современных университетов Китая, где просто попытались воссоздать максимально точную копию древнего волшебного зеркала из Шанхайского музея. Сплав бронзы изготовили в тех же пропорциях, барельеф отлили по форме оригинала, а затем полировкой довели зеркало до точно такой же толщины и выпуклости. Как только зеркало-копию осветили, тут же стало ясно, что «волшебство» удалось на славу – в отраженном пятне света отчетливо проступили формы рисунка с тыльной стороны. Правда, как именно это получилось, яснее от эксперимента так и не стало... Имеются, кстати, исторические свидетельства о том, что и в древности зеркальных дел мастера, начиная свою работу, и сами зачастую не знали, получится у них в итоге ординарная вещь или же маленькое чудо.

По аналогии с этим казусом уместно вспомнить совсем другой физический эксперимент из иной области исследований, сосредоточенной на высоковольтных электрических разрядах. Где тоже однажды столкнулись с загадкой неизвестно откуда берущихся изображений – имеющих понятную форму, но при этом отличающихся нерегулярностью появления и крайне трудно поддающихся объяснениям. Речь идет об оригинальном способе фотографии, который в конце 1930-х годов изобрел советский инженер-самоучка Семен Кирлиан (1898-1978). Однажды, занимаясь ремонтом медицинской техники, Кирлиан обратил внимание, что в аппарате высокочастотной электротерапии между кожей пациента и электродом устройства наблюдается характерное свечение. Задавшись целью сфотографировать этот светящийся ореол, вызываемый высоковольтным коронным разрядом, он собрал аналогичный аппарат и занялся экспериментами.

В итоге Кирлиану удалось разработать весьма продвинутую технологию контактной фотографии, где без всякой камеры, сразу на фотопленку в мелких деталях, а затем и в цвете фиксировались ореолы свечения вокруг самых разных предметов живой и неживой природы. Вместе с освоением технологии начались и открытия, среди которых одним из самых значительных стала вполне очевидная зависимость между картинкой свечения и физическим состоянием биологического организма. Иначе говоря, метод Кирлиана позволял по характеру свечения отличить, скажем, лист больного растения от здорового, хотя внешне они выглядели совершенно одинаково. Или, другой пример, по свечению пальцев различать эмоциональное состояние человека, радостное оно или подавленное.

Но самая, пожалуй, большая неожиданность, с которой столкнулись исследователи, занимающиеся фотографией по методу Кирлиана, получила название «фантом листа». Суть этого феномена в том, что если от листа растения отрезать фрагмент, а затем сделать снимок оставшейся части методом высокочастотной электрофотографии, то на снимке может получиться лист в своей полной, неповрежденной форме. Отрезанная часть, правда, выглядит более прозрачной, однако и форма, и прожилки в структуре «фантома» воспроизводят утраченный фрагмент вполне убедительно. Каким-то образом лист некоторое время продолжает помнить свою исходную форму, словно имея в своей основе что-то типа голограммы, невидимой при обычном свете.



Фантом листа

##

8 Хотя снимки загадочного фантома листа за многие годы экспериментов были неоднократно получены в лабораториях СССР и других стран, феномен по сию пору принято считать сомнительным и недостоверным. В первую очередь, потому что воспроизвести его удастся далеко не всегда. Экспериментаторы, ищущие положительный результат, давно знают, что чаще всего успех достигается с молодыми листьями в период весеннего роста. В обычных же условиях опыта с произвольно взятым листом результат чаще всего оказывается отрицательным. А коль скоро современная физика объяснить фантом листа не в состоянии, большинство ученых предпочитает здесь опираться на негативные результаты. Попутно стараясь игнорировать и другие необычные снимки по методу Кирлиана, вроде тех, что показывают на теле человека точки акупунктуры, с древности используемые в восточной медицине.

9 Так что в виде, очищенном от всех сомнительных и неудобных результатов, кирлиановская электрография представляется как бы малоинтересной и не содержащей ничего особо нового. Поскольку в основе своей она опирается на куда более ранние работы Николая Теслы в XIX веке и Георга Лихтенберга в веке XVIII. Про грандиозные и по сию пору недооцененные открытия Теслы имеет смысл говорить отдельно. А вот вспомнить о личности позабытого ныне Георга Кристофа Лихтенберга (1742-1799) – талантливого германского физика и яркого мыслителя – будет очень кстати.

a На протяжении четверти века своей не очень долгой жизни Лихтенберг был профессором математики и физики в Геттингенском университете. Там он чуть ли не первым в Европе стал сопровождать чтение лекций наглядными экспериментами-демонстрациями. Эффектные опыты ученого с электричеством производили на аудиторию столь сильное впечатление, что специально для посещения лекций Лихтенберга в Геттинген, бывало, приезжали люди из других стран.



Фигуры Лихтенберга

Самым знаменитым, вероятно, собственным открытием ученого стали так называемые фигуры Лихтенберга – причудливо ветвящиеся картины поверхностного электрического разряда, возникающие при проскакивании искры высокого напряжения с электрода на пластину из непроводящего материала. Лихтенберг нашел остроумный способ фиксации этих картин, посыпая пластину мелким порошком из диэлектрического материала, вроде крошек смолы, а затем делая оттиск на бумагу. Этот же самый принцип положен в основу современных аппаратов ксерокопирования, поэтому Лихтенберга ныне принято считать не только родоначальником ксерографии и кирлиановских снимков, но заодно еще и пионером в исследованиях физики плазмы.

b

###

Среди хороших знакомых Георга Лихтенберга были многие из его великих современников, начиная с Гете и Канта. Однако совершенно особое место этот ученый занял в жизни Эрнста Флоренса Хладни, по собственным словам которого Лихтенберг дважды сыграл роль «повивальной бабки» для его собственных открытий. Сначала, непосредственно под впечатлением от электрических фигур Лихтенберга, были открыты акустические фигуры Хладни – когда исследователь решил посмотреть, как будут реагировать пластины, посыпанные порошком, если по их краю провести скрипичным смычком.

c

А еще через несколько лет, уже при личной встрече Хладни и Лихтенберга в Геттингене, между учеными зашел оживленный разговор о загадочной природе огненных шаров-болидов в атмосфере. С педантичностью юриста Хладни раскритиковал многочисленные слабости и противоречия доминировавшего в ту пору объяснения болидов как атмосферно-электрического явления наподобие шаровых молний. Под напором этих аргументов Лихтенберг вдруг предположил, что в таком случае огненные шары должны порождаться чем-то чуждым Земле, что приходит в ее атмосферу извне. Эта крайне странная идея настолько поразила Хладни, что он, следуя совету Лихтенберга, взялся за изучение проблемы болидов всерьез. Став в итоге родоначальником науки о метеоритах.

d

Посмертно изданные записки Лихтенберга, которые тот в шутку именовал «бесполезными», в XIX веке принесли ему славу блестящего сатирика, мыслителя и психолога. Но почему-то, правда, лишь в германоязычном мире. С высочайшим уважением о нем отзывались Артур Шопенгауэр и Фридрих Ницше, несколько позже Людвиг Витгенштейн. А Зигмунд Фрейд, ^e начавший читать Лихтенберга с юных лет, цитировал его афоризмы и наблюдения на протяжении всей последующей жизни, считая предтечей психоанализа. Уместно вспомнить, что Лихтенберг, в отличие от большинства современников, регулярно записывал и анализировал свои сновидения, отметив в дневнике следующее: «Я знаю из неопровержимого опыта, что сны ведут к самопознанию».[2]

Неким замысловатым образом эта фраза является важнейшим связующим звеном между идеями Лихтенберга, во-первых, знаменитыми вещами снами Рене Декарта о вихрях в природе, во-вторых, и примечательными работами современного английского физика М. Берри, в-третьих. Последний из ученых этого ряда, сэр Майкл Берри из Бристольского университета, ^f занимается геометрическими аспектами физики волн. Среди множества полученных им важных результатов здесь, в частности, надо отметить объяснение ярких светящихся колец, которые в качестве тени отбрасывают на дно реки небольшие водовороты на поверхности воды [3]. А также – сравнительно недавняя публикация 2006 года – внятное и убедительное объяснение оптического фокуса с появлением изображения в луче от волшебного китайского зеркала [4]. Но чтобы распутать весь этот клубок взаимосвязей, начать удобнее всего с Декарта и его снов.

-
- [1] Saines G. and Tomilin M.G.: «Magic mirrors of the Orient», J. Opt. Technol. 66 758-765 (1999); A. Kwang-Hua Chu, «Comments on 'Oriental magic mirrors and the Laplacian image'», arXiv:physics/0512139 (2005)
- [2] Tomlinson, C. «G. C. Lichtenberg: Dreams, Jokes, and the Unconscious in Eighteenth-Century Germany». Journal of the American Psychoanalytic Association, 40:761-799 (1992)
- [3] Berry M V & Hajnal J V, 'The shadows of floating objects and dissipating vortices'. Optica Acta 30, 23-40, (1983)
- [4] Berry M V, 'Oriental magic mirrors and the Laplacian image', Eur.J.Phys, 27 109-118 (2006)