

idb. КНИГА НОВОСТЕЙ

Е - между сном опытом

01:01 Механика гранул

[8♦] Пустота полная секретов

[Сны Декарта](#) [50]

[Одиссея вихревой губки](#) [51]

[Повторы истории](#) [52]

[Идентификация осциллона](#) [53]

[Q♦] Иллюзия понимания

[Как это летает?](#) [54]

[Как это действует?](#) [55]

[Как это крутится?](#) [56]

[Как это связано?](#) [57]

[10♣] Иллюзия силы

[Скрытые свойства СМ](#) [58]

[Словно один сквозь другого](#) [59]

[Кризис непонимания](#) [5A]

[Почти мистика](#) [5B]

[J♣] Картезианские игры

[Принцип исключения Гюйгенса](#) [5C]

[Принцип относительности Максвелла](#) [5D]

[Принцип дуализма Хайда](#) [5E]

[Принцип неопределенности Гельмгольца](#) [5F]

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

<http://KNIGANEWS.ORG>

[8♦] Пустота полная секретов

Сны Декарта [50]

1600-е годы для истории науки – это столетие, в которое был заложен фундамент всей современной физики. Важнейшие экспериментальные результаты, полученные Кеплером и Галилеем в первые десятилетия века. Новая, ориентированная на естественные причины и научные знания, а не на церковную схоластику, философия Декарта, разработанная им в середине столетия. Плюс появившиеся еще через несколько десятилетий основополагающие труды Ньютона. Эти великие свершения XVII века, без преувеличения, положили конец эпохе средневековья и определили суть европейской науки на последующие времена. Но в тот же основополагающий период в физику оказалась заложена и серьезнейшая проблема, удовлетворительным образом не разрешенная вплоть до сегодняшних дней.

Чтобы в общих чертах увидеть, как это происходило, понадобится вернуться в год 1619. Германский астроном Иоганн Кеплер в это время публикует свой труд *Harmonices mundi* (Гармонии мира), где впервые сформулирован третий из открытых им законов – или, пользуясь терминологией самого автора, «гармония» в движении небесных светил – о постоянном соотношении, связывающем периоды обращения планет по своим орбитам с их расстоянием до Солнца. Итальянец Галилео Галилей к этому времени уже успел (в 1616 г.) получить из Ватикана первое – для начала тайное – предупреждение, запрещающее ему публично выступать в поддержку еретической идеи Коперника о гелиоцентрическом устройстве мира. Однако Галилей пока не ощущает всю серьезность угрозы и в 1619 году вступает (правда, через своего ученика) в острую дискуссию со священником-иезуитом Орацио Грасси, доказывая, что и кометы, подобно планетам, также обращаются вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

Кеплер и Галилео с понятным интересом и большим уважением относятся к хорошо согласующимся работам друг друга, иногда обмениваясь письмами о своих научных результатах. При этом ученые, естественно, пока еще ничего не знают, да и не могут знать, о молодом и не особо знатном французском дворянине по имени Рене Декарт. Который к своим 23 годам ничем выдающимся отличиться еще не успел, имея за плечами учебу подростком в колледже иезуитов Ла Флеш, степень бакалавра права от университета Пуатье, да еще полтора года обучения наукам математики и фортификации в Голландии. Занятый поисками себя, Декарт путешествует по Европе и, явно не испытывая тяги к военной службе, но следуя традициям своего времени, с началом Тридцатилетней войны вступает добровольцем в баварскую армию, в рядах которой оказывается на берегах Дуная в городе Ульме.

Здесь, в течение ночи с 10 на 11 ноября 1619 года, Декарт видит три удивительных сна, которые меняют всю его последующую жизнь. В первом из этих снов сильнейшей силой вихрь вырывает Декарта из укрытия в стенах церкви или колледжа, унося его в направлении некоего третьего прибежища, которое никаким ветрам уже не по силам ни поколебать, ни сдвинуть с места. Во втором своем сне он наблюдает мощную бурю глазами ученого и замечает, что как только удастся рассмотреть действительную

природу этого урагана, то тот уже не способен причинить ему никакого вреда. В третьем сне Декарт читает поэму позднего латинского автора Авсония, начинающуюся словами «Какой мне следовать дорогой жизни?». Пробудившись от этих снов, Декарт ощутил сильнейшее чувство небывалого эмоционального подъема и энтузиазма, сопровождаемого абсолютной уверенностью, что ему открылся ключ к истинному основанию всех наук. Сопоставляя эту картину с аналогичными событиями в жизни других людей, можно говорить, что озарение Декарта по ощущениям было сродни внезапному просветлению основателей религий.

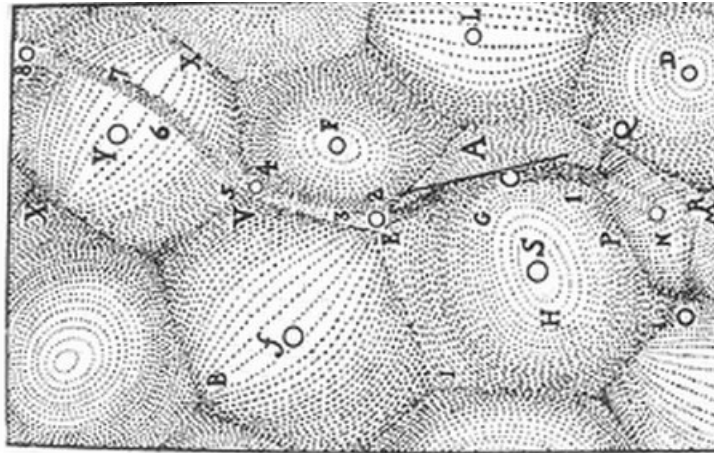
#

4 Уже к 1620 году он разрабатывает собственный универсальный метод дедуктивных рассуждений, применимый ко всем наукам, поставив перед собой грандиозную цель – с помощью этого «математически строгого» подхода проанализировать и объяснить, ни много ни мало, все устройство вселенной в ее мельчайших подробностях. Сегодня столь наивные юношеские притязания можно воспринимать исключительно юмористически, однако Декарту его непоколебимая уверенность в безграничную силу разума помогла создать целый ряд феноменально популярных трудов, которые более чем на столетие захватили умы образованных людей Европы.

5 Взявшись объяснить естественными причинами все явления и взаимодействия, наблюдаемые в природе, Декарт первым ввел в науку понятие всепроникающего эфира, постулировав, что тот имеет механические свойства. До этого причины взаимодействия тел, не находящихся в непосредственном контакте друг с другом, – вроде притяжения магнитов или влияния Луны на морские приливы и отливы, – было принято объяснять неким таинственным «действием на расстоянии» с непостижимым уму механизмом работы. Въедливый Кеплер, к примеру, не мог принять столь сомнительную идею и склонялся к мысли, что пространство между Луной и Землей, а также между Солнцем и другими планетами, не может быть совершенно пустым и должно быть чем-то заполнено.

6 Декарт, очевидно находясь под влиянием идей Кеплера, положил в своей «научной картине» мироустройства, что все пространство вселенной, за исключением малой доли, занятой обычной материей, заполнено особой средой, которая хотя и неощутима для человека, однако способна передавать силу и воздействовать на материальные тела, в нее погруженные. Данную среду Декарт назвал «эфиром», позаимствовав термин у средневековых теологов, именовавших этим словом среду, заполняющую «сферы небесные». В античной литературе эфиром именовали верхние, лучезарные слои воздуха.

7 Теперь же эфиру по разумной необходимости Декартом были приписаны механические свойства в сочетании с естественным предположением, что частицы эфира находятся в постоянном движении. Из этого были выведены замкнутые траектории движения, то есть эфирные вихри, обеспечивающие взаимодействие несоприкасающихся тел, пронизывающие всю вселенную и вообще занимающее важнейшее место в декартовой картине мироустройства.



Вихревая структура космоса по Декарту

##

8 Для своего времени Рене Декарт был человеком весьма продвинутым в математике и даже заложил (наряду с работавшим независимо от него Пьером Ферма) основы современной аналитической геометрии, введя в традиционную геометрию Евклида координатные оси и очень эффективно работающий на их основе алгебраический аппарат. Вообще, с точки зрения современных ученых, чисто математический труд Декарта «La Geometrie» следует считать наиболее значительной частью всей его работы. Ибо декартова система координат и построенные с ее помощью методы анализа стали первым шагом на большом пути науки к открытию инвариантных, то есть неизменных при преобразованиях, величин и в целом к теории относительности.

9 Для самого же Декарта его упражнения в геометрии представлялись делом второстепенным, нужным лишь в качестве практической иллюстрации мощи новой философии. Поэтому все остальные части декартовой картины мироздания выстраивались уже без какого-либо математического обоснования и, более того, без экспериментальной проверки гипотез. По той причине, что эти гипотезы, выдвигаемые в качестве аксиом для последующих дедуктивных рассуждений, Декарт полагал «самоочевидными».

а Этот довольно сомнительный, мягко говоря, подход к анализу физических явлений в сочетании с умелым владением логикой и бесспорным литературным даром позволили Декарту создать целый ряд произведений, снискавших огромную популярность среди современников. Историки науки в XX веке, пытаясь понять феномен стремительного восхождения новой философии, получившей название «картезианство», приходят к выводу, что главной причиной ее быстрого и массового принятия стало то, что она по сути своей была выстроена на принципах привычного всем тогда аристотелизма. Как и у теологов-схоластов, картина мира у Декарта выводится сугубо умозрительно, на основе логических построений. Но если схоласты в основу этих построений закладывали библейские истины и непостижимые для человека «скрытые качества» потусторонних сил, то Декарту вполне хватало «научного сомнения», собственных догадок и естественных причин.

Это обстоятельство, собственно, замечали и проницательные современники Декарта. Так, голландец Христиан Гюйгенс (1629-1695), в целом придерживаясь нового картезианского мировоззрения, писал о Декарте следующее: «Он выдвигал свои гипотезы как истины, словно его клятвенное утверждение было равносильно доказательству. Он должен был бы представить свою систему физики как попытку показать, что следует вероятнее всего ожидать в этой науке, если принять исключительно принципы механики. Для науки подобные попытки достойны похвалы, но он пошел дальше и заявил, что открыл абсолютную истину, тем самым препятствуя открытию истинного знания».

###

Естественным следствием такой ситуации стало то, что чем больше наука набирала экспериментальных данных и математических результатов, тем больше выявлялось нестыковок с умозрительными постулатами декартовой картины мироздания. Появившаяся всего через несколько десятилетий после смерти Декарта теория механики Ньютона, напротив, обладала строгим математическим аппаратом и к тому же находилась в прекрасном согласии с опытом. Особо впечатляло то, как из простых и красивых законов Ньютона в качестве математических следствий без труда выводились все физические закономерности природы, открытые ранее Кеплером и Галилеем.

Но, в отличие от теории Декарта, математически строгие ньютоновы законы, к сожалению, были совершенно не в силах объяснить физический механизм сил, обеспечивающих взаимодействие несоприкасающихся друг с другом тел. Поскольку Ньютон, в отличие от Декарта, был менее склонен к выдвиганию умозрительных гипотез, он предложил просто пользоваться открытой им формулой для силы тяготения, действующей на все массы, как удобным математическим инструментом предсказания поведения тел. Модель декартовых вихрей в новый закон тяготения не вписывалась никак, и хотя сам Ньютон не одобрял идею прямого взаимодействия тел через вакуум «без посредников», это сделали за него наиболее рьяные последователи и ученики в английских университетах.

Так, готовя к публикации в 1713 г. второе издание ньютоновых «Начал...», Роджер Котс (1682-1716) пишет к этому основополагающему труду предисловие, в котором защищает закон Ньютона о действии на расстоянии как единственную формулировку, которая обобщает результаты опытов и не выдвигает бесполезных предположений, не поддающихся проверке. Предисловие это, заметим, особо интересно тем, что в нем впервые, наверное, провозглашен научный принцип, который станет весьма популярен среди физиков XX века. Согласно данному принципу, сформулированному Котсом, цель теоретической физики – это предсказание будущих событий, а все, что не является необходимым для достижения этой цели и что нельзя вывести непосредственно из наблюдаемых фактов, нужно убрать...

В начале XVIII века у столь радикальной позиции, в корне противоречащей картезианству, сторонников было совсем немного. Например, главный оппонент Ньютона на континенте, Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646-1716), едко охарактеризовал формулу тяготения Ньютона как возвращение к несостоятельной схоластической идее о «скрытых качествах». Декартова теория о эфирных вихрях для многих ученых продолжала оставаться слишком привлекательной из-за своей потенциальной познаваемости, поэтому отказаться от нее было совсем непросто.

Одиссея вихревой губки [51]

1700-е годы в истории физики были отмечены медленным, порой очень непростым, но все же неуклонным проникновением «английской» теории Ньютона в «континентальную» науку, находившуюся под сильнейшим влиянием картезианства. Когда великий французский вольнодумец Вольтер в 1726 году, после двух недель очередного тюремного заключения в Бастилии, был затем выслан с родины в Англию, то побочным эффектом этой ссылки стало появление в Европе влиятельнейшего литератора «ньютонианца». Ибо по возвращении во Францию спустя три года, Вольтер стал энергичным проводником всего английского – от политического либерализма и шекспировской драматургии до физики и математики Ньютона. В своих «Философских письмах» (1734 г.) Вольтер писал: «Француз, приехав в Лондон, обнаружит, что философия там совершенно изменилась, как, впрочем и все остальное. Он знал 'пространство, заполненное веществом', а сейчас это уже 'вакуум'»...

Впрочем, для ведущих европейских ученых от Парижа и Базеля до Берлина и Санкт-Петербурга идея пустого пространства еще очень долго продолжала оставаться неприемлемой. Хотя с декартовым объяснением гравитации через эфирные вихри ничего путного явно не получалось, сама идея всепроникающего эфира как среды, передающей взаимодействия, по-прежнему оставалась наиболее привлекательной. С помощью вихрей в эфире продолжались попытки объяснения и других труднодостижимых явлений, вроде электричества или магнетизма, а также загадочной природы света, демонстрировавшего одновременно волновые и корпускулярные свойства.

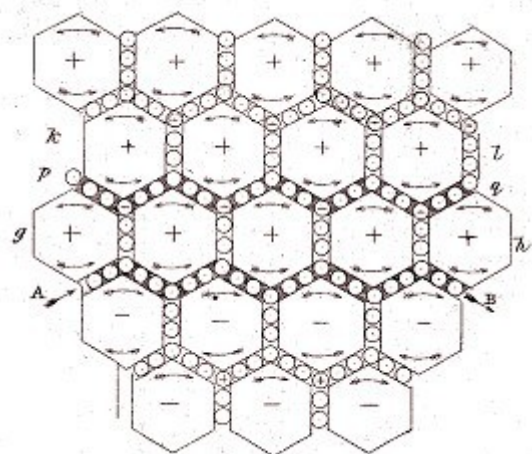
Одну из замечательных попыток такого рода предпринял Иоган Бернулли Второй (1710-1790), представитель выдающегося швейцарского «клана ученых» Бернулли, внесших огромный вклад в европейскую науку XVIII века. Иоган Второй известен в истории значительно меньше, чем его дядя Якоб, отец Иоган (Первый), или старший брат Даниил Бернулли, однако он сумел прожить свою жизнь не только наиболее благополучно в материальном отношении, но и получил за свои работы больше всех премий – четыре – от Парижской академии наук. Одна из этих премий была получена Иоганом Вторым в 1736 году за манускрипт, посвященный предположительному строению эфира на основе экспериментально наблюдаемых свойств света.

В основу модели младшего Бернулли была положена идея, которая значительно позже – среди соратников Уильяма Томсона – получит название «мелкозернистого турбулентного движения» или «вихревой губки». Согласно этой идее, жидкий эфир, пронизывающий все пространство, содержит огромное количество чрезвычайно маленьких вихрей. Каждый из таких вихрей под действием центробежной силы стремится к расширению, поэтому давит на все соседние вихри, а за счет этого эфир обладает свойством упругости и может распространять колебания. Источник света, по Бернулли, порождает возмущение, которое сгущает все окружающие вихри, те выходят из состояния равновесия и своим воздействием сгущают следующие за ними вихри. В итоге колебания распространяются во всех направлениях от светящейся точки. Эта модель весьма оригинально объясняла, как свойства среды превращают продольные по сути колебания в поперечные, наблюдавшиеся в опытах с поляризацией света. Бернулли сравнил эти колебания с колебаниями натянутого шнура, который «если его слегка оттянуть, а потом отпустить, совершает поперечные колебания в направлении, перпендикулярном направлению шнура»...

Развить все эти, очевидно любопытные, но чисто интуитивные идеи в обстоятельную математическую модель природы света ни самому Бернулли, ни его современникам не удалось. Однако сто с лишним лет спустя за капитальное решение задачи по объединенному описанию электрических и магнитных явлений взялся шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879). И в ходе решения этой задачи, пытаясь увязать известные из экспериментов свойства электричества и магнетизма, Максвелл выстраивает в итоге механическую модель эфира, чрезвычайно похожую на гипотетическую «вихревую губку» Бернулли.

Ячеистая структура эфира была придумана Максвеллом на рубеже 1850-1860 годов, когда он работал профессором экспериментальной физики в шотландском Маришал Колледже, г. Абердин. Об этом периоде сохранились довольно занятые воспоминания одного из тогдашних учеников молодого профессора, Дэвида Гилла, впоследствии ставшего известным астрономом: «[Максвелл] был самым приятным и милым существом – он часто засыпал и внезапно просыпался – потом рассказывая о том, что пришло ему в голову. Большую часть из этого мы в то время понять не могли, но какую-то часть мы вспомнили и поняли потом».

Используя столь своеобразный мыслительный процесс в сочетании со строгой математикой, к 1861-1862 годам Максвелл подготовил и опубликовал цикл работ, в которых ему на основе собственной теории удалось объединить все законы электричества и магнетизма, открытые ранее Фарадеем и другими учеными, работавшими до него. Поначалу принятая очень неоднозначно, впоследствии эта теория поставит ее автора в один ряд с такими гигантами физики как Ньютон и Эйнштейн. Ныне максвелловскую формулировку электромагнетизма принято расценивать как одно из самых выдающихся достижений классической физики, оказавшее наибольшее влияние на физику XX века. Но все это будет много позже, когда в физике останутся лишь уравнения Максвелла, полностью очищенные от ячеистых вихрей эфира, с помощью которых они выстраивались.



*Структура эфира по
Максвеллу*

Для самого же Максвелла, когда он создавал свою теорию под явным влиянием работ Майкла Фарадея и Уильяма Томсона (Кельвина), идея эфира как всепроникающей среды, передающей взаимодействия, была основополагающей. С помощью механической модели на основе вихрей-колесиков, связывающих магнитные поля и электрические токи, Максвелл сумел получить важнейшие уравнения своей теории и выстроить формально непротиворечивую картину, в которой магнитная энергия является кинетической энергией среды, занимающей все пространство, а электрическая энергия – это энергия натяжения этой же самой среды.

##

Может показаться удивительным, но другой знаменитый шотландский физик, Уильям Томсон (1824-1907), близко знавший и ценивший Максвелла, очень долго отказывался признавать теорию электромагнетизма своего младшего коллеги и еще многие годы, вплоть до конца XIX века пытался выстроить альтернативную модель. Томсона, как и многих его современников-ученых, в оригинальной и обширной теории Максвелла не устраивали несколько ключевых идей, противоречивших представлениям физики середины XIX века. Например, важнейшим компонентом в теории Максвелла был «ток смещения», с добавлением которого он сумел математически корректно избавиться от противоречий в законах электричества и магнетизма. Но вместе в вводом тока смещения важнейшим принципом теории Максвелла стала обязательная замкнутость всех токов системы, поскольку полный ток – это всегда вихревой вектор. Существование некоего гипотетического тока смещения в пространстве, свободном от проводящей материи или электрического заряда, для современников Максвелла представлялось крайне сомнительной идеей, почему и принимать всю теорию не торопились, несмотря на эффектную математику.

Уильям Томсон (Кельвин) в своей модели эфира тоже опирался на картезианскую идею вихревого движения, однако в ее разработке шел существенно иным путем. На работу Томсона, как известно, оказали влияние два сильных фактора, экспериментальный и теоретический. В лекционной аудитории своего друга П.Г. Тэта в Эдинбургском университете он случайно увидел однажды весьма впечатляющие опыты с вихревыми кольцами, порождаемыми в отверстии мембраны при ударе в наполненный дымом барабан. Кольца дыма в этом эксперименте удивительно долго сохраняют устойчивую форму и способны гасить пламя свечи, расположенной от барабана на расстоянии 3-5 метров.

Несколько же ранее этого, в области теоретической физики Томсон был сильно впечатлен открытием Гельмгольца, показавшего, что вихревое кольцо в идеальной жидкости – это крайне своеобразный тип движения, обладающий постоянной индивидуальностью на протяжении всех изменений при взаимодействиях с окружением. Вихревые кольца, в теории, не могут быть разрушены, так что их можно рассматривать как объединяющиеся и взаимодействующие друг с другом, хотя каждое из них состоит из движения, пронизывающего всю жидкость. Гельмголец показал, что энергию этой жидкости можно выражать через положения и силы этих вихрей, а из знания этих характеристик можно определять будущее поведение системы.

Опираясь на эти идеи, в 1880 году Уильям Томсон создал собственную модель эфира, показав, что при определенных обстоятельствах масса жидкости может существовать в таком состоянии, когда ее части, находящиеся в вихревом и невихревом движении, превосходно смешиваются друг с другом. В результате эту массу можно рассматривать как однородную, поскольку она имеет в любом ощутимом объеме равное количество вихревого движения во всех направлениях. Жидкость, обладающую таким типом движения, Томсон назвал вихревой губкой.

###

За последующие два десятка лет Кельвину и его соратникам – В.М. Хиксу, Дж.Ф. Фитцджеральду и другим – удалось очень существенно продвинуть математическое описание данной модели, последовательно демонстрируя, что она позволяет объяснить труднодостижимые свойства эфира, в частности, свойственные твердому телу поперечные колебания при передаче возмущений. В 1887 году Томсоном было показано, что уравнение распространения ламинарных возмущений в вихревой губке совпадает с уравнением волн деформации в однородном упругом твердом теле. Это же по виду уравнение описывало и закон распространения световых колебаний в эфире.

Исследование проблем устойчивости турбулентного движения, очень важных для описаний явления электромагнетизма, продвигалось тяжело. Однако к 1899 году Фитцджеральд все же сумел отыскать путь к определению плотности энергии в турбулентной жидкости, распространяющей ламинарные волны. И вот тут-то и было сделано самое удивительное, наверное, открытие в модели вихревой губки.

Полученные в результате формулы демонстрировали совершенно очевидное их сходство с уравнениями электромагнетизма, выведенными ранее Максвеллом на основе существенно иной модели упругого эфира. Иначе говоря, куда более внятная с точки зрения механики модель Томсона в конечном счете оказалась в замечательном согласии с элегантными, но при этом весьма абстрактными уравнениями Максвелла. Более же глубоко постигнутая физика явлений сулила хотя и очень сложные в аналитике, но чрезвычайно перспективные пути дальнейшего продвижения...

Однако на пороге, напомним, уже стоял 1900-й год, а с ним и новое столетие, принесшее миру совсем другую физику, построенную на основе квантов энергии и теории относительности. Такую физику, которая уже совершенно не нуждалась ни в каких старомодных вихревых губках, да и вообще в эфире. По крайней мере, так казалось большинству ученых вплоть до конца XX века.

Повторы истории [52]

1800-е годы в истории науки положили начало чрезвычайно выдающемуся самоповтору событий. Когда случайные, казалось бы, совпадения дат в смертях и рождениях выдающихся ученых в 1879 и 1642 годах в конечном итоге вылились в крупномасштабный исторический параллелизм, 0
длющийся, возможно, по сию пору. Поскольку внутренний механизм формирования подобных параллелей в истории человечества остается полнейшей загадкой, наука предпочитает такие вещи не замечать. Но в принципе, ученым-историкам прекрасно известно множество случаев, когда события из далеко разнесенных во времени эпох удивительным образом складываются в очень похожие по структуре последовательности.

Типичный тому пример – великие революции во Франции 1789 года и в России 1917 года, где опостылевшее всем гнилое самодержавие под натиском народного недовольства рухнуло практически само и почти без жертв, но начавшаяся после этого борьба за власть привела к периоду жесточайшего террора, в море крови утопившего и массу сограждан, и практически всех вождей «победителей». Итогом же этих потрясений, 1
сопровождавшихся громкой риторикой о «свободе и братстве», стало рождение новой империи с жесткими порядками, мощной военной машиной и отчетливыми претензиями на мировое господство. Причем даже «отцы нации» – узурпировавшие неограниченную личную власть Наполеон и Сталин – по ряду внешних признаков походили друг на друга: небольшого роста выходцы из глухой провинции, говорившие с заметным нездешним акцентом...

Параллелизм, подобных этому или даже превосходящих в количестве совпадающих параметров, известно в истории сколько угодно, однако все они расцениваются как занятные, быть может, для кого-то, но совершенно случайные совпадения. А поиски некоего особого смысла и закономерностей в этих параллелизмах представляются, соответственно, занятием 2
абсолютно пустым и зряшным. Возможно, так оно и есть. Но и при таком выводе самоподобные структуры в кажущемся хаосе событий человеческой истории никуда не исчезнут. А потому все же имеет смысл несколько пристальнее взглянуть хотя бы на некоторые из выдающихся параллелизмов – в частности, в истории науки.

Например, обратить внимание на примечательные совпадения в биографиях и, главное, в свершениях двух величайших гениев физики, Исаака Ньютона и Альберта Эйнштейна. Похожие траектории можно заметить и в 3
последующей эволюции фундаментальных теорий, созданных этими учеными и успешно развитых другими после их смерти. Так что, кто знает, быть может этот игнорируемый всеми параллелизм длится и по сегодняшний день, скрывая в себе одну из важных причин кризиса в современной науке?

#

Исаак Ньютон родился в декабре 1642 – это год ухода из жизни Галилео Галилея, основателя физики как самостоятельной науки. Альберт Эйнштейн родился в марте 1879 – это год смерти другого великого ученого, Джеймса Клерка Максвелла, заложившего фундамент физики XX века. Вся последующая жизнь Ньютона и Эйнштейна похожим образом делится на три очень разных периода. Совершенно заурядные детство и юность, до 25 примерно лет, никак не отмечены печатью гениальности (в отличие от вундеркиндов вроде Блеза Паскаля или Вольфганга Паули). Второй период продолжительностью около двух десятков лет – это стремительное раскрытие научного гения и в высшей степени продуктивная работа, радикально преобразившая облик науки того времени. И, наконец, третий, весьма продолжительный период жизни вплоть до ее окончания, когда ученый заслуженно пожинает славу и плоды своих трудов, не внося при этом почти ничего сколь-нибудь существенного в науку.

Особый интерес, однако, представляет не внешняя канва биографий, а внутренняя суть трудов Ньютона и Эйнштейна, ибо именно там заключены наиболее существенные параллелизмы. Важнейшие достижения Ньютона – три закона механики и закон всемирного тяготения – были радикально обобщены главными работами Эйнштейна, специальной и общей теориями относительности. В XVIII веке математик Лагранж имел все основания называть Ньютона «величайшим гением и самым счастливым из всех, потому что система мира только одна и открыть ее можно было лишь однажды». Однако век XX продемонстрировал, что даже если система мира одна, открывать ее глубины можно неоднократно, каждый раз узнавая нечто принципиально новое. Физика Ньютона, таким образом, стала частным случаем теории Эйнштейна, но и последняя раскрыла далеко не все загадки «системы мира». Особо остро, наверняка, это должны были ощущать сами открыватели системы, поскольку и Ньютон, и Эйнштейн потратили массу усилий для сведения в ней, что называется, концов с концами.

Первое важное открытие Ньютона было сделано в оптике – разложение белого света в спектр. Представляя луч как поток световых частиц-корпускул, Ньютон решительно отверг доминировавшую в то время теорию о свете как о волнах в светоносном эфире и при этом добился очевидного успеха. Открытый им позднее закон тяготения масс оказался намного убедительнее декартовой теории эфирных вихрей, а значит, тоже способствовал идеям заменить неуловимый и загадочный в своих свойствах эфир на нечто попроще – пустоту пространства. Но важно, что при этом сам Ньютон явно ощущал потребность в сохранении эфира в физической картине мира, дабы снять проблему непостижимых «взаимодействий на расстоянии». В одном из писем 1693 г. он пишет: «То, что одно тело может воздействовать на другое, находящееся от него на некотором расстоянии, через вакуум без каких либо посредников – это для меня настолько абсурдно, что по-моему ни один человек, обладающий хотя бы малейшим представлением о философских материях, не может в это верить. Гравитация должна иметь причиной некоего посредника».

Однако последователи Ньютона не захотели придерживаться осторожных философских построений своего учителя. В их распоряжении была строгая математика ньютоновых формул, которые давали множество эффективных подтверждений своей правильности. В пылу борьбы с картезианством молодые и горячие ньюто尼亚цы отвергли не только декартову идею о

вихрях, но вообще всю его систему воззрений, включая эфир. Математический аппарат ньютоновой физики, мощно развитый множеством ученых на протяжении XVIII века, в практическом применении оказался настолько убедительнее умозрительных гипотез Декарта, что вопрос о победителе среди конкурирующих теорий отпал по сути дела сам собой. Вполне естественно, что при этом в физике стали доминировать и другие идеи «ньютонова учения» – о вакууме и о корпускулярной теории света. Физикам XIX века пришлось приложить массу усилий, чтобы вернуться к волновым представлениям о природе света, а затем и к эфиру, как среде передачи электромагнитных колебаний. После чего в науку пришел Эйнштейн и вся история повторилась, но уже на новом витке.

##

8 Механические свойства гипотетического, так и не обнаруженного в экспериментах эфира, стали еще более загадочными. Он должен был демонстрировать свойства жидкости, чтобы заполнять собой все пространство. Но при этом обладал и характеристиками очень твердого тела, поскольку поддерживал высокие частоты световых волн. Также у него не было массы и не отмечалось вязкости, иначе это должно было бы отражаться на орбитах планет. Плюс к этому эфир должен был быть абсолютно прозрачным, нерассеивающим свет, несжимаемым и непрерывным вплоть до очень мелких масштабов.

9 Уже в одной из самых первых своих работ 1905 года о фотоэлектрическом эффекте (впоследствии удостоенной Нобелевской премии) Альберт Эйнштейн вернулся к «ньютоновой» идее о корпускулярной природе света. Он постулировал существование фотона и по сути дела дал сильнейший импульс к развитию квантовой механики. В другой статье того же года, положившей начало специальной теории относительности, Эйнштейн отказался «за ненадобностью» от всепроникающего эфира как неподвижной системы отсчета и, фактически, вернул в физику ньютонову идею вакуума. Эти и последующие работы никому неизвестного дотоле ученого по своему масштабу оказались вполне соразмерны великим ньютоновым открытиям, одновременно почему-то продемонстрировав сходство Ньютона и Эйнштейна в ином, менее героическом аспекте. Оба гиганта очень не любили ссылаться в своих трудах на результаты предшественников и коллег, словно предвидя, кому потомки впоследствии припишут всю славу великих открытий.

a Голландец Хендрик Лоренц (наряду с Анри Пуанкаре заложивший ключевые основы теории относительности еще до прихода в науку Эйнштейна) в одной из своих лекций, примерно в 1911, так объяснял свою приверженность идее эфира: «В независимости от того, существует эфир или нет, электромагнитные поля существуют наверняка, также как и энергия электрических колебаний. [Поэтому,] если нам не нравится само слово ‘эфир’, то нам придется использовать какое-то другое слово – как подпорку, на которую должны опираться все эти вещи». Иначе говоря, отрицать существование носителя для взаимодействий и переноса энергии было немислимо.

b Последователи Эйнштейна, как известно, решили данную проблему весьма своеобразно. Если начиная с Фарадея и Максвелла «полем» называли возбужденное, или напряженное, состояние эфира, то теперь поле стало «само себе подпоркой». То есть особой материальной средой, переносящей

электромагнитные взаимодействия и удовлетворяющей математике уравнений, но при этом не обязанной иметь мудреные механические свойства физической материи. Вполне естественно, что эту же идею – в виде гравитационного поля – распространили и на взаимодействие масс в вакууме.

###

c Однако, для самого создателя новой теории гравитации – общей теории относительности – идея о возможности существования «пустого» пространства была так же неприемлема, как и для Ньютона. В своей лекции 1920 года, посвященной месту эфира в теории относительности, Альберт Эйнштейн сказал следующее: «Подводя итог, мы можем говорить, что согласно общей теории относительности само пространство наделено физическими свойствами. Следовательно, в этом смысле эфир существует. Согласно общей теории относительности пространство без эфира немислимо... Но этот эфир может не обладать качественными характеристиками весомой материи».

d В параллелизмах жизни и трудов Ньютона и Эйнштейна имеется еще одна весьма примечательная деталь. Попытки отклонения Исаака Ньютона от идеи вакуума в сторону эфира по времени (1693) совпали с заметным для окружающих психическим заболеванием и последующим отходом ученого от активной научной работы. Альберт Эйнштейн в соответствующем возрасте (конец 1920-х годов) не ушел от научной работы, однако и для него возврат к идее эфира совпал с тяжелым жизненным кризисом и фактически идейным разрывом с физическим сообществом, прежде почитавшим его в качестве одного из главных лидеров.

e Влияние революционных идей ТО на физиков молодого поколения было гигантским. Решительный разрыв со старыми воззрениями, продемонстрированный в первых работах Эйнштейна, был воспринят как одна из отличительных особенностей новой науки XX века. Особенно это было характерно для квантовой физики. Например, Гейзенберг при создании своей теории систематически удалял из картины микромира частиц все, что нельзя было непосредственно наблюдать (подобно тому, как Эйнштейн «отменил» в 1905 эфир). Результатом череды этих удалений стала ситуация, когда в физической картине мира не осталось практически ничего и называть это «картиной» в смысле традиционной физики стало просто невозможно. Впоследствии Гейзенберг вспоминал, как в ходе одного из серьезных споров с Эйнштейном о науке, он стал вполне обоснованно настаивать, что квантовая механика в логике своего развития идет по пути, проторенному теорией относительности.

f И как поражен был Гейзенберг, когда услышал от вдохновившего их учителя такой ответ: «Возможно, я использовал такую философию раньше и тоже писал подобные вещи, однако это все равно чушь»... Все последующие годы своей жизни Эйнштейн пытался свести электромагнетизм и гравитацию в единую теорию, которая давала бы связную картину устройства мира, а не набор абстрактных формул, обеспечивающих верные предсказания, но не поддающихся осмысленной интерпретации. Однако результат этой работы по сути дела оказался никаким. То есть примерно тем же, что и у Ньютона в последнюю треть его жизни.

Идентификация осциллона [53]

0 1900-е годы, если рассматривать это столетие относительно проблемы эфира/вакуума, выглядят как своего рода спираль, проделавшая полный цикл и к концу XX века вернувшая физику в точку старта, но уже на совсем другом уровне. Чтобы обстоятельно и всесторонне доказать это утверждение, потребовалось бы написать целую книгу. Здесь же, для наглядной иллюстрации данной идеи, достаточно просто задержать внимание на двух датах, разделенных столетием – 1903 и 2003. То есть рассмотреть «начало» и «завершение цикла», в течение которого абсолютно доминировавшая в физике идея эфира сначала была полностью отвергнута, а потом неявно и по частям возвращена под названиями типа «квантованный физический вакуум» или «пространственно-временная пена». Единственным, что осталось в итоге за бортом, оказалось лишь само табуированное слово «эфир».

1 В 1903 году Вильгельм Бьеркнес опубликовал-таки важнейшие труды всей жизни своего отца, дав двухтомнику название «Гидродинамическое действие на расстоянии согласно теории Карла Антона Бьеркнеса». На протяжении нескольких десятков лет К. Бьеркнес, поместив себя, фактически, в условия научной самоизоляции, развивал гидродинамическую модель для максвелловской теории электромагнетизма. Собственная механическая модель Максвелла, что всегда с готовностью признавал сам автор, была весьма неуклюжа. Тем не менее, она привела Максвелла к важнейшей идее тока смещения, которая поначалу родилась как механические осцилляции неподвижных электрических частиц в диэлектрической среде, то есть эфире. Естественным механическим эффектом этих колебаний становилось распространение в среде электромагнитных волн, одной из разновидностью которых оказался и свет.

2 Карлу Бьеркнесу удалось очень далеко продвинуть эти идеи осцилляций и волн в эфире, продемонстрировав с помощью уравнений и экспериментов, что гидродинамическая модель способна внятно объяснить практически все известные в то время феномены электромагнетизма. К моменту публикации работ Бьеркнеса уже достигла зрелости другая солидная теория, Томсона и Фитцджеральда, об эфире как мелкозернистой вихревой губке. Базовые уравнения этой теории, к удивлению ее разработчиков, в итоге оказались практически эквивалентны уравнениям Максвелла. В сочетании же с мало кому известными результатами затворника Бьеркнеса они сулили построение новой, куда более понятной в своих нюансах картины электромагнитных взаимодействий. Но это, напомним, был 1903 год, когда новаторская идея Планка о квантовании энергии уже была опубликована, а до революционных потрясений в физике оставалось всего ничего.

3 С наступлением же революции перед наукой распахнулись столь захватывающие новые горизонты теории относительности и квантовой физики, что о старомодных гидродинамических моделях и вихревых губках викторианской эпохи большинство ученых предпочитало уже не вспоминать – примерно как о старой рухляди в бабушкином комод. Гидродинамику, соответственно, оставили в области так называемой «классической» физики, а максвелловский ток смещения в электродинамике начали именовать «релятивистской поправкой». Такого рода поправки стали вполне обычным делом для учета эффектов относительности в уравнениях квантовой физики, а Максвелл, получалось, интуитивно сделал в своих формулах нечто подобное «заранее».

Но вот прошла сотня лет. В 2003 году, в августовском номере журнала Nature появилась статья [1], посвященная экспериментам в области, весьма далекой, на первый взгляд, от фундаментальных проблем физики. Работа Джанфранко Д'Анна и его коллег сконцентрирована на изучении броуновского движения в так называемой «гранулированной жидкости», то есть материале мелкозернистой структуры в условиях постоянных вибраций. Если вспомнить историю, то исследованию такой же задачи, но только для объяснения диффузионного броуновского движения частиц в жидкости обычной, была посвящена и одна из статей Эйнштейна в его знаменитой серии работ 1905 года, навсегда изменивших облик физики. Статья о диффузии, конечно, была тоже замечена, однако по масштабам своего последующего влияния никак не сравнима с релятивистскими и квантовыми идеями Эйнштейна. Никому, похоже, не приходило в голову, что ВСЕ новые идеи безвестного клерка из патентного бюро могут быть тесно связаны друг с другом.

Как бы там ни было, теория Эйнштейна для броуновского движения получила самостоятельное развитие в термодинамике равновесных процессов. К концу 1920-х годов на основе этих результатов другие исследователи показали, что точными измерениями свободных и вынужденных колебаний жесткого маятника кручения, погруженного в обычную жидкость, можно определять температуру и вязкость среды. То есть два важнейших параметра, практически полностью определяющих поведение жидкости. Однако - это важно подчеркнуть - успешно работает данная теория (как, собственно говоря, и все прочие нынешние теории, описывающие поведение твердых тел, жидкостей и газов) лишь в предположении теплового равновесия среды.

Для материалов гранулированной структуры все обстоит существенно иначе, поскольку их поведение очень отличается от обычной материи. В неподвижном состоянии масса гранул больше всего похожа на твердое тело, однако при различных вибрациях может демонстрировать свойства стекловидного тела, жидкости или газа. Иначе говоря, гранулированный материал - сам по себе и твердое тело, и жидкость, и газ, но все эти состояния имеют собственные, весьма специфические свойства. В частности, «гранулированная жидкость» в принципе не может находиться в состоянии равновесия - она всегда нуждается в постоянной подаче вибрационной энергии для поддержания своего «жидкого» состояния.

Поскольку внешне поведение вибрирующих гранулированных материалов выглядит очень похоже на жидкость, то возникает вопрос. А не будет ли эксперимент с использованием жесткого маятника и здесь отражать похожее соотношение, выведенное в свое время Эйнштейном для описания диффузии в обычной жидкости? Несложное экспериментальное оборудование, требующееся для ответа на этот вопрос, было вполне доступно и в 1920-е годы, однако физика гранулированных материалов еще очень долго ускользала от внимания ученых. Лишь в 2003 году работа, сделанная Д'Анна и его коллегами, убедительно показала, что действительно, те же самые соотношения броуновского движения оказываются справедливы и для гранулированных жидкостей. Ученые поместили 50 000 стеклянных бусин в небольшой контейнер, который вибрировал с высокой, случайным образом меняющейся частотой для порождения «жидкого» поведения среды, и опускали туда конической формы маятник кручения. Каков бы ни был размер конуса пробника, «эффективная температура» и «эффективная вязкость» гранулированной жидкости, введенные по аналогии с жидкостью обычной, аккуратно отражали поведение неупорядоченного движения бусин.

##

8 В подавляющем большинстве научно-популярных статей и университетских пресс-релизов, сообщающих о новых достижениях в исследовании физики гранулированных материалов, основной акцент делается на сугубо утилитарные приложения открытий: в химической промышленности, фармацевтике, пищевой промышленности и подобных им областях. Причины тому очевидны – для финансирования исследований позарез нужны спонсоры, а значение эффективной промышленной обработки гранулированных материалов популярно объяснять проще всего. Однако из научных статей самих ученых-исследователей и по содержанию их веб-сайтов легко увидеть, что вообще-то физики ставят здесь перед собой намного более масштабные цели.

9 Как уже говорилось, имеющиеся сегодня физические теории хорошо работают только с равновесными процессами, в то время как большинство процессов, происходящих в природе, имеет отчетливо неравновесный или, как еще часто выражаются, «термодинамически необратимый», характер. Стройной теории для физики необратимых процессов пока не существует, поскольку в системах, далеко отклонившихся от равновесия, центральную роль начинают играть нелинейные процессы, зачастую непредсказуемые и приводящие к разнообразным поразительным феноменам, наблюдаемым как в экспериментах, так и повсюду во вселенной – от микромира частиц до структуры галактик. При этом оказалось, что вибрирующие материалы зернистой структуры – твердые и «мягкие» (суспензии, коллоиды, пена) – предоставляют чрезвычайно перспективный полигон для исследования того, как весьма простые физические системы могут порождать сложное поведение типа самоорганизации, формирования геометрических структур и фрактальных паттернов, неравновесных переносов материала или разного рода осцилляций.

a На необычных осцилляциях следует задержаться особо. Например, в физике высоких энергий за последние годы получены экспериментальные результаты, в чем-то весьма созвучные опытам с осциллонами в вибрирующих гранулированных средах. Так, гигантская команда-коллаборация CDF, объединяющая свыше 700 ученых из разных стран (для фантастически дорогих экспериментов физики частиц ныне это норма), в апреле 2006 года объявила о важном результате. Исследователям удалось точно измерить скорость осцилляций специфической субатомной частицы, V_s -мезона, совершающего самопревращения между состояниями материи и антиматерии с фантастической частотой 3 триллиона (т.е. миллиона миллионов) раз в секунду.

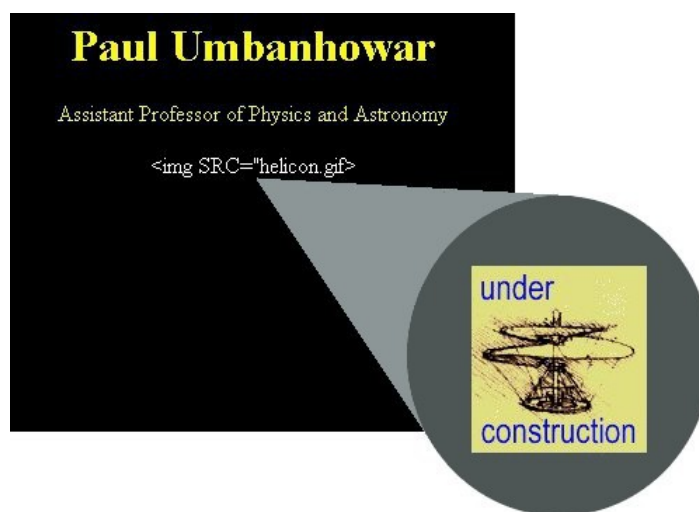
b Частица носит название странный нейтральный В-мезон и состоит из пары кварков, именуемых bottom-кварк и странный анти-кварк. Такого рода экзотические частицы в естественном виде в природе не отмечаются, а порождаются лишь на мгновение при высокоэнергетических соударениях протона и антипротона в ускорителях. Согласно Стандартной Модели, такой мезон может самопревращаться в свою античастицу, состоящую из странного кварка и bottom-антикварка, а изучающие его физики надеются отыскать здесь подсказки к загадке вопиющего несоответствия в количествах материи и антиматерии в природе.

###

Пока что, правда, нельзя сказать, что экспериментально вычисленная скорость осцилляций V_S -мезона внесла в проблему хоть какую-то ясность. Более того, можно даже говорить, что этот точный результат даже запутывает физиков, поскольку другая популярная среди теоретиков модель, известная как суперсимметрия и претендующая на существенное развитие Стандартной Модели, предсказывает для осцилляций мезона намного большие скорости. Иначе говоря, успешные и надежные в результатах эксперименты не дали совершенно никаких подтверждений для суперсимметрии, а наиболее честный ответ теоретиков пока звучит примерно так: «Мы не знаем, что все это значит»...

Спрашивать совета у специалистов по вибрирующим гранулированным средам, похоже, пока что в голову физикам высоких энергий не приходит. С другой стороны, Министерство энергетики США (которому принадлежат наиболее мощные американские ускорители, включая и Tevatron в центре Fermilab, с данными которого работала интернациональная коллаборация CDF) ныне активно финансирует исследования по свойствам материалов мелкозернистой структуры. И что характерно, заметные работы американских ученых, проделанные в этом направлении в 1990-е годы, постепенно изымаются из свободного интернет-доступа.

Наиболее показательно, можно сказать, эта тенденция проявилась в 2005 году, когда на фоне широко отмечавшегося столетия эйнштейновского «года чудес» совершенно незамеченным осталось «закрытие» веб-сайта профессора Пола Амбенхауэра. Хотя этот ученый, открывший феномен осциллонов в середине 1990-х, продолжает плодотворно работать в области вибрирующих гранулированных сред и генерации жидко-мелкодисперсных материалов, на его сайте с 2005 года зависла чистая черная страница со следами некоей картинка-заставки. Сама картинка не вывешивалась из-за мелкой синтаксической ошибки (пропущенной кавычки) в коде веб-страницы, однако по известному адресу до картинка добраться несложно. Выглядит она достаточно просто и в то же время выразительно – надпись «на реконструкции», помещенная на фоне «вертолета» из набросков Леонардо да Винчи.



Закрытый на реконструкцию сайт первооткрывателя осциллонов

Конечно же, можно считать все эти события – исчезновение статей, закрытие сайта, потерю картинки и ее «неоднозначное» содержание – случайной цепью никак не связанных событий. Но также можно заметить здесь и некоторую закономерность. А углядев, попытаться выяснить, что может означать символ летательного аппарата на основе вращающейся спирали, размещенный вместо сайта, посвященного феноменам осцилляции. Попутно припомнив, что весьма созвучная проблема – идущая из снов загадочная и важная связь осцилляции со спином-вращением – сильнейшим образом интересовала Вольфганга Паули в последние годы его жизни.

-
- [1] G. D'Anna, P. Mayor, A. Barrat, V. Loreto, F. Nori. «Observing Brownian motion in vibration-fluidized granular matter», Nature 424, 909 (2003)

[Q♦] Иллюзия понимания

Как это летает? [54]

0 Биографы Альберта Эйнштейна нередко упоминают, что величайший из физиков XX века всегда живо интересовался проблемами гидро- и аэродинамики. Однако нелишне заметить, что это обширное поле исследований на всю жизнь так и осталось для ученого областью чисто дилетантского, по сути, любопытства. Ибо ни открытий, ни вообще сколь-нибудь заметных работ по гидродинамике в научном наследии Эйнштейна не имеется.

1 Был, правда, в его жизни небольшой эпизод, примерно в 1916 году, непосредственно связанный с задачами аэродинамики и воздухоплавания, но сегодня он вспоминается разве что как забавный анекдот. В ту беспокойную пору Эйнштейн работал в Берлине, на планете бушевали пожары мировой войны, а германская авиационная компания Luftverkehrsgesellschaft (или кратко LVG) призвала всех сведущих ученых и инженеров принять участие в техническом усовершенствовании воздушного флота страны. Уклонившийся от службы в армии из пацифистских соображений и по причине плоскостопия, Эйнштейн, тем не менее, откликнулся на патриотический призыв LVG и тоже решил поучаствовать в конструировании более совершенных аэропланов.

2 Простудировав доступную литературу, ученый с удивлением обнаружил, что физики, уже вплотную подступившие к наиболее фундаментальным загадкам микромира и устройства вселенной, при этом очень смутно представляют себе теоретические основы воздухоплавания. «Откуда берется подъемная сила крыла наших самолетов и птиц, парящих в воздухе? В этих вопросах царит полная неясность. Должен признаться, что и в специальной литературе я не мог найти на них даже простейшего ответа», – такими словами Эйнштейн начал свою небольшую статью «Элементарная теория полета и волн на воде», опубликованную в августе 1916 года. Эта работа, по мнению автора, не только давала внятное и общедоступное объяснение физическим основам полета, но и стала теоретическим обоснованием для новой конструкции крыла, придуманного Эйнштейном.

3 Хотя имя ученого в те времена уже было достаточно известно в кругах академической науки, до всемирной славы дело еще не дошло. Тем не менее, в LVG отнеслись к предложению Эйнштейна очень внимательно, и в 1917 году предложенный им новый профиль самолетного крыла (позже получивший название «кошачья спина» из-за горба в верхней части поверхности) уже проходил летные испытания на аэродроме. При первом же полете стало ясно, что аэродинамические качества у эйнштейновской конструкции абсолютно никудашные. Много лет спустя известный германский летчик Пауль Георг Эрхардт (1889-1961), лично испытывавший этот самолет, в письме Эйнштейну с юмором описывал свои ощущения от управления неуклюжей «беременной уткой» и то непередаваемое чувство облегчения, когда аппарат удалось-таки посадить на землю без аварии.

#

Авиаконструкторские, да и в целом аэродинамические изыскания Альберта Эйнштейна на этом эпизоде, можно сказать, завершились навсегда. И вряд ли кто будет настаивать, что теория и практика полетов хоть что-нибудь от этого потеряли, если принять во внимание все последующие грандиозные
4 успехи авиации и космонавтики. Но каковы бы ни были неоспоримые достижения авиаконструкторов, с одним очень важным вопросом, в свое время озадачившим Эйнштейна – «откуда берется подъемная сила крыла?» – и сто лет спустя, как ни странно, физики-теоретики так и не сумели разобраться как следует.

Объяснения для этого эффекта, конечно же, имеются, причем даже в избытке. Считается самоочевидным, что суть подъемной силы – в разности давлений с разных сторон крыла. При движении аппарата через воздух под
5 крылом образуется область повышенного давления, а над крылом – пониженного. Но вот относительно причин, порождающих эту разность давлений, различных мнений очень много. При этом все они не очень хорошо согласуются между собой, а в некоторых существенных моментах – так и вообще явно противоречат друг другу. Это обстоятельство не может не настораживать.

Наглядное представление о сложившейся здесь ситуации дает, к примеру, веб-сайт американского Исследовательского центра им. Гленна, одного из подразделений аэрокосмического агентства НАСА (www.grc.nasa.gov), где
6 имеется большой учебно-теоретический раздел, посвященный физике летательных аппаратов. Как и положено, много места уделено образованию подъемной силы, но наиболее примечательный аспект данного источника – это подробный разбор распространенных заблуждений относительно причин физического феномена.

Специалисты НАСА сразу предупреждают читателей, что, к сожалению, неверными являются по сути все популярные объяснения подъемной силы, обычно приводимые в Интернете, энциклопедиях, учебниках по общей
7 физике или в музейно-выставочных экспонатах, посвященных теории полета. Для обоснования столь неожиданного и весьма сильного, что ни говори, утверждения, в деталях проанализированы несколько наиболее частых ошибок. В самом кратком изложении, суть всеобщих заблуждений такова.

##

Одно из распространенных объяснений, чаще всего даваемых на веб-сайтах Интернета и в научно-популярных книжках, для краткости именуют «ньютоновым». Хотя сам Ньютон никогда не занимался аэродинамикой, на его третьем законе механики основана идея, согласно которой подъемная сила – это сила реакции движущегося летательного аппарата на молекулы воздуха, ударяющие в нижнюю поверхность крыла. При таком объяснении
8 учитывается только нижняя плоскость аэродинамической поверхности, хотя из практики хорошо известно, что форма верхней поверхности крыла может очень существенно изменять величину подъемной силы. Кроме того, в данной модели несложно сделать вычислительную оценку «ньютоновского» эффекта, зная плотность воздуха и количество молекул в заданном объеме. Эти предсказательные оценки абсолютно не согласуются с данными реальных измерений силы в экспериментах.

Другая, в корне иная теория порождения подъемной силы, чаще всего встречается в энциклопедиях, справочниках и учебниках по физике. Эту идею удобно называть «теорией равного времени прохода», а в основу ее положена известная асимметрия в форме нижней и верхней частей профиля крыла у большинства самолетов. Как объясняют сторонники данной теории, вследствие большей кривизны верхней поверхности аэродинамического крыла (а значит, и более длинной траектории), воздух, проходящий поверху должен двигаться быстрее, чтобы «поспевать» за воздухом, движущимся под нижней поверхностью. Раз скорость потока сверху выше, значит, давление должно быть ниже – согласно базовому гидродинамическому принципу Бернулли, устанавливающему взаимозависимость скорости и давления в потоке.

На уравнение Бернулли, непосредственно связанное с законом сохранения энергии, опираются и многие другие объяснения. Однако конкретно в «теории равного времени прохода» делается абсолютно беспочвенное, иногда говорят «нефизическое», предположение, что массив воздуха, разделенный передней кромкой крыла, должен затем сойтись в прежнее состояние за задней кромкой. На самом деле этого не происходит. Наглядные опыты в аэродинамической трубе показывают, что воздух над крылом вовсе не должен поспевать к концу крыла одновременно с воздухом внизу. В действительности поверху он достигает задней кромки намного быстрее. Кроме того, аналитический расчет подъемной силы по «теории равного времени» дает результат намного меньший, чем наблюдается реально для крыла данного профиля.

Третье популярное в литературе объяснение можно назвать «теорией Эйнштейна», поскольку те же по сути доводы были использованы ученым в его упомянутой выше статье «Элементарная теория полета». Здесь форма верхней поверхности аэродинамического профиля уподобляется по назначению своего рода форсунке, которая ускоряет поток воздуха, обтекающий крыло. Предполагается, что выступающая вверх часть профиля «сужает» сечение потока, а значит, из принципа сохранения массы, должна увеличиваться скорость потока. А раз скорость растет, значит давление по Бернулли снижается и так далее по уже известной схеме... Предложенный Эйнштейном на основе этих принципов горбатый профиль «кошачья спина» имел весьма посредственные аэродинамические свойства, а аналитические вычисления разности давлений дают предсказания, опять-таки совершенно не согласующиеся с величиной подъемной силы для данного профиля крыла.

###

Наконец, необходимо упомянуть и четвертую известную теорию, не так часто, как предыдущие, упоминаемую в западных источниках, но абсолютно доминирующую во всех советских и российских учебных пособиях. Это объяснение было выдвинуто примерно одновременно двумя математиками, работавшими независимо друг от друга, – немцем Мартином Вильгельмом Куттой (1902) и русским Николаем Егоровичем Жуковским (1906). Теоремой Жуковского-Кутты подъемную силу чаще всего объясняют в учебниках по аэродинамике для профессионалов, и в российской науке этот подход по сию пору считается «единственно верным», несмотря на признаваемую многими «нефизичность». Для объяснения разности давлений у верхней и нижней поверхностей крыла Жуковский

постулировал, что вокруг крыла при полете возникает замкнутый вихрь или циркуляция потока. Причем вихрь этот закручивается вокруг крыла в таком направлении, что поток воздуха, набегающий на верхнюю часть крыла направлен в одну сторону с циркуляционным потоком, и потому здесь суммарная скорость потока растет, а давление соответственно падает. На нижней же поверхности крыла, набегающий и циркуляционный потоки направлены навстречу друг другу, их скорости вычитаются, что приводит здесь к снижению общей скорости потока и соответственно к росту давления.

d Главная проблема этого объяснения в том, что за более чем столетнюю историю самолетостроения никто, нигде и никогда экспериментально не наблюдал циркуляцию замкнутого вихря вокруг крыла самолета. Кроме того, образование подобного вихря вокруг крыла ниоткуда не следует и при чисто теоретическом рассмотрении. Иначе говоря, Жуковский в свое время придумал циркуляцию как чисто рабочую гипотезу, однако его последователи ничего лучшего изобрести так и не смогли. В итоге можно констатировать, что ни одно из перечисленных выше объяснений порождения подъемной силы нельзя считать удовлетворительным. Кроме всего прочего, эти теории не дают внятных разъяснений и тому, почему хорошо летают сложенные из бумаги самолетики с совершенно плоским крылом или аэробатические самолеты с крылом полностью симметричного профиля. Да и вообще, почему самолеты вполне уверенно могут летать в перевернутом вверх дном состоянии, когда аэродинамическая сила должна, по идее, толкать их к земле.

e От процитированного веб-сайта НАСА, имеющего ярко выраженную образовательную направленность, в итоге было бы логично ожидать выдачу простого и наиболее верного на сегодня объяснения этим загадкам. Попытка такого объяснения, в общем-то, дается: «ньютоновским» по духу утверждением, что назначение аэродинамического профиля крыла – отклонять поток воздуха «вниз», из-за чего возникает сила реакции «вверх»... Авторы этого объяснения, похоже, и сами понимают, что на самом деле оно абсолютно ничего не объясняет. Поэтому тут же делают многозначительную оговорку-признание, что «действительные подробности того, как объект порождает подъемную силу, чрезвычайно сложны и не поддаются упрощению». Для настоящего же понимания нюансов этого явления исследователю требуется хорошо овладеть математикой дифференциальных уравнений, в единое целое связывающих сохранение энергии, импульса и массы воздушного потока...

f Из этих «объяснений специалистов» можно сделать два важных вывода. Во-первых, если в качестве решающих доводов приводятся математические формулы, фиксирующие взаимосвязь величин, значит, в дипломатичной форме признается, что физика явления осталась непонятой. А во-вторых, в современной аэродинамической науке явно наблюдается тенденция объяснять подъемную силу с помощью законов Ньютона, хотя три из четырех наиболее популярных теорий опираются на столь важный в гидродинамике принцип Бернулли... Маловероятно, чтобы подобного рода пересмотр устоявшихся взглядов происходил без веских на то причин, а значит, принцип Бернулли заслуживает более пристального рассмотрения.

Как это действует? [55]

0 Трагическая история лайнера «Титаник», затонувшего от столкновения с айсбергом в своем первом пассажирском рейсе, столь мощно и глубоко впечаталась в память людей, что почти забытыми оказались необычные судьбы двух других кораблей этого же класса. Гигантские лайнеры-сестры «Олимпик», «Титаник» и «Британник» были построены один за другим в 1911, 1912 и 1914 годах, но долгая служба выпала на долю лишь самого первого корабля. Причем и в биографии «Олимпика» оказалось немало опасных столкновений. Как, например, в годы Первой мировой войны, когда лайнер протаранил безуспешно атаковавшую его германскую субмарину, став первым и единственным за ту войну пассажирским судном, потопившим военный корабль.

1 Но столкновение, наиболее примечательное с точки зрения физики, произошло с «Олимпиком» уже в первые месяцы плаваний. В сентябре 1911 года лайнер шел вдоль береговой линии на весьма высокой скорости, когда его стал нагонять небольшой британский крейсер Hawke. Некоторое время корабли двигались параллельным курсом на расстоянии около 100 метров, но затем произошла катастрофа. Более легкий крейсер, водоизмещение которого было примерно в 6 раз меньше, чем у «Олимпика», вдруг начал резко менять курс и, несмотря на все усилия капитана, устремился к лайнеру. В результате сильного удара у крейсера оказалась разрушена вся носовая часть, а «Олимпик» получил две здоровенных пробоины в борту выше и ниже ватерлинии. К счастью, все обошлось без человеческих жертв, оба судна остались на плаву и сумели самостоятельно вернуться в доки для ремонта.

2 Последовавшее за этим судебное разбирательство полностью освободило капитана крейсера Hawke от ответственности за катастрофу, ибо техническая экспертиза пришла к выводу, что виною всему – недостаточно понимаемая на флоте физика движения больших кораблей. Всякое судно при движении увлекает за собой часть окружающей воды, а самый по тем временам большой в мире корабль «Олимпик» стал делать это в небывало крупных масштабах. Поэтому когда неподалеку, на параллельном лайнеру курсе оказался крейсер, движение воды между судами приобрело принципиально важное значение. В промежутке между кораблями из-за процесса увлечения скорость воды возрастает, а значит, в соответствии с гидродинамическим принципом Бернулли, давление понижается. Снижение давления, по мнению экспертов, вызвало взаимное притяжение кораблей и привело в итоге к столкновению.

3 Юристов компании White Star Line, владельца «Олимпика», это мудреное объяснение ничуть, надо сказать, не убедило. Они неоднократно подавали апелляции на пересмотр судебного решения, однако правосудие осталось непреклонным и не пожелало отходить от той трактовки произошедшего, что была выдвинута учеными экспертами.

#

4
Сомнения несведущих в науке людей, надо отметить, вполне объяснимы, поскольку открытая еще в первой половине XVIII века фундаментальная закономерность в поведении жидкостей и газов по сию пору способна озадачить даже физиков своей парадоксальностью. При самом поверхностном анализе суть явления, впервые описанного Даниилом Бернулли, достаточно очевидна и выражает закон сохранения энергии – коль скоро суммарная энергия потока жидкости постоянна, а величина ее складывается из давления и скорости, то возрастание скорости потока сопровождается понижением давления. Справедливо, естественно, и обратное: меньше скорость – больше давление.

5
Но обманчивая простота уравнения с нехитрой математикой тут же оборачивается головоломной загадкой, если попытаться объяснить «на пальцах» физику процессов, происходящих с жидкостью при течении через трубу переменного диаметра. Ведь с точки зрения обычного здравого смысла вполне очевидно, что если сечение трубы уменьшается, то текущей в ней воде приходится поневоле повысить скорость, а одновременно должно становиться труднее «протискиваться» через узкий проход, а значит самым естественным описанием этого состояния должно быть «повышение давления».

6
В таком ключе стал бы рассуждать любой здравомыслящий человек, не зная результатов экспериментов. Вот, в частности, что писал в одной из своих работ Иоган Бернулли, отец Даниила и видный ученый своего времени, также занимавшийся проблемами физики жидкостей: «Большая скорость в жидкости увеличивает натиск, с которым она действует на стенку канала, и, чем быстрее течет жидкость, тем больше она стремится расширить свой проход»...

7
Увы, гидродинамические опыты Даниила Бернулли демонстрировали прямо противоположное – большая скорость жидкости не увеличивает, а уменьшает «натиск на стенку канала». А вот уменьшение скорости в связи с расширением канала, как ни странно, приводит к возрастанию «натиска» жидкости. Именно по этой причине Леонард Эйлер, самый выдающийся математик XVIII века, работавший в те годы вместе с Даниилом Бернулли в Санкт-Петербурге, назвал его результат «Великим парадоксом». К концу XX века, надо отметить, разнообразных нестыковок и противоречий в физике накопилось такое количество, что сегодня давно известный принцип Бернулли и как парадокс-то уже почти никем не воспринимается. В учебниках он подается просто как базовый факт гидродинамики, но при этом по сию пору никому так и не удалось сколь-нибудь внятно объяснить механизм этого явления на молекулярном уровне.

##

8
Кроме того, для уравнения Бернулли, играющего в физике жидкостей и газов очень важную роль, не разрешена и еще одна серьезнейшая проблема принципиального характера. Формула взаимосвязи между скоростью и давлением была составлена Даниилом Бернулли для условий некоей идеальной жидкости: несжимаемой, невязкой (то есть не имеющей трения) и пребывающей в состоянии спокойного безвихревого движения.

Но в природе, как известно, для жидкостей и газов характерны совсем иные свойства. Важную роль в поведении жидкостей играет вязкость, для воздуха и других газов в естественных условиях характерна почти бесконечная возможность сжатия, потокам жидкостей и газов практически всегда свойственны турбулентность и образование вихрей. Доказать теоретически справедливость формулы Бернулли для вязких жидкостей или турбулентного движения потока по сию пору никому так и не удалось. Тем не менее, принцип Бернулли без каких-либо изменений и оговорок повсеместно применяется для объяснения огромного количества явлений, наблюдаемых в реальных жидкостях и газах с ощутимыми эффектами трения и вихреобразования.

Вот всего лишь несколько из любопытных явлений, объясняемых принципом Бернулли. Если направить струю жидкости или воздуха из шланга вертикально вверх, а сверху поместить на струю шарик от пинг-понга, то он станет эффектно парить в струе, даже не стремясь покинуть столь шаткое на первый взгляд положение. Более того, это динамическое равновесие оказывается весьма устойчивым, так что небольшие смещения шарика в сторону вновь возвращают его в центральную часть струи. Объясняется это тем, что в самом центре струи давление наименьшее, а сила напора уравнивает гравитацию.

Другой не менее эффектный опыт проводится с двумя массивными шарами, подвешенными на некотором расстоянии друг от друга. Если в разделяющий их промежуток направить струю воздуха из шланга, то вызванное этим снижение давления приводит к взаимному притягиванию шаров. С помощью именно этого эксперимента наглядно демонстрируется, в частности, причина столкновения «Олимпиака» с шедшим параллельно крейсером. Широко известна и более простая разновидность того же самого по сути опыта, когда берут два листа бумаги и в вертикальном положении располагают их параллельно на небольшом расстоянии. Если теперь подуть в промежуток между листами, то они не разойдутся в сторону, как можно было бы предположить, а напротив, словно склеятся друг с другом.

###

Помимо множества экспериментов с парадоксальным результатом, для принципа Бернулли характерны также и неочевидные на первый взгляд теоретические следствия. Например, из этого принципа следует гидродинамический эффект предельной скорости. Суть его в том, что скорость любого тела, движущегося в сплошной жидкой среде, ограничена и не может превысить некоторую конечную величину. Это связано с тем, что согласно уравнению Бернулли увеличение скорости сопровождается непрерывным уменьшением давления. Значит, при некоторой скорости давление становится нулевым. Скорость, соответствующая такому давлению, оказывается для жидкости предельной, потому что при дальнейшем росте нарушается главное свойство жидкости – ее сплошность, то есть непрерывность среды. Иначе говоря, сплошная жидкость перестает существовать, распадаясь на капли. Здесь сама собой напрашивается аналогия с предельной скоростью света в теории относительности, однако сейчас интерес представляют исключительно гидродинамические феномены.

d Несмотря на множество впечатляющих экспериментов, разными способами демонстрирующих парадоксальную механику принципа Бернулли, здесь все равно остаются весьма загадочные вещи. Вот, скажем, очень простой опыт, представляющий собой небольшую модификацию уже упомянутого опыта с двумя листами бумаги. На этот раз нужен всего один лист, который размещают на некоторой высоте над плоской поверхностью стола. Если подуть в промежуток между листом и столом, то бумагу, естественно, прижмет к поверхности стола. Если же подуть точно так же, но теперь не под, а над листом, то всякий человек, знакомый с принципом Бернулли, уверенно предскажет такой результат: скорость потока над листом больше, чем у воздуха под листом, значит, сверху давление меньше и лист должен приподняться.

e Именно такой эксперимент, по сути, и должен демонстрировать образование подъемной силы крыла. Но вся загвоздка в том, что ничего подобного на самом деле не происходит... Скорость воздуха сверху действительно больше, однако даже точнейший прибор диффеоманометр, показывающий разность давлений в двух средах, засвидетельствует – в данном случае никакого различия между давлением над и под листом не наблюдается. И лист бумаги, соответственно, никаких движений не совершает.

f Почему это так, никто толком объяснить не может. Но зато столь озадачивающий эксперимент предельно наглядно демонстрирует, почему в современных объяснениях подъемной силы крыла стараются избегать отсылок к принципу Бернулли.

Как это крутится? [56]

Парадоксальная, плохо предсказуемая и явно недопонимаемая физика движения жидкостей была и остается серьезной проблемой науки. Но в силу каких-то трудно объяснимых причин подавляющее большинство ученых предпочитает делать вид, что никаких проблем здесь не существует – по крайней мере, на элементарном уровне. Очень яркой тому иллюстрацией могут служить вся жизнь и творчество Ричарда Фейнмана (1918-1988), широко известного не только в качестве талантливейшего физика-теоретика и выдающегося преподавателя, но и как человека воистину безмерного любопытства.

С непредсказуемостью гидродинамики Фейнман столкнулся – что называется «лоб в лоб» – в самом начале своей научной карьеры. В 1939 году он закончил Массачусетский технологический институт, а для работы над диссертацией и общего расширения кругозора перебрался в Принстонский университет, где его руководителем стал Джон Арчибальд Уилер. И вот, в первый же год на новом месте, Фейнман живо заинтересовался любопытной гидродинамической задачей, которая в ту пору активно обсуждалась аспирантами и студентами Принстона.

Суть задачи была весьма проста. Имеется разбрызгиватель для лужаек, изготовленный в виде S-образной трубки, по центру закрепленной на вертикальной оси-трубе, подающей воду. Выходящая под напором вода с двух концов разбрызгивателя заставляет его вращаться. Направление вращения очевидно – в сторону, противоположную направлению бьющей из отверстия струи. Затем это же устройство погружают в большой резервуар с водой и вместо разбрызгивания начинают всасывать воду через те же отверстия трубки. Вопрос задачи – в какую сторону теперь будет вращаться разбрызгиватель?

Как с юмором вспоминал впоследствии Фейнман, ответ на задачу практически всем представлялся очевидным. Беда была лишь в том, что у одних трубка наверняка должна была вращаться в одну сторону, а у других – явно в противоположную. Причем оба взаимоисключающих решения абсолютно логично выстраивались на основе базовых физических принципов, так что единственно правильный ответ отыскать чисто аналитическими методами не удавалось никак. Мудрейший Джон Уилер прокомментировал эту ситуацию следующим образом: «Вчера Фейнман убедил меня, что она пойдет назад. Сегодня он столь же хорошо убедил меня, что она будет вращаться вперед. Я не знаю, в чем он убедит меня завтра!».

#

Обнаружив, что теория позволяет с равным успехом объяснить любой из возможных исходов, неугомонный Фейнман решил отыскать истину с помощью наиболее надежного критерия – опыта. Очень подходящей для этого была сочтена гигантская стеклянная бутылка в подвальной лаборатории, где вообще-то велись эксперименты с небольшим ускорителем-циклотроном.

5 К концу резинового шланга спорщики прикрепили изогнутую трубку-разбрызгиватель, засунули эту конструкцию в бутылку, выведя другой конец шланга наружу через отверстие в пробке сосуда. Поскольку насоса для отсасывания воды под рукой не оказалось, но был воздушный компрессор, то опыт чуть изменили. Через другое отверстие в пробке бутылки решили подавать сжатый воздух, резонно полагая, что повышение давления в сосуде точно так же, как всасывание, заставит воду поступать в трубку и покажет направление вращения.

6 Когда пробку как следует закрепили и включили компрессор, вода действительно пошла по шлангу, изогнутая трубка начала вращаться, однако вскоре раздался мощный хлопок – бутылка лопнула, не выдержав давления. Оплетенный сеткой сосуд имел весьма большие размеры, поэтому при взрыве на всю циклотронную лабораторию, включая экспериментаторов, обрушился настоящий водопад. Осколками стекла никого не порезало только по счастливой случайности.

7 Неожиданный финал эксперимента получился, что ни говори, очень впечатляющим. Но более всего Фейнману, по его воспоминаниям, запали в душу слова профессора Дель Сассо, отвечавшего в Принстоне за циклотрон, когда тот подошел к организатору всей затеи и сурово сказал: «Эксперименты новичков должны производиться в лаборатории для новичков!».

##

8 Нет никаких оснований утверждать, что именно этот выдающийся по своему комизму опыт навсегда погасил интерес Фейнмана к гидродинамике. Но в то же время достаточно очевидно, что в своих последующих исследованиях молодой ученый старался держаться по возможности дальше от коварной в своей непредсказуемости физики жидкостей. А последующие грандиозные успехи Фейнмана в науке и блестящее преподавание физики в Калифорнийском университете отразили, по сути, очень важную тенденцию передовых исследований второй половины XX века. Тенденция эта – отчетливое нежелание разбираться с гидродинамическими парадоксами.

9 В частности, докторская диссертация Фейнмана, защищенная в 1942 году, содержала весьма решительную «безволновую» переформулировку квантовой механики на основе принципа наименьшего действия. Традиционная для той поры модель волновых взаимодействий, принятая в максвелловской электродинамике, при переносе в квантовую физику была заменена им на модель взаимодействий частиц, наглядно изображаемых пространственно-временными диаграммами.

а Последующее развитие этих результатов и аппарата графических диаграмм, со временем получивших название «фейнмановских», привело ученого к более точной и согласованной теории квантовой электродинамики. Попутно, удобные и наглядные фейнмановские диаграммы стали общепринятым инструментом для всей физики частиц, поскольку существенно облегчали решение нетривиальных уравнений теории квантовых полей. Лично для Фейнмана главным итогом этой большой и успешной работы стала Нобелевская премия, полученная им в 1965 году.

b Побочным же эффектом чрезвычайной популярности фейнмановских диаграмм стал заметный перекос дуальной корпускулярно-волновой картины квантовой физики. Фундаментальные элементы материи продолжают считать «одновременно волной и частицей», однако бесспорно доминирующая ныне Стандартная Модель описывает все силы природы на «фейнмановском» языке обмена частицами.

###

c В замечательном курсе общей физики, прочитанном ученым в начале 1960-х годов в Калтехе и по выходу из печати быстро получившем всемирную известность как «Фейнмановские лекции по физике», раздел гидродинамики занимает на удивление скромное место. Примерно столько же – две главы – отведено на упругость, а магнетизму, к примеру, посвящено в два раза большее количество глав. Классической же электродинамике, для более адекватного сравнения, уделено 15 глав – это целый том в старом советском и новом российском вариантах издания «Лекций». Более того, в отличие от большинства учебных курсов по общей физике, в лекциях Фейнмана нарушен традиционный порядок тем, так что гидродинамика дается не до, а после электродинамики. По мнению лектора, так проще объяснить материал – «хотя уравнения обоих разделов очень похожи, гидродинамика в действительности является значительно более сложной для освоения областью».

d Главным следствием такого подхода стало то, что всюду, где только возможно, Фейнман уклонился от обсуждения фундаментальных проблем гидродинамики. Важнейшая теорема Бернулли, связывающая скорость и давление потока, в его лекциях – просто закон сохранения энергии, без каких-либо упоминаний необъяснимой парадоксальности физики явления. Совсем мимоходом, буквально двумя-тремя фразами сказано о порождении подъемной силы, причем Фейнман в этом месте умудряется обойтись вообще без схемы действия аэродинамического профиля крыла.

e Короче говоря, лектором сделано все, чтобы не породить у слушателей лишних и неудобных вопросов. Но если в учебных курсах обычных преподавателей подобное стремление вполне естественно, то для фейнмановских лекций это поразительно. Ибо Ричард Фейнман имел абсолютно заслуженную репутацию «великого объяснителя», энергично и дотошно вникающего во все, что могло бы прояснить, как устроен этот мир. Причем он ничуть не стеснялся от лица всей науки открыто говорить примерно такие вещи: «Сегодня наши физические теории, законы физики – это множество разрозненных частей и обрывков, плохо сочетающихся друг с другом. Физика еще не превратилась в единую конструкцию, где каждая часть – на своем месте».

f Блестяще преподавая физику на протяжении многих лет, Фейнман всегда старался привлечь внимание студентов к всевозможным нестыковкам и мутным местам в общей теории. Почему он, при всем своем неистощимом любопытстве, столь явно не желал замечать по сию пору неясные парадоксы гидродинамики – большой вопрос, пока не имеющий ответа.

Как это связано? [57]

0 Как бы ни был компактен раздел Фейнмановских лекций, посвященный гидродинамике, в нем хватило места, чтобы емко и наглядно продемонстрировать суть нерешенных проблем в этой области. Правда, сам лектор в этом месте намеревался продемонстрировать аудитории нечто совершенно иное – циркуляцию жидкости в вертикальной трубе.

1 Для этого предлагается рассмотреть наполненный водой прозрачный цилиндрический резервуар с закрытым пробкой отводным отверстием в центре дна. Фейнмана интересует форма воронки, которая образуется на поверхности воды, если открыть пробку и позволить воде свободно вытекать. Для того, чтобы получился красивый эффект вращения водяного вихря (который все наверняка не раз видели в ванне), жидкость, по мнению лектора, надо предварительно раскрутить палочкой. Хотя поначалу этим создается некоторая угловая скорость вращения, отмечает Фейнман, вскоре циркуляция из-за вязкости затухает и поток становится безвихревым...

2 Любой человек, внимательно наблюдавший за тем, как из ванной вытекает жидкость, отлично знает, что в реальности все происходит совсем не так, как это описано в «мысленном эксперименте» Фейнмана. Ученый, по сути дела, на словах описал суть базовых гидродинамических уравнений, которыми оперируют физики. Из них следует, что циркуляция в жидкости не может возникнуть сама по себе, а если ее не поддерживать, то из-за вязкости циркуляция затухает.

3 Если же эксперимент проводить не с воображаемым резервуаром, а с вполне конкретной ванной, наполненной водой, то очень легко установить, что циркуляция воды над открытым отверстием стока образуется в стоячей воде сама по себе, без всякого помешивания. Причем интенсивность вращения не затухает, а совсем напротив, усиливается, так что воронка увеличивается в глубину и у нее появляется «хобот», вытягивающийся непосредственно до сливного отверстия.

#

4 Теоретического обоснования для этого эффекта – когда безвихревое поступательное движение жидкости порождает и поддерживает ее циркуляцию в плоскости, перпендикулярной потоку – в физике на сегодняшний день не предложено. Но коль скоро вихревое вращение жидкости у сливного отверстия ванны – это абсолютно достоверный и прекрасно известный факт, то он должен быть как-то разъяснен с научных позиций. И вот рождается объяснение через известный в механике эффект Кориолиса, свойственный всем вращающимся системам отсчета и действующий на любое тело силой, перпендикулярной направлению движения.

5 В условиях вращающейся Земли этот эффект отвечает за отклонение маятника Фуко, а для процесса образования циклонов в атмосфере планеты сила Кориолиса очень хорошо объясняет, почему в северном полушарии циркуляция воздушных масс закручена против часовой стрелки, а в южном

полушарии наоборот – по часовой стрелке. По аналогии с циклонами – как следствие вращения планеты – объяснили и воронки в ванной, откуда автоматически следовало, что направление завихрения воды, вытекающей из резервуара, должно зависеть от полушария, в котором вы находитесь.

6 Эта идея со временем обрела столь масштабную популярность, что сегодня ее можно встретить не только в поверхностных научно-популярных книжках и статьях, но и во вполне солидных учебниках по физике. Но при этом, что характерно, никогда не приводятся цифры расчетов. А они свидетельствуют, что из-за очень медленного вращения планеты (всего 1 оборот в сутки) эффект Кориолиса реально не способен влиять на поведение водостока в раковине или ванной.

7 При известных в среднем параметрах – размерах резервуара и скорости жидкости – сила Кориолиса оказывается примерно в 10 тысяч раз меньше других факторов, влияющих на движение. Иначе говоря, чтобы эффект Кориолиса мог бы хоть как-то сказаться на ускорении жидкости, процесс вытекания должен занимать порядка 3 часов. По этой причине специалисты по гидродинамике называют столь популярное объяснение не иначе, как массовым заблуждением или «фарсом Кориолиса».

##

8 Дабы сделать картину еще более загадочной, уместно вспомнить, что аналогичные расчеты применяют также для анализа куда более серьезной проблемы – формирования и поведения разрушительных смерчей или торнадо. Так же, как для воронки в ванной, вычисления и здесь показывают, что значения параметров системы не могут обеспечить непосредственное влияние вращения Земли (эффекта Кориолиса) на направление закручивания смерча. Но поскольку пристальные наблюдения метеорологов за торнадо ведутся на протяжении многих десятилетий, достоверно известно, что вихрь смерча практически всегда (в 99 случаях из 100) закручен как у циклона – по часовой стрелке в южном полушарии и противоположно в северном. Почему так происходит, неизвестно.

9 Впрочем, это далеко не самый загадочный момент в поведении торнадо, физика которых по сию пору остается плохо понимаемой. В частности, нет удовлетворительного объяснения для того, как вращение воздуха в центре грозы опускается удлиняющимся «хоботом» до поверхности земли и становится столбом смерча. Внутри бешено вращающегося столба происходит мощная ионизация воздуха и часто наблюдаются электрические разряды-молнии. При этом специальные доплеровские радары и люди, случайно оказавшиеся в эпицентре бушующей стихии, свидетельствуют, что большинство торнадо имеют в своей сердцевине совершенно спокойную и ясную зону с чрезвычайно низким давлением, что очень похоже на «глаз бури» в тропических тайфунах.

а Среди внушительного множества тех неясных моментов, что остаются в науке относительно физики торнадо, здесь особый интерес представляет эффект, по сути дела обратный процессу водостока в раковине. Если там поступательное движение жидкости, вытекающей через отверстие в дне сосуда, порождает вращение в плоскости, перпендикулярной направлению слива, то в явлении торнадо происходит прямо противоположное. Тут речь идет о таком процессе, когда вращение воздуха или жидкости порождает поступательное движение (отрастание «хобота»), перпендикулярное плоскости циркуляции.

Хотя теоретические основы обоих этих процессов неясны, из экспериментальных наблюдений логично заключить, что имеются веские основания считать их разными сторонами одного и того же по сути явления. Суть которого в том, что поступательное и вращательное движение жидкости неразрывно друг с другом связаны. Иначе говоря, всякое явление вращения жидкости в той или иной степени порождает в ней поступательное движение, также как, соответственно, при поступательном движении возникает эффект вращения.

###

Хотя данный вывод, сделанный сугубо эмпирически, плохо согласуется с общепризнанной теорией для физики жидкостей и газов, на нем хотелось бы настоять особо по двум следующим причинам. Во-первых, именно эта идея - о неразрывной связи вращательного и поступательного движений - не раз фигурировала как чрезвычайно важная в физических снах Вольфганга Паули. Причем особенный акцент, если вспомнить сон «с танцем китаянки», делался на том, как поступательные осцилляции порождают вращение.

Во-вторых же, сколь бы странным это не представлялось, одним из наиболее перспективных, возможно, направлений, сулящих раскрыть тайны связей между поступательным и вращательным движением жидкостей, представляется ныне астрофизика. Здесь в последние десятилетия весьма плотно занялись изучением загадочного и, как выясняется, совсем нередкого во вселенной явления под названием «полярные джеты аккреционных дисков».

Аккреционные (то есть прирастающие) диски - повсеместно распространенный в астрофизике феномен. Этим термином именуют космических масштабов вращающиеся дисковидные структуры, образующиеся из межзвездного материала (газа, пыли), притягиваемого к источнику гравитации. Активные ядра галактик, молодые рождающиеся звезды, протопланетные дисковые структуры - вот лишь некоторые из космических объектов, где отмечаются аккреционные диски разных масштабов. При этом новые телескопы астрофизиков, сканирующие небо в разных частотных диапазонах, показали, что аккреционные диски очень часто порождают узкие струи энергии, или полярные джеты, испускаемые по оси вращения диска.

Физический механизм, порождающий эти джеты, остается неясным. Ясно лишь то, что испускать джет в разных диапазонах излучений могут и диски, вращающиеся вокруг черных дыр, и диски старых нейтронных звезд или белых карликов, и диски совсем молодых звезд, возрастом всего несколько сотен тысяч лет. Причем испускание джетов из родительской звезды происходит не постоянным потоком, а в виде череды импульсов, свидетельствующих об осцилляции источника... И как знать, быть может более глубокое понимание физики полярных джетов поможет пролить свет не только на тайны торнадо, но и на загадки квантовой механики.

[10♣] Иллюзия силы

Скрытые свойства СМ [58]

0 В середине XVII века, в самый разгар Первой научной революции, два французских богослова-католика, Антуан Арно и Пьер Николь, опубликовали весьма острый памфлет «Логика, или искусство мышления» [1]. Главным средоточием мудрости и учености тогда считалась церковь, а в католическом мире самой заметной структурой, претендовавшей на обладание истинным знанием, были иезуиты – по тем временам еще довольно молодой, но быстро набиравший силу и влияние монашеский орден. Против иезуитской схоластики и были направлены острые стрелы темпераментной богословской работы Арно и Николь.

1 Хотя французские теологи преследовали сугубо клерикальные цели и явно не намеревались выступать в поддержку картезианского учения, их антииезуитские аргументы оказались очень созвучны идеям Рене Декарта. По крайней мере в том, что касалось постижения тайн природы и критики так называемых «скрытых свойств», унаследованных в церковной схоластике от аристотелевской философской школы перипатетиков. Об этом весьма распространенном в средневековье методе объяснения вещей Арно и Николь с ядовитым сарказмом писали в своей работе буквально следующее.

2 «Мы предпочитаем измышлять воображаемые причины подлежащих объяснению вещей вместо того, чтобы признаться, что их причины нам неизвестны. И манера, с помощью которой мы уклоняемся от этого признания, весьма забавна. Видя какое-либо действие, причина которого нам неизвестна, мы воображаем, будто открыли ее, присоединив к этому действию общее слово «сила» или «способность», которое не образует в нашем уме никакой иной идеи, кроме той, что это действие имеет некую причину, что нам было хорошо известно и до того, как мы прибегли к этому слову.

3 Так, например, все знают, что наши артерии пульсируют, что железо, находясь вблизи магнита, соединяется с ним, что кассия слабит, что опий усыпляет. Тот, кто не является ученым по профессии и не стыдится незнания, откровенно признается, что ему известны эти явления, но неведома их причина. Ученые же, которые не могут без краски стыда заявить об этом, выходят из положения иным образом и претендуют на открытие истинной причины этих действий, заключающееся будто бы в том, что артериям присуща сила пульсирования, магниту – магнетическая сила, кассии – сила слабительная, а опию – сила снотворная»...

#

4 Все учение Декарта, можно сказать, было попыткой создать в корне иную философию, объясняющую мир на основе интуитивно понятных элементарных причин, а не загадочных и непостижимых «скрытых свойств» и «сил». Которые к тому же все время приходится плодить по мере освоения человеком новых сфер деятельности в период активного развития науки и техники.

5 Устройство мира, правда, оказалось намного сложнее, чем представлялось Декарту. А тут еще вслед за ним в науку пришел Исаак Ньютон, давший «силам» строгое математическое описание и выстроивший на основе «законов о силах» чрезвычайно солидное и крепкое – на века – здание механики.

6 Ньютоновская «сила тяготения» с ее непостижимой природой действия, конечно же, вызвала справедливые упреки картезианцев в попытках возврата к гнилой церковной схоластике. Однако выведенные Ньютоном формулы работали, причем работали прекрасно, а для науки это куда важнее, нежели плохо понимаемая суть явления.

7 Постепенно, к сожалению, владение математическими уравнениями, позволяющее делать предсказания для хода природных процессов и результатов экспериментов, стало восприниматься как «истинное знание причины». Наиболее ярко эта тенденция расцвела в XX веке вместе с появлением квантовой механики, а затем и ее главного потомка – Стандартной Модели современной физики.

##

8 Согласованный комплекс теорий, примерно к концу 1970-х годов выстроенный физиками в рамках единой структуры и получивший название Стандартная Модель, описывает три из четырех фундаментальных взаимодействий – электромагнитную, слабую и сильную ядерные силы. Иначе говоря, все силы природы, исключая гравитацию.

9 Никто не может сказать, почему эти силы такие разные: электромагнетизм действует лишь на частицы с электрическим зарядом; для сильного взаимодействия электрический заряд не важен; слабое же взаимодействие вообще отвечает не за притягивание-отталкивание, а за преобразование одних частиц в другие. Но зато все теории Стандартной Модели описывают эти взаимодействия между частицами в рамках единой картины, где частицы материи (фермионы) не вступают друг с другом в непосредственный контакт, а обмениваются частицами-посредниками (бозонами), иначе именуемыми переносчиками взаимодействий. Столь единообразная схема позволяет надеяться на объединение всех трех сил в одну для области высокоэнергетических взаимодействий, как это уже удалось сделать при объединении электромагнитных и слабых сил.

a Вычислительная мощь уравнений Стандартной Модели столь велика, что в физике частиц они на протяжении всех последних десятилетий с высочайшей точностью предсказывают исходы экспериментов как в атмосфере, с высокоэнергетическими космическими излучениями, так и в ускорителях – при все более нарастающих энергиях взаимодействий, доступных физикам для изучения.

b При этом никто не видит Стандартную Модель в качестве окончательной теории, поскольку она хороша лишь как промежуточный вспомогательный инструмент и не способна дать ученым ответы на множество очень серьезных вопросов относительно количества и свойств фундаментальных частиц природы. Ибо многие из этих свойств установлены чисто экспериментально, но абсолютно никак не следуют из теории.

###

Вспоминая ядовитые стрелы Арно и Николя в адрес иезуитов, в каком-то смысле можно говорить (разве что без всякого сарказма), что и сегодня физика поневоле вынуждена прибегать к приемам средневековых схоластов, оперируя «скрытыми свойствами» материи. Основу главного успеха современной физической науки – Стандартной Модели – составляют тщательно описанные фундаментальные «силы», природа которых остается неизвестной.

В силу исторических причин сложилось так, что физика частиц стала практически синонимом физики высоких энергий. Ибо главным «микроскопом», с помощью которого ученые проникают в тайны устройства материи при самых мелких ее масштабах, являются ускорители частиц. И повышение разрешающей способности такого микроскопа оказывается напрямую увязано с наращиванием мощности ускорителей, обеспечивающих все более высокие энергии взаимодействия для сталкиваемых частиц. Именно поэтому развитие физики за рамки столь успешной, но явно не окончательной Стандартной Модели, как правило связывают с вводом в строй новых, наиболее мощных ускорителей. В надежде, что недоступные прежде энергии столкновений дадут новые результаты и творческий импульс для дальнейшего развития теории к более совершенному виду.

Но есть в этой истории один очень существенный нюанс, о котором все знают, но вспоминать обычно не любят. Физика частиц с точки зрения методологии экспериментов имеет серьезнейший изъян. Попытки в ускорителях высокой энергии можно уподобить крайне своеобразным попыткам разобраться в устройстве очень тонко сработанных, точнейших швейцарских часов – когда их изо всей силы пытаются разбить, используя для этого все более и более тяжелую кувалду, а затем тщательно изучают остатки того, что размазано по наковальне и разлетелось в разные стороны.

Иначе говоря, может оказаться, что в действительности ученые исследуют и предсказывают не столько «устройство часов», сколько плоды своих собственных напряженных усилий. Косвенным свидетельством тому могут быть известные физические явления и эксперименты, которые либо вообще никак не вписываются в Стандартную Модель, либо объясняются ею с чрезвычайно большими натяжками.

[1] A. Arnault, P. Nicole. "La logique ou l'art de penser". Paris, 1664, ch. XIX, § 3

Словно один сквозь другого [59]

0 На сегодняшний день принято считать (и, соответственно, писать в учебниках и научно-популярных работах), что практически «всё, происходящее в нашем мире, за исключением эффектов гравитации, является следствием Стандартной Модели частиц, взаимодействующих согласно правилам и уравнениям теории; три последних десятилетия точнейшие эксперименты тестировали и проверяли СМ в мельчайших деталях, подтвердив все ее предсказания» [1]...

1 Но увы, как это часто бывает, столь красивая картина получается лишь при условии, если полностью игнорировать «неудобные» эксперименты, результаты которых никак не подтверждают теорию. А результатов подобных немало.

2 В качестве ярчайшего тому примера можно привести известные среди специалистов, но по сию пору так и не нашедшие объяснения эксперименты американского исследователя Алана Криша, ныне директора Центра спиновой физики при Мичиганском университете. Еще в начале 1970-х годов Криш одним из первых заинтересовался опытами с упорядоченными протон-протонными взаимодействиями – когда пучок протонов с поляризованным спином бомбардирует спин-поляризованную протонную мишень.

3 Для пояснения сути эксперимента можно напомнить, что на простейшем уровне протон представляют крошечным шариком, вращающимся вокруг своей оси. Соответствующий угловой момент, а также направленную ось вращения называют спином. Обычно спины, то есть оси множества вращающихся протонов направлены в случайных направлениях. Если же все оси-стрелки упорядочить в одном направлении, то это называют спиновой поляризацией частиц. Алан Криш и его коллеги освоили технологии поляризации протонов, как движущихся в ускоряемом пучке высокой энергии, так и стационарных, находящихся в неподвижной мишени, чтобы сталкивать их при разных направлениях спина.

#

4 Результаты измерений в этих экспериментах, проводившихся на ускорителе Аргоннской лаборатории в 1975-1978 годах, оказались поразительными. Когда спины сталкиваемых протонов совпадали по направлению, то рассеяние сталкиваемых частиц происходило вполне обычно и предсказуемо – аналогично неполяризованным столкновениям. Но вот когда спин протона в пучке был антипараллелен (противоположно направлен) спину протонов мишени, то сечение рассеяния очень резко падало. По словам самого Криша, для некоторой части протонов картина столкновения частиц теперь была такая, «словно они проходили друг сквозь друга».[2]

5 Когда эти данные впервые были представлены научному миру в 1977-1978 годах, специалисты были потрясены, поскольку результат абсолютно не вписывался в теорию квантовой хромодинамики. Эта теория, кратко именуемая КХД, к тому времени уже стала доминировать в физике и сегодня является частью Стандартной Модели, отвечающей за сильные ядерные взаимодействия, в частности, за описание структуры протона и его поведение. Но теория КХД давала ученым уверенность, что таких результатов, как у Криша, быть не должно. Спиновые эффекты частиц обязаны исчезать при высоких энергиях взаимодействий.

6 В последующие годы было предпринято множество усилий, чтобы дать теоретическое обоснование «неприятным» экспериментальным данным, однако ни одна из попыток не признана успешной. Видный физик-теоретик, «отец» теории электрослабых взаимодействий и нобелевский лауреат Шелдон Глэшоу охарактеризовал данный эксперимент как «шип в боку квантовой хромодинамики».[3]

7 Одной из существенных особенностей ранних опытов Криша являлось то, что необычные результаты были получены на довольно маломощном по нынешним меркам ускорителе с энергией пучка 12 ГэВ (1 гигаэлектрон-вольт, т.е. миллиард эВ, является общепринятой единицей измерения энергии в данной области и примерно эквивалентен массе протона или нейтрона в состоянии покоя). И хотя КХД оказалась не способна объяснить серьезные расхождения теории с экспериментальными результатами Криша, теоретики сделали вполне четкие предсказания картины рассеяния для дальнейших опытов – столкновений спин-поляризованных протонов в новых ускорителях с более высокой энергией.

##

8 Однако результаты опытов и Криша, и других физиков-экспериментаторов в течение 1980-х годов опять разошлись с предсказаниям Стандартной Модели. Картина расхождений оказалась столь значительной, что сторонники КХД в связи с этими экспериментами стали высказывать сильные сомнения в верности получаемых при опытах данных.

9 Подобные обвинения воспринимаются экспериментаторами очень серьезно, поэтому в ответ на них Криш и его коллеги, в конце 1980-х работавшие в Брукхейвенской лаборатории, создали усовершенствованную протон-поляризованную мишень, обеспечивающую высочайший уровень измерений и небывалую прежде степень – 96% – поляризации спинов частиц. Проведенные в 1990 году эксперименты с новой мишенью и протонным пучком значительно более высокой энергии убедительно продемонстрировали еще большее расхождение опыта с теорией.[4]

a С максимальной достоверностью было показано, что при очень сильных упругих столкновениях протонов имеются чрезвычайно большие спиновые эффекты, в то время как по предсказаниям КХД никаких спиновых эффектов быть не должно. В частности, было показано, что когда протоны с энергией 24 ГэВ бомбардируют неподвижную мишень поляризованных протонов, то примерно на 50% больше протонов пучка отражались налево, чем направо. Теория же предсказывает, что протоны пучка в равных долях должны рассеиваться направо и налево.

b Публикация новых, весьма сильных экспериментальных данных вызвала довольно своеобразную реакцию со стороны физиков, в подавляющем большинстве своем уже отдавших предпочтение КХД. С этой поры теоретики перестали делать точные предсказания относительно параметров взаимодействий, при которых спиновые эффекты должны исчезать.

###

c Поскольку эксперименты со спином протона указывали на серьезные изъяны в общепринятой теории, статьи Криша и его коллег, а также других экспериментаторов, работающих в данной области, явно или неявно стали призывом к пересмотру КХД и к разработке новой теории, согласующейся с получаемыми в опытах результатами для спиновых эффектов.

Однако реальным результатом этих усилий стало то, что спиновые эксперименты стали заметно терять популярность в научных кругах, а имя Криша и его опыты – продолжающиеся до настоящего времени – все реже стали упоминаться в научно-популярных публикациях. Например, в одном из наиболее уважаемых в мире изданий, журнале Scientific American, рассказ о работах Криша последний раз появлялся в 1987 году [5]. При этом, если оценивать ситуацию по существу, можно констатировать, что и спустя тридцать с лишним лет после открытия феномен сильных спиновых эффектов по-прежнему остается одной из неразрешенных загадок физики.

Дабы хоть как-то скрасить эту безрадостную картину, в 1990-е годы была выдвинута идея, что КХД по некоторым неясным пока причинам может вообще не работать для упругих рассеяний, где частицы не меняют свою структуру при взаимодействиях. Таким образом, упругие рассеяния теперь стали рассматриваться как «менее фундаментальные», нежели неупругие рассеяния (изменяющие состав частиц), где, по мнению теоретиков, Стандартная Модель и квантовая хромодинамика в частности должны работать.

Но и здесь экспериментаторы не смогли порадовать теоретиков. Во множестве исследовательских центров Америки, Европы и Японии (Fermilab, CERN, KEK и др.) в течение 1980-1990-х годов были проведены разнообразные эксперименты, так или иначе затрагивающие эффекты спиновой поляризации. И по сути все полученные там данные так и не подтвердили предсказания КХД о том, что спиновые эффекты должны исчезать при высоких энергиях неупругих столкновений.[6]

-
- [1] Gordon Kane. "The Dawn of Physics Beyond The Standard Model". Scientific American, July 2003, p. 68-75
 - [2] Krisch A.D. "The spin of the proton". Scientific American, May 1979, p. 68-80.
 - [3] Krisch A.D. "Violent Collisions of Spinning Protons". XIth International Conference on Elastic and Diffractive Scattering, Chateau de Blois, France, May 2005 (arXiv: hep-ex/0511040)
 - [4] Peterson Ivars. "Proton spin plays key role in smash hits - collisions between subatomic particles". Science News, Nov 3, 1990
 - [5] Krisch A.D. "Collisions Between Spinning Protons". Scientific American, August 1987, p. 42-50
 - [6] Krisch A.D. "Violent Collisions of Spinning Protons". arXiv: hep-ex/0511040

Кризис непонимания [5А]

0 Наряду с электрическим зарядом, спин является одной из важнейших характеристик частиц, определяющих их свойства и поведение при взаимодействиях, а значит и все свойства материи. Причем для той области, которую описывает квантовая хромодинамика, роль спина оказывается едва ли не самой главной.

1 Атом водорода, к примеру, может иметь суммарный спин 0 (+1/2 -1/2) или 1 (+1/2 +1/2), в зависимости от того, антипараллельны или параллельны направления спинов протона и обращаемого вокруг него электрона. Но разница в энергии этих двух альтернатив оказывается чрезвычайно мала, порядка 10^{-15} , то есть лишь несколько триллионных долей от массы протона. А вот если для сравнения рассмотреть другую систему с аналогичной энергией, но управляемую не электромагнитными, как в атоме водорода, а сильными ядерными взаимодействиями, то картина выглядит в корне иначе.

2 Нестабильная частица Δ^+ (дельта плюс, ее знак означает электрический заряд +1) состоит, согласно КХД, из тех же самых трех кварков, что и протон, но с несколько иным сочетанием в направлениях спинов. В результате этих сочетаний спин протона равен 1/2, а спин Δ^+ равен 3/2. Различие спина на ту же единицу, как в атоме водорода, но при этом частица Δ^+ оказывается на целых 30 процентов массивнее протона (1,2 ГэВ против 0,9 ГэВ). Столь существенное различие частиц с одинаковым, в общем-то, составом в теории КХД традиционно принято объяснять энергетическим вкладом от ориентации спинов кварков. Однако и здесь эксперименты не подтверждают теорию.

3 В середине 1980-х годов исследовательская группа EMC (Европейская мюонная коллаборация) занялась тщательным исследованием спиновой структуры протона с помощью ускорителей центра CERN под Женевой. Согласно Стандартной Модели, напомним, элементы атомного ядра - протоны и нейтроны - образованы разным сочетанием кварков U (up) и D (down), иначе именуемых кварками валентности. Сочетаниями-тройками этих кварков (UUD для протона и UDD для нейтрона) принято объяснять электрический заряд, спин и другие известные свойства частиц. Правда, за все годы настойчивых поисков реально так и не удалось ни разу зарегистрировать дробные электрические заряды, приписываемые кваркам (+2/3 для U и -1/3 для D). С другой же стороны, в результате экспериментов EMC в ЦЕРНе было обнаружено, что на самом деле ни один из кварков валентности не отвечает за спин протона и, более того, даже все вместе они дают весьма небольшой вклад в спин протона.[1]

#

4 В последующие годы данные результаты были неоднократно подтверждены и уточнены в других научных центрах, что породило в физике частиц так называемый «спиновый кризис», полностью не разрешенный и по сию пору. Коль скоро на долю 3 главных кварков валентности удалось возложить от силы 20-30% спина протона, настоятельно требовалось отыскать энергетический источник остальных 70-80 процентов. Эту долю в общих чертах разделили на вклад от спина глюонов (частиц-переносчиков сильных взаимодействий) и от орбитального углового момента вращения всей совокупной энергии в нуклоне (включая и глюоны, и мерцающий танец виртуальных частиц - странных

кварков и кварк-антикварковых пар – которые, вообще говоря, не принято считать составной частью окружающей нас материи). В точности рассчитать и объяснить все эти вклады не представляется возможным, так что пока теоретикам остается уповать на итоги более точных и совершенных экспериментов в будущем.[2]

5 Примерно в то же самое время, когда в физике частиц разразился спиновый кризис, в физике твердого тела произошло иное крайне неожиданное событие – открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Явления, с одной стороны, чрезвычайно полезного в смысле разнообразных практических приложений, а с другой – имеющего глубоко неясную для науки природу, противоречащую всем общепринятым теориям.

6 Глубина непонимания такова, что и ныне – четверть века спустя после открытия и очень интенсивных исследований – высокотемпературная сверхпроводимость в сложносоставных керамических материалах, по преимуществу на основе слоев оксида меди, сильнейшим образом продолжает озадачивать ученых. Как шутят сами физики, разных гипотез, пытающихся объяснить ВТСП, сегодня примерно столько же, сколько теоретиков, работающих в данной области.[3]

7 До середины 1980-х годов явление сверхпроводимости, определяемое как полное отсутствие сопротивления электрическому току, наблюдалось только в металлах и металлических сплавах, охлажденных до крайне низких температур менее 23 градусов Кельвина. Но в 1986 году швейцарские физики Георг Беднорц и Алекс Мюллер создали искусственный материал-компунд, оксид меди с примесями лантана и бария, который в обычных условиях является изолятором, однако подвергнутый охлаждению становится сверхпроводником при необычно «высокой» температуре перехода 36 К. Вскоре были открыты еще несколько похожих материалов, включая иттрий-бариевый оксид меди, с температурой перехода выше температуры жидкого азота -196°C (77 К). Это открыло широчайшие перспективы для практического применения сверхпроводимости, поскольку технологии сжижения азота давно освоены и сравнительно дешевы.

##

8 Применительно к понятиям повседневной жизни подобные температуры, конечно, воспринимаются как чрезвычайно холодные, однако для исследователей сверхпроводимости 77К считается весьма высокой температурой. По той хотя бы причине, что имеющаяся у физиков теория допускает сверхпроводимость лишь при температурах в пределах от 0 до 20 с небольшим градусом Кельвина, в зависимости от конкретного материала.

9 Из экспериментов хорошо известна общая особенность всех – обычных и высокотемпературных – сверхпроводников, состоящая в том, что электроны в материале при температуре перехода каким-то образом преодолевают свое взаимное электростатическое отталкивание и образуют пары. Таким образом из электронов формируется своего рода сверхтекучая квантовая жидкость, которая далее движется в проводнике без трения или, иначе говоря, без электрического сопротивления.

а Теория Бардина-Купера-Шриффера (или кратко BCS) вполне удовлетворительно объяснила механизм низкотемпературной сверхпроводимости еще в середине 1950-х годов. По этой теории образование электронных пар,

получивших название «куперовских», происходит в результате взаимодействия электронов с колебаниями кристаллической решетки, представляемыми в виде квазичастиц фононов. Теория BCS создавалась на основе квантовой теории поля, трактующей все взаимодействия как обмен частицами, поэтому представление квантованных колебаний ионов кристаллической решетки материала в виде перемещения квазичастиц было наиболее естественным. Результатом же такого взаимодействия электронов с кристаллической решеткой становилось то, что у объединившиеся в куперовскую пару частиц спины оказывались антипараллельны, а суммарный угловой момент, соответственно, становился равным нулю.

К сожалению, для объяснения высокотемпературной сверхпроводимости этот механизм формирования куперовских пар оказался совершенно непригоден. Хотя в то же время имеется достаточно экспериментальных свидетельств, что и в данном случае спиновые свойства частиц и здесь играют какую-то очень важную роль. Правда, пока не очень ясно, какую именно.

###

Вот что, в частности, показывают недавние эксперименты по рассеянию нейтронов на сверхпроводящих кристаллах. Высокотемпературные сверхпроводники состоят из тонких параллельных слоев оксида меди. Атомы меди лежат в узлах квадратной решетки, причем каждый из этих атомов имеет непарный электрон, а потому и магнитный момент или спин. Взаимное расположение этих спинов в решетке можно установить с помощью экспериментов по рассеянию нейтронов.

В 2004 г. британско-американская команда исследователей (Bristol University & ISIS, Oak Ridge Lab & Missouri-Rolla University) в совместных экспериментах изучала иттрий-бариевый оксид меди (YBCO). Важнейшим их результатом было открытие, что когда образец возбуждается нейтронами, то спины меди отвечают как группа, а не индивидуально. По мнению экспериментаторов, это так называемое коллективное магнитное возмущение означает, что спины решетки сильно взаимодействуют, а эти взаимодействия могут обеспечить «клей», отвечающий за удержание куперовских пар вместе в материале.[4]

Эта идея, впрочем, пока что лишь одна из очень многих гипотез, окружающих феномен ВТСП. Фундаментальная проблема теоретиков далеко не только в том, чтобы отыскать рабочую модель и подходящую формулу, предсказывающую уникально высокие значения температуры перехода в сверхпроводящее состояние в оксидах меди. Уже давно ясно, что сверхпроводимость – это лишь один из аспектов уникальной и сложной диаграммы фазовых состояний, демонстрируемой этим классом материалов.

В зависимости от температуры и уровня добавок примесей, эти вещества могут вести себя как изоляторы, металлы или сверхпроводники. Причем и в обычном, несверхпроводящем состоянии эти материалы демонстрируют весьма необычные свойства. И объяснить этого не может ни одна теория. Включая, ясное дело, и грандиозно успешную Стандартную Модель.

-
- [1] K Rith and A Schäfer. “The Mystery of Nucleon Spin”. Scientific American, July 1999, p. 58-63
 - [2] Claude Marchand. “Nucleon spin structure studies at COMPASS”, AIP Conference Proceedings, Vol. 814. American Institute of Physics, 2006, p.391-395
 - [3] Maurice Rice. “Explaining high-Tc superconductors”, Physics World, December 1999; Valerie Jamieson. “New frontiers in superconductivity”, Physics World, January 2002
 - [4] S. M. Hayden, H. A. Mook et al. “The structure of the high-energy spin excitations in a high-transition-temperature superconductor”. Nature 429, 531-534 (3 June 2004)

Почти мистика [5В]

0 Хотя в научных кругах и принято утверждать, что Стандартная Модель с высочайшей точностью описывает все (кроме гравитации) взаимодействия и явления в окружающем нас мире с помощью совсем небольшого набора частиц, реальная картина, как видим, оказывается не столь благолепной.

1 Например, СМ вообще никак не объясняет сверхпроводимость - ни загадочную высокотемпературную, ни давно, вроде бы, понятную низкотемпературную. Теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера (BSC) появилась примерно лет за 20 до создания Стандартной Модели и продолжает использоваться по сию пору, поскольку в терминах частиц Стандартной Модели внятной теории для этого явления так и не создано. По этой причине при анализе и моделировании сверхпроводимости не принято оперировать кварками-глюонами-бозонами, но зато общепринятой является концепция квазичастиц фононов.

2 Под квазичастицей понимают локальное возмущение в среде, которое ведет себя подобно частице и которое зачастую удобно трактовать именно таким образом. Типичными примерами квазичастиц являются вихрь или уединенная волна (солитон), а простейшей наглядной аналогией квазичастицы может служить пузырек газа в бокале шампанского.

3 Такой пузырек, строго говоря, не является независимым объектом - это просто вытеснение некоторого объема жидкости углекислым газом. Однако этот пузырек на протяжении долгого времени сохраняет свою «идентичность», то есть целостность и определенные свойства, когда движется в среде или всплывает на поверхность. Подобно квазичастице, пузырек имеет характерные свойства объекта - размеры, форму, энергию, импульс. В зависимости от обстоятельств, пузырьки в шампанском могут либо упруго отскакивать друг от друга, либо формировать гроздь и пену. Аналогичное поведение характерно и для квазичастиц в физических системах, будь то в реальных экспериментах или теоретических моделях.

#

4 Из школьного курса физики концепция квазичастиц прекрасно всем знакома благодаря полупроводникам, при изучении свойств которых наравне с реальными электронами, носителями отрицательного заряда, очень удобно использовать виртуальные «дырки», носители положительного заряда. Этот же по сути прием продолжают широко применять и ныне в таких областях, как ядерная физика и физика твердого тела, поскольку введение в теорию квазичастиц, вроде спинов, холонов, фононов, экситонов, поляронов и так далее, оказывается весьма полезным при установлении и предсказании свойств материи.

5 Но при этом на квазичастицы можно ведь посмотреть и с несколько иной стороны. И тогда бесспорная успешность и высокая эффективность этой концепции, сугубо абстрактной по своей природе, дает физикам основания для сильных подозрений, что и все прочие, «реальные» частицы в действительности тоже могут быть возмущениями в некой среде, лежащей в основе всего, а значит и они в конечном счете являются квазичастицами. Причем для подозрений таких имеются очень серьезные основания и в математическом фундаменте теории.

6 Если при помощи обычных слов обрисовать модель протона и нейтрона, получающуюся из уравнений Стандартной Модели, то картина для этих частиц, на которые приходится свыше 99,9 % массы окружающей нас материи, выглядит примерно так. Протон (и нейтрон) состоит из трех кварков, но при этом на долю кварков приходится чрезвычайно мало – всего два процента или около того – от общей массы протона.

7 Кварки стремительно кружат с почти световой скоростью внутри протона, погруженные в мерцающие облака из других частиц. Отчасти это иные кварки, которые материализуются лишь на совсем краткие мгновения, а затем исчезают. Но главным же образом это глюоны, которые «передают силу, связывающую кварки вместе». Глюоны безмассовы и неуловимы, но из теории следует, что именно они несут основную часть энергии протона. А поэтому при разговорах о составе протона или нейтрона более корректно говорить, что они состоят не из кварков, а скорее из глюонов (которые, следует подчеркнуть, вообще не имеют массы покоя).

##

8 Комментируя эту озадачивающую картину, Фрэнк Вилчек, лауреат нобелевской премии по физике за 2004 год, в одном из сравнительно недавних интервью сказал примерно так. Чем пристальнее вы вглядываетесь, тем больше обнаруживаете, что протон распадается на множество частиц, каждая из которых несет очень, очень мало энергии. А те элементы реальности, которые порождают всю эту вещь – кварки – оказываются совершенно крошечными штуковинами в середине облака. По сути дела, если вы проследите за эволюцией всего процесса до бесконечно коротких расстояний, то запускающий все импульс уходит в нуль, зеро. Если действительно как следует изучать соответствующие уравнения, говорит Вилчек, то картина становится почти мистической.[1]

9 Таким образом, формирующие весь наш мир кирпичики материи при попытках пристального рассмотрения «почти мистическим» образом исчезают в ничто. Но при этом не подлежит сомнению, что каждая частица в ядре атома представляет собой стремительное и яростное вращение энергии. Выражаясь образно, это словно никогда не затихающий мощный грозовой тайфун, заключенный внутри сосуда размером с одну триллионную долю сантиметра.

а По словам Фрэнка Вилчека, это чрезвычайно богатая и динамичная структура, поэтому ученым особо приятно, что у них имеется теория, которая может воспроизводить все это на строгом математическом языке. Конечно, куда менее приятно, что вместе с повышением точности уравнений загадочно исчезают и превращаются по сути дела в иллюзию собственно частицы – основа материи и всех сил природы, охваченных Стандартной Моделью.

б Однако, при взгляде на проблему с несколько иной стороны, этот «неудобный» результат может оказаться сигналом и указателем на что-то принципиально важное, но пока упускаемое. Если, скажем, вспомнить, что концепция силы тяготения как иллюзии является одной из ключевых в Общей теории относительности, то намечается несколько необычный путь объединения ОТО и квантовой физики. А именно, считать иллюзией все четыре фундаментальных взаимодействия, а не только гравитацию.

###

Для столь странной, на первый взгляд, идеи в действительности имеется множество оснований. Само понятие «силы» присутствует в классической физике, по сути дела, неявным образом. Силой оперируют без четкого определения, что это такое – просто как некой полезной величиной в уравнениях.

В Стандартной Модели, как вершине новой квантовой физики, все силы природы сведены к трем фундаментальным силам, единообразно описываемым как обмен частицами-переносчиками взаимодействий. Гравитация в такую же схему упорно не вписывается. Но при этом замечательно объясняется в неквантовой ОТО – где «сила тяготения» трактуется как естественное движение объектов в условиях геометрии пространства-времени, искривленного массивными телами.

Подавляющее большинство попыток объединения квантовой физики и ОТО так или иначе сводится к теориям в духе Стандартной Модели, то есть квантованию силы тяготения с помощью гипотетических частиц-переносчиков «гравитонов». Гораздо менее популярны идеи о том, чтобы, напротив, искать пути к новому описанию квантовой физики с позиций ОТО. Но такие пути заманчивы уже по той, хотя бы, причине, что уравнения ОТО верны для всех частиц природы – с массой и безмассовых, электрически заряженных и нейтральных, участвующих как в сильных, так и в слабых взаимодействиях. Короче – для всех видов энергии.

Картина Стандартной Модели, как известно, выглядит существенно иным образом. Одни частицы нужны для электромагнитных взаимодействий, другие для сильных ядерных, третьи для слабых, при увеличении же энергии взаимодействий появляются новые поколения «фундаментальных частиц». По этим причинам вполне логично попытаться взглянуть на всю эту картину иначе – в духе идеи «силы как иллюзия».

[1] Robert Kunzig. "The Glue That Holds the World Together". Discover, Vol 21, No 07, July 2000

[J♣] Картезианские игры

Принцип исключения Гюйгенса [5С]

Идея о том, чтобы рассматривать все фундаментальные силы природы как иллюзию, может показаться странной и экзотической разве что только на первый, крайне поверхностный взгляд. Если же всмотреться в нее чуть глубже и пристальней, то она окажется не только совершенно естественной, но и давно уже пустившей корни в физической науке. Практически в любых областях физики при интерпретации математических уравнений так или иначе приходится использовать идею «воображаемых» сил – будь то центростремительная сила в механике, дырочная проводимость в теории полупроводников или разного рода квазичастицы в квантовой физике.

По этой причине попытку «свести к иллюзии все силы природы вообще» можно рассматривать как логичное завершение уже давным-давно идущего в науке процесса. Фактически, он начался тогда, когда в физике появилась универсальная концепция энергии как запаса количества движения.

Данная идея стала обретать строгую математическую форму лишь к середине XIX века, то есть намного позже работ Галилея и Ньютона. Но случись иначе и располагай эти ученые понятием энергии, то сегодняшняя физика, быть может, вообще не испытывала бы нужды в опоре на концепцию сил.

Подобно «силам», идея энергии точно так же выступает в крайне разных на первый взгляд ипостасях – потенциальной, кинетической, тепловой или энергии как эквивалента массы. Но значительно лучше освоенные наукой принципы преобразований энергии от одного вида к другому дают основания предполагать, что именно через эту идею можно выстроить наиболее естественную картину всех взаимодействий.

Говоря упрощенно, замысел состоит в том, чтобы опереться на ключевую идею общей теории относительности (ОТО) – об искривлении пространства массивными объектами. И далее, по аналогии с гравитацией, рассматривать уже все фундаментальные силы как естественное движение объектов в условиях локального изменения геометрии пространства – из-за соответствующего перераспределения плотности энергии. (В терминах размерности физических величин плотность энергии идентична хорошо известному всем давлению, поэтому движение объектов в условиях разности давлений представляется наиболее естественным.)

#

Хотя Рене Декарт, живший в период между Галилеем и Ньютоном, в силу исторических причин не мог оперировать концепцией энергии, можно говорить, что идея объяснения всех загадочных сил природы при помощи единого естественного подхода по самой сути своей является глубоко картезианской. Тем более, что декартовы вихри являются наиболее внятным физическим воплощением абстрактной идеи энергии – как запасенного движения и способности вызывать перемены.

По этой причине все умопостроения данного раздела вполне логично объединить общим названием «Картезианские игры». Слово «игры» выбрано здесь совершенно умышленно, дабы выстраиваемая конструкция не воспринималась как претензия на некое пафосное откровение. Скорее, как интеллектуальное развлечение или даже провокация – в позитивном смысле этого слова. То есть как подталкивание читателя к собственному критическому переосмыслению вещей, казавшихся привычными и очевидными.

Ну а чтобы эти игры разума не уводили слишком уж далеко, имеет смысл еще раз напомнить предостережение Христиана Гюйгенса, отмечавшего главный изъян в теориях своего современника Декарта: «Он выдвигал свои гипотезы как истины, словно его клятвенное утверждение было равносильно доказательству. Он должен был бы представить свою систему физики как попытку показать, что следует вероятнее всего ожидать в этой науке, если принять исключительно принципы механики. Для науки подобные попытки достойны похвалы, но он пошел дальше и заявил, что открыл абсолютную истину, тем самым препятствуя открытию истинного знания».[1]

Вся история науки доказывает правоту этого утверждения, которое уместно назвать «принципом запрета на абсолютные истины», или покороче «принципом исключения Гюйгенса». И строго руководствоваться данным принципом как на протяжении Картезианских игр, так и всюду далее. В очерченных подобным образом условиях вполне можно считать, что К-игры – это просто попытка продемонстрировать, что следовало бы вероятнее всего ожидать в науке, если опираться на идею «сил как иллюзии». Причем идею отнюдь не абстрактную, а подкрепленную результатами экспериментов и... содержательными снами, естественно.

##

В этом месте представляется чрезвычайно кстати вспомнить один из «физических» снов Вольфганга Паули, неоднократно посещавший его в 1934 году. В этом сне к Паули приходил некий «учитель», своей внешностью напомилавший Альберта Эйнштейна, который настойчиво пытался донести, что квантовая физика является «одномерной частью» более глубокой реальности. Для визуального пояснения этой идеи учитель рисовал на доске последовательность параллельных прямых линий, а затем все эти линии пересекал еще одной, проходящей к ним под прямым углом.

Паули, можно напомнить, находился под большим влиянием идей К.Г. Юнга и пытался трактовать свои сны по преимуществу в юнгианских терминах бессознательного и архетипов. Однако в собственно сновидении, что существенно, на данный счет ничего подобного не упоминалось и речь шла, в общем-то, о физике. И если взглянуть на этот сон Паули именно в таком, «узком» смысле, то в нехитрой картинке на доске при желании можно усмотреть иную достаточно прозрачную подсказку.

Если об этом мире с его законами квантовой физики говорится как об одномерном, а для иллюстрации изображается серия параллельных линий, то означает это, возможно, следующее – наш мир все время сдвигается. Причем происходит это, судя по всему, короткими скачками и в направлении, «перпендикулярном» нашему миру. На что указывает еще одна линия, под прямым углом пересекающая все параллельные. В совокупности же получается более глубокая многомерная реальность.

Естественной интерпретацией этой идеи становится модель мира как 3-мерной мембраны, дискретными шагами смещающейся в пространстве с более высоким числом измерений. Но идея мембраны подразумевает некую сплошную среду, ее образующую и имеющую более плотную структуру, чем окружающее пространство. Эта среда так или иначе присутствует во всех теориях физики второй половины XX века, в разных контекстах нося названия типа «квантовые поля», «физический вакуум», «квантовая пена» и так далее. Общая суть всех этих разных терминов сводится к тому, что в мире, которым занимается физическая наука, не находится места для «пустоты», то есть области, где нет вообще ничего.

###

Любая часть пространства, доступного для наблюдений и экспериментов, обладает вполне конкретными физическими свойствами – энергией определенной плотности и неразрывно связанной с ней геометрической кривизной некоторой степени. Это просто фундамент общей теории относительности. Из второй главной теории – квантовой физики – с необходимостью следует, что вся заполняющая пространство энергия должна быть в квантованном состоянии, то есть распределяется дискретными порциями.

Понятно, что при таких исходных постулатах абсолютно естественным оказывается взгляд на мир мембраны как на пространство мелкозернистой структуры. Еще до рождения квантовой физики такая структура получила название вихревой губки – поскольку под «зернами» или гранулами пространства здесь понимаются микроскопические вихри.

В чем преимущества возврата к такому взгляду на мир? В свое время, на рубеже XIX–XX веков, тяжелой проблемой для ученых была непостижимость физических свойств светоносного эфира. С одной стороны, в высшей степени неосязаемый как газ и текучий как жидкость, чтобы заполнять собой все пространство. С другой стороны, похожий на твердый кристалл, способный поддерживать поперечные световые волны высокой частоты.

Лишь к концу XX века, когда идея эфира уже давным-давно была наукой отвергнута как ненужная, физики-экспериментаторы всерьез занялись необычными свойствами сред с мелкозернистой структурой. Было продемонстрировано, что именно такие мелкодисперсные структуры могут обладать комплексом весьма противоречивых свойств, делающих среду похожей одновременно и на газ, и на жидкость, и на твердое тело. Но при одном очень важном условии – гранулированная среда должна постоянно пребывать в состоянии вибрации.

[1] Цитируется по книге: Edmund Whittaker, «A History of the Theories of Aether and Electricity. The Classical Theories», Thomas Nelson and Sons, 1953. Русский перевод: Э.Уиттекер, «История теории эфира и электричества. Классические теории», Москва – Ижевск, 2001

КИ: Принцип относительности Максвелла [5D]

0 Как представить себе 3-мерное пространство, постоянно вибрирующее в четвертом измерении? Для подобных целей уже очень давно разработан нехитрый способ аналогий, сводящийся к уменьшению числа измерений до более привычных и понятных человеку. Проще всего изображать окружающий мир в виде одномерной прямой линии, однако зачастую это выглядит не очень наглядно. Поэтому оптимальный вариант модели – это плоский двумерный мир, вся материя которого образована частицами, совершающими колебания по оси третьего измерения, перпендикулярного плоскости.

1 Понятно, что сферическая частица, при своих вибрациях вверх-вниз постоянно пересекающая горизонтальную плоскость, для обитателей плоского мира будет представляться неподвижным кругом переменного размера. И если колебания частиц регулярные, то и размер кругов столь же регулярно меняется в интервале от максимума – диаметра сферы – до нуля, то есть вырождения окружности в точку. Эта картина очевидным образом выводит нас на модель Джеймса К. Максвелла, объясняющую порождение волн электромагнитных взаимодействий через «ток смещения» или, иными словами, через механические осцилляции – изменение диаметра – неподвижных частиц в среде эфира.

2 В XX веке от этой модели отказались вместе с отказом от идеи эфира, но коль скоро уравнения Максвелла остались верны, ток смещения стали называть «релятивистской поправкой». Такого рода поправки в квантовую физику вводят для учета эффектов теории относительности, краеугольный камень которой – 4-мерное пространство-время. Иначе говоря, четвертым измерением пространства, перпендикулярным нашему 3-мерному миру, и обеспечивающим осцилляции частиц, вполне логично считать ось времени. Тогда 4-мерная частица, совершающая колебания вдоль этой оси, будет представляться нам – обитателям 3-мерной мембраны – в виде пульсирующей сферы переменного диаметра. Причем частицы не только осциллируют, но и, как достоверно установлено в опытах, постоянно вращаются.

3 Принципиально существенный нюанс при переходе от 2-мерной аналогии к реальной 3-мерной картине – это аккуратный учет эффектов спина частиц. Свойственные частицам микромира целые и полуцелые значения спина имеют, среди прочего, важную геометрическую интерпретацию. Спин фотона, равный 1, означает, что при пространственных поворотах оси вращения частицы для ее возврата в исходное состояние требуется поворот на 360 градусов. А для образующих материю фермионов спин 1/2 означает возвращение в исходное состояние через поворот на 720 градусов. Легче всего эти особенности пояснить волчком на ленте Мебиуса. Если ось вращения волчка направлена вдоль поверхности ленты, то при однократном обходе ленты волчок вернется в то же состояние – как фотон со спином 1. Но вот если ось волчка перпендикулярна поверхности ленты, то при однократном обходе (360 градусов) она будет смотреть в противоположном направлении, а чтобы вернуться волчку в исходное состояние, требуется два обхода (720 градусов). То есть в данном случае перед нами фермион со спином 1/2.

#

Наглядную аналогию тому, что могут представлять собой в условиях вибрирующей мембраны частицы-фермионы – протон и электрон – дает физика осциллонов. Противоположные фазы колебаний осциллона – широкий в основании «кратер» и узкий в вершине «пик» – довольно удачно воспроизводят природу равенства электрических зарядов у столь разных по виду частиц. А волны, расходящиеся в среде от этих согласованных колебаний, обеспечивают взаимное притягивание осциллонов, находящихся в противоположных фазах, и взаимное отталкивание «частиц» в одной фазе колебаний. Но для полноты этой аналогии с электромагнитными взаимодействиями заряженных частиц нужна модель, в которой одни осциллоны словно постоянно пребывают в фазе «кратера», а другие – постоянно в фазе «пики». Ибо неоспоримо, что в нашем мире протон и электрон всегда сохраняют свою идентичность, не обмениваясь этими – внешне очевидно разными – ролями.

Как сконструировать такую модель на основе единственной мембраны – не очень понятно. Зато при добавлении еще одной такой же мембраны, параллельной первой, задуманный трюк оказывается вполне осуществимым. Можно даже считать, что в рассмотрение берутся обе поверхности «физической» мембраны, как и любой физический объект имеющей определенную толщину. Но только сразу учитывать, что физика (и геометрия) промежуточного слоя между поверхностями в данном случае имеют весьма специфические свойства – подобно прослойке изолятора в резисторе Мебиуса. Однако с этими свойствами имеет смысл разбираться отдельно. Здесь же для простоты и наглядности такую жидкую мелкодисперсную мембрану можно представить в виде мыльного пузыря, раздуваемого в состоянии невесомости. (Выражаясь более аккуратно, следовало бы вести речь о пузыре в форме бутылки Клейна.)

Главным условием целостности подобного пузыря является эффект поверхностного натяжения, то есть взаимное притягивание гранул, образующих мембрану. Откуда берется притягивание? Коль скоро гранулы, находящиеся близко друг к другу, в составе всей мембраны быстро движутся в одном направлении, между ними всегда имеется взаимное притяжение вследствие известного в гидродинамике эффекта Бернулли. На микроуровне квантовой физики аналогичный – и также многократно подтвержденный экспериментами – феномен взаимного притяжения соседних объектов принято именовать эффектом Казимира.

Обычно осциллоны наблюдаются в условиях земной гравитации – когда вибрация частиц происходит из-за вынуждающих толчков снизу-вверх и возвратного движения сверху-вниз под действием земного притяжения. Для вибраций в невесомости толчки обеспечиваются импульсами давления изнутри пузыря. Что же касается «возвратного движения», то в условиях модели о нем можно говорить лишь в относительном смысле. Потому что мембрана быстро движется и с каждым толчком сама «догоняет» пики своих осциллонов. Формулируя чуть иначе – подтягивает кратеры основания к вершинам холмов. Именно здесь – если вспомнить о двух слоях-поверхностях мембраны – и заключена суть трюка с «раздвоением и уменьшением симметрии».

##

Привлекая идею Паули о раздвоении и уменьшении симметрии, естественно полагать, что в условиях разделения мембраны пространства на «две стороны», все спины частиц-осциллонов в 4-мерном пространстве выстраиваются не произвольно, а строго перпендикулярно мембранам. То есть в 3-мерном пространстве спин из соображений симметрии может быть направлен куда угодно, однако вдоль оси времени его стрелка смотрит лишь в двух – параллельном и антипараллельном – направлениях. (Примерно по такой же схеме происходит спонтанное нарушение симметрии в структуре антиферромагнетиков под действием магнитного поля.)

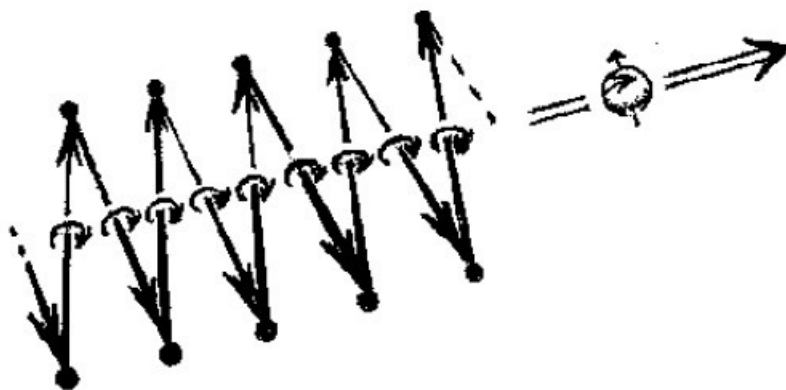
Далее, важно иметь в виду, что толщина всей конструкции – физической мембраны – постоянно изменяется. Под действием каждого толчка давления среда сначала предельно сжимается, когда внутренний слой сдвигается до упора во внешний, – это фаза увеличения внутренней поверхности пузыря. После чего внешний слой максимально отдалится от внутреннего – фаза увеличения внешней поверхности. Теперь, если вспомнить, что мембрана по сути является односторонней поверхностью типа ленты Мебиуса, тогда легче представить, что обе ее поверхности способны порождать ничем не отличающиеся осциллоны – что «снаружи», что «внутри» пузыря (позднее будут разъяснены топологические нюансы этого фокуса). И, наконец, если максимальное расстояние между сторонами – то есть наибольшая толщина физической мембраны – по величине соответствует пиковой высоте осциллонов, тогда получится как раз именно то, что требуется.

Как показывают эксперименты, в условиях жидкодисперсной среды осциллоны имеют вид не «пиков и кратеров», а скорее «холмов и ям» равного в основании диаметра, причем высота холма примерно соответствует глубине ямы. И если считать, что мембрана «жидкая», а ее максимальная толщина равна высоте-глубине осциллонов, то можно предположить, что осциллон одной стороны в состоянии наибольшей амплитуды ямы может достигать поверхности другой стороны – проявляясь здесь как энергетический сгусток в форме вихря-микросферы. Или, иначе, как электрон. Ну а далее осталось лишь увидеть, что именно такая конфигурация в фазах колебаний осциллонов оказывается наиболее устойчивой, когда «яма»-протон и «микросфера»-электрон все время меняются местами, словно перескакивая с одной поверхности мембраны на другую. Что же касается другой фазы колебаний – в форме «холма» – то она здесь выступает в роли античастиц, а значит, иначе говоря, гасится процессами аннигиляции.

Конечно же, все эти умпостроения требуют намного более подробных пояснений и обоснований, однако именно здесь углубляться в детали нецелесообразно. Прежде всего, по той причине, что обоснования для данной модели по естественным причинам пока что носят лишь сугубо теоретический, а не экспериментальный характер. А для обзора теоретических результатов современной науки в этой книге выделена специальная большая часть (West, следующая вслед за этой, East, сосредоточенной, главным образом, на опытах и наблюдениях).

###

Однако, чтобы сразу стало понятнее, насколько глубокими являются основания для выдвижения столь экзотической модели, надо продемонстрировать, что вообще-то она изначально, но только неявно присутствует в базовых уравнениях квантовой физики. В частности, в релятивистском уравнении Дирака для электрона. Это уравнение можно записать в таком виде, что электрон (или другая массивная частица со спином $1/2$) оказывается состоящим как бы из двух частиц, иногда условно именуемых «зиг» и «заг», которые движутся зигзагом, все время превращаясь одна в другую. По сути дела, зигзаг-представление частицы – это и есть реализация явления, именуемого физиками «Zitterbewegung» («дрожание»).[1]

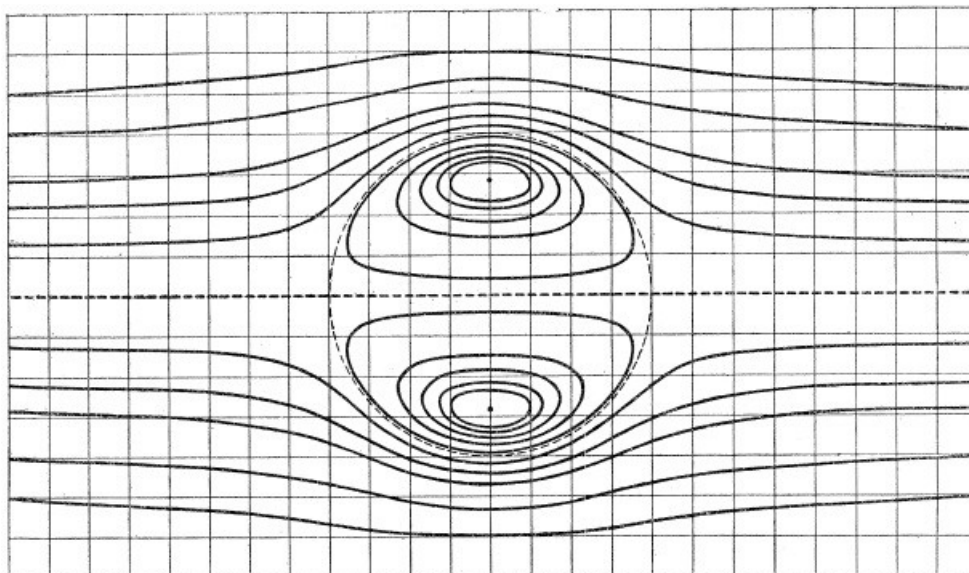


*Зигзаг-представление электрона
(из книги Р. Пенроуза "Дорога к реальности")*

Интерпретируя этот и подобные ему результаты в терминах выдвинутой здесь модели, можно говорить, что они указывают на процесс непрерывных «выворачиваний» мира как бы наизнанку и обратно. Поскольку все это происходит с огромной частотой и совершенно синхронно для всех частиц материи, заметить подобные смещения, находясь внутри системы, чрезвычайно сложно. Однако, учитывая нынешний технический уровень экспериментальной физики, вряд ли невозможно. Как бы там ни было, в основе иного взгляда на природу электромагнитных взаимодействий вновь оказывается древний, казалось бы, «ток смещения» Максвелла, ставший в квантовой физике «релятивистской поправкой». По этой причине для общего обозначения обрисованной здесь новой картины уместно применить название «принцип относительности Максвелла».

Можно продемонстрировать, что на основе этого принципа куда более естественное объяснение получают по сию пору темные в науке места. О решении проблемы с отсутствием античастиц в природе вскользь уже упоминалось. Если же припомнить забытые гидродинамические результаты Карла Бьеркнеса для волновых взаимодействий частиц, пульсирующих в разных фазах, то можно увидеть вот что. Было установлено, что частицы не только притягиваются и отталкиваются, но и в особом случае никак не взаимодействуют друг с другом – когда фаза их колебаний отличается на четверть периода. В ситуации полуцелого спина фермионов разница в четверть периода осцилляций соответствует повороту спина на 180°

градусов. То есть антипараллельным спинам. Иначе говоря, осциллоны с антипараллельными спинами не должны электромагнитно взаимодействовать. Что отчетливо видно на таких примерах, как пары электронов, прекрасно уживающиеся друг с другом на одной и той же орбите в атоме или в куперовской паре сверхпроводника. Или в экспериментах Алана Криша, где сталкивающиеся протоны с антипараллельными спинами «словно проходят друг сквозь друга».



Сферический вихрь Хилла

В качестве завершения картины осталось уточнить, почему электрон уместно называть вихревой микросферой. В конце XIX века, когда британские ученые активно разрабатывали теорию эфира как вихревой губки, профессор Лондонского университета М.Дж.М. Хилл (1856-1929) нашел явное и точное решение для проблемы устойчивых вихревых колец. Решение получило название «сферический вихрь» [2], поскольку соответствующее вихревое кольцо имеет практически правильную шарообразную форму с узкой вихревой воронкой по оси вращения. Интересно, что за все прошедшее с той поры время, несмотря на энергичные поиски, так и не удалось отыскать другого точного решения для проблемы устойчивых вихревых колец. По этой причине вполне логично представлять геометрию электрона в виде сферического вихря Хилла. Более сложную структуру протона имеет смысл рассматривать отдельно.

-
- [1] Roger Penrose, «The Road to Reality. A Complete Guide to the Laws of the Universe», 2004. Русский перевод: Пенроуз Р. «Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель» [Ижевск изд.] (2007)
- [2] M. J. M. Hill, «On a Spherical Vortex», Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Volume 185 (1894). Pages: 213 - 245

КИ: Принцип дуализма Хайда [5E]

0 Обращаясь к природе сильных ядерных взаимодействий, первым делом важно отметить следующий факт. Все частицы, участвующие в электромагнитных взаимодействиях – вроде протонов, электронов, фотонов – на сегодняшний день практически ни у кого не вызывают сомнений в реальности своего существования. Ибо это многократно подтверждено в самых разных экспериментах. Но того же, увы, совершенно нельзя сказать о частицах-участниках сильных взаимодействий – разного рода кварках и связывающих их глюонах – положенных теоретиками в основу строения протонов, нейтронов и атомных ядер в целом.

1 Кварки и глюоны в свободном состоянии нигде и никогда не наблюдаются в принципе. И при этом обладают целым рядом «неправильных» квантовых свойств, словно размывающих четкую границу между фундаментальными категориями частиц – фермионами и бозонами. Кварки несут дробный электрический заряд в размере $1/3$ и $2/3$ от заряда электрона и нарушают принцип запрета Паули, не допускающий для фермионов совместное нахождение в едином квантовом состоянии (из-за чего пришлось изобрести новые квантовые характеристики, разводящие кварки по разным состояниям). Глюоны, в свою очередь, нарушают правила, установленные для бозонов. Являясь переносчиками сильных ядерных взаимодействий, они оказываются не нейтральными, а сами подверженными их воздействию.

2 В рамках теории квантовой хромодинамики эти и многие другие несуразности более или менее успешно разрешены с помощью подгона математических формул под результаты экспериментов, однако физика процессов, описываемых уравнениями, от этого не стала яснее. С другой стороны, в областях, достаточно далеких от физики высоких энергий и квантовой хромодинамики, за последние десятилетия получены весьма красивые результаты, не просто созвучные проблемам и загадкам сильных ядерных взаимодействий, но и проясняющие именно природу квантовых процессов. Речь идет, по преимуществу, о физике твердого тела и экспериментах в области сверхнизких температур, где удивительные квантовые эффекты удается воспроизводить в макромасштабах и измерять с высочайшей точностью.

3 Но начало этой истории, наверное, следует отсчитывать с 1977 года, когда два молодых норвежских физика, Лейнаас и Мюрхейм, опубликовали работу [1], поколебавшую фундаментальные основы квантовой механики. До них всеми предполагалось, что любые частицы и их ансамбли могут принадлежать лишь одному из двух классов – фермионов с полуцелым спином или бозонов с целочисленным спином. Сомнений не было, потому что для трехмерного пространства и большего числа измерений этот факт имеет строгое математическое доказательство. Но Лейнаас и Мюрхейм подошли к задаче с другой стороны, заинтересовавшись тем, как выглядит квантовая физика на плоскости, то есть в условиях лишь двух измерений. И обнаружили, что здесь заряды, спины и другие квантовые характеристики частиц вовсе не обязательно должны появляться как целочисленные кратные фундаментальной единицы. Иначе говоря, возможны произвольные дробные значения спинов и зарядов – как некие промежуточные места в интервале между фермионами и бозонами.

#

Важная работа никому неизвестных норвежских теоретиков, как это часто бывает, поначалу прошла в научном мире совершенно незамеченной. Но пятью годами позже те же самые по сути результаты независимо получил будущий нобелевский лауреат Фрэнк Вилчек [2]. Именно он дал «промежуточным» двумерным частицам прочно закрепившееся за ними имя «энионы» – как производное от английского ANYthing, «что угодно».

4 Также Вилчек ввел для энионов модель трубки потока, где эти квазичастицы имели вид точечных вихрей с собственным электрическим зарядом и магнитным потоком. Построенная на такой основе теория нагляднее демонстрировала, что поведение энионов можно трактовать и как взаимодействие бозонов, и как взаимодействие фермионов. В итоге же данная работа 1982 года сумела привлечь куда большее внимание коллег, обеспечив интерес и к новаторской работе норвежцев.

Повышенное внимание к «абстрактным» и, казалось бы, оторванным от реальности проблемам квантовой теории в плоском мире было вызвано значительными открытиями в экспериментальной физике твердого тела. В 1980 году Клаус фон Клитцинг открыл квантовую разновидность эффекта Холла, хорошо известного в физике с XIX века как изменение проводимости твердого проводника, помещенного в магнитное поле. Клитцинг же установил, что в экстремальных условиях сверхнизких температур и

5 сильных магнитных полей, когда в полупроводнике удастся создать двумерный «электронный газ», эффект Холла заметно меняет характер, так что процесс изменения проводимости из непрерывного превращается в ступенчато-скачкообразный. При этом в пределах каждой ступеньки величина «проводимости Холла» является целочисленным кратным от заряда электрона и постоянной Планка. Зависимость эта настолько строгая и стабильная, что на основе квантового эффекта Холла (КЭХ) был введен международный эталон единицы электрического сопротивления.

А спустя всего 2 года после открытия КЭХ экспериментаторы в США (Д. Цуи, Х. Штермер и А. Госсард) получили крайне неожиданный результат, измеряя эффект Холла в условиях еще более сильных магнитных полей. Оказалось, что при таких условиях в ступеньках проводимости Холла появляются дополнительные плато, соответствующие дробным значениям

6 $1/3$ и $2/3$ от базовой единицы проводимости. Объяснение дробного квантового эффекта Холла или ДКЭХ оказалось для теоретиков куда более непростой задачей, поскольку появились подозрения, что такие результаты косвенно указывают на присутствие носителей с дробными значениями от единичного заряда электрона. Ничего подобного прежде в экспериментах никогда не наблюдалось.[3]

Наиболее удачное объяснение ДКЭХ выдвинул Роберт Лафлин, по гипотезе которого дробное квантование проводимости Холла – это проявление нового состояния материи, «электронной жидкости» [4]. Было предположено, что под действием особо сильного магнитного поля двумерный электронный газ переходит в фазу несжимаемой квантовой

7 жидкости, в плоскости которой элементарные возбуждения-вихри имеют дробный электрический заряд. Поначалу такие элементарные возбуждения Лафлин полагал фермионами, другие авторы полагали их бозонами, но в конечном итоге было показано, что на самом деле эти квазичастицы являются энионами, действительно несущими дробные электрические заряды и подчиняющимися законам дробной (а не фермионной или бозонной) статистики.

##

8 На протяжении двух десятков лет ДКЭХ был фактически единственным экспериментальным фактом, подтверждающим теорию энионов. Очень большие надежды на энионное объяснение высокотемпературной сверхпроводимости, увы, не оправдались. Поэтому обостренный интерес ученых к данному направлению исследований в конце 1990-х заметно ослабел. Но нельзя сказать, что угас. В 2005 году, в частности, появились сообщения сразу о двух новых и независимых экспериментах [5], подтверждающих реальное существование энионов с дробными электрическими зарядами в планарных полупроводниковых структурах, охлажденных почти до абсолютного нуля и помещенных в сильное магнитное поле. Теперь этот надежно установленный эффект надеются использовать при конструировании топологических квантовых компьютеров будущего.

9 Здесь же, в контексте Картезианских игр, интерес представляет не столько практическая применимость феномена, сколько особенности того эксперимента, что был устроен для изучения энионов в нью-йоркском университете Stony Brook группой Владимира Голдмена. В планарном галлий-арсенидном полупроводнике, охлажденном ниже 1 градуса Кельвина и помещенном в сильное магнитное поле, исследователи создали двухмерный электронный газ с различными типами квазичастиц в разных областях. Было продемонстрировано, что центральный круглый «остров» заполнен вихрями-квазичастицами, имеющими одну пятую от заряда электрона, а узкое кольцо вокруг этого острова занимают квазичастицы с зарядом в одну треть. Измерения перемен в электрической проводимости вокруг кольца показали, что квазичастицы в кольце и «острове» могут стабильно рождаться и исчезать лишь группами определенной численности. А это и означает, что наблюдаемые вихри-квазичастицы действительно являются энионами.

а Картину этого эксперимента интересно сравнить с результатами открытия, сделанного почти в то же самое время, но совершенно в другой области исследований – в метеорологии. В сентябре 2003 года в Атлантическом океане и на восточном побережье США бушевал свирепый ураган Изабель. Эволюция этого урагана отслеживалась из космоса с помощью геостационарного спутника GOES-12, который сделал несколько десятков снимков неистовой стихии. В ходе анализа этих фотографий ученые впервые обнаружили редкий феномен – систему вращающихся вихрей в центре урагана. Число этих образований, получивших название «мезовихри», изменялось с течением времени от 8 до 3, сопровождаясь заметными изменениями их размера и скорости вращения.[6]



Мезовихри урагана "Изабель"

Это открытие сильно взволновало метеорологов, потому что реально подтвердило уже имевшуюся гипотезу относительно загадки гигантского и плохо предсказуемого возрастания мощности некоторых ураганов. Опираясь на общие уравнения движения атмосферных масс в условиях двухмерной модели и результаты соответствующих числовых экспериментов на компьютере, американские исследователи Коссин и Шуберт показали, каким образом через образование мезовихрей в непосредственной близости от «глаза» общая масса урагана способна раскручивается значительно сильнее, нежели предполагалось прежде.

###

Нельзя, конечно, говорить, что загадки ураганов теперь удалось разрешить полностью. В частности, не совсем ясно, что именно отличало Изабель от других тропических циклонов и вследствие каких природных причин в сердцевине мощных ураганов образуются мезовихри. Но вряд ли это может служить помехой для обобщенных рассуждений в картезианском духе. И предположить, что описанная вихревая динамика имеет много общего с другой большой проблемой современной физики – «спиновым кризисом» протона или, иначе, непонятным энергетическим источником для 70-80% спина протона. Эту долю, можно напомнить, как «остаток» от вклада 3 кварков валентности, сейчас принято возлагать на совокупный спин глюонов и орбитальный угловой момент вращения всей энергии в протоне, включая весь зоопарк квантовой хромодинамики – странных кварков, кварк-антикварковых пар и так далее.

Понятно, что аналогия с процессами в земной атмосфере наводит на мысль о «плоских» кварках валентности. А также о том, что и все прочие частицы сильных взаимодействий, вероятно, существуют в плоских двумерных слоях нуклона. То есть там, где – как и в атмосфере Земли – поперечный размер образований значительно превышает их глубину. Эта идея представляется тем более правдоподобной, если сопоставить свойства плоских квазичастиц-энионов и частиц квантовой хромодинамики: «не-совсем-фермионы» кварки с их дробными электрическими зарядами и «не-совсем-бозоны» глюоны с их цветовыми зарядами.

Аналогию между сложной многослойной динамикой протона и феноменами процессов в оболочках Земли можно сделать еще более глубокой, если принять во внимание давнее открытие Раймонда Хайда под названием васцилляция. То есть циклическое явление самоорганизации или периодически сменяющих друг друга фаз – когда во вращающейся системе режим общего упорядоченного переноса массы (энергии) сменяется режимом турбулентных вихрей «циклонов» и «антициклонов», после чего эти вихри вновь возвращаются в регулярную фазу, продолжая нескончаемый цикл «качания».[7]

Спроецировав данную картину на теорию квантовой хромодинамики, можно увидеть, что кварки и глюоны оказываются, по сути дела, не разными частицами, а скорее проявлениями разных фаз в сложном, но едином процессе вращения энергии в протоне. Иными словами, можно говорить о двойственной природе квазичастиц-энионов внутри нуклона, в разные моменты ведущих себя либо как почти бозоны, либо как почти фермионы. Эту идею относительно природы сильных ядерных взаимодействий по вполне очевидным причинам разумно назвать «принципом дуализма Хайда».

-
- [1] J. M. Leinaas and J. Myrheim, "On the Theory of Identical Particles", *Nuovo Cimento* 37B, 1-23 (1977)
- [2] F. Wilczek, «Magnetic Flux, Angular Momentum, and Statistics,» *Phys. Rev. Lett.* 48, 1144 (1982)
- [3] D. C. Tsui, H. L. Stoermer, and A. C. Gossard. "Two-Dimensional Magnetotransport in the Extreme Quantum Limit", *Phys. Rev. Lett.* 48, 1559, May 1982
- [4] R. B. Laughlin. "Anomalous Quantum Hall Effect: An Incompressible Quantum Fluid with Fractionally Charged Excitations", *Phys. Rev. Lett.* 50, 1395, May 1983
- [5] F. E. Camino, Wei Zhou, and V. J. Goldman. «Realization of a Laughlin Quasiparticle Interferometer: Observation of Fractional Statistics». *Phys. Rev. B* 72, 075342 (August 2005) ; Eun-Ah Kim, M. Lawler, S. Vishveshwara, and E. Fradkin. «Signatures of Fractional Statistics in Noise Experiments in Quantum Hall Fluids». *Phys. Rev. Lett.* 95, 176402 (October 2005)
- [6] J. P. Kossin and WH Schubert. "Mesovortices in Hurricane Isabel", *Bulletin of the American Meteorological Society*, February 2004, pp 151-153
- [7] R. Hide. "Geomagnetism, 'vacillation', atmospheric predictability and 'deterministic chaos'", *Pontifical Academy of Sciences Acta*, 18, 257-274, 2006

КИ: Принцип неопределенности Гельмгольца [5F]

Логика выстраиваемой здесь конструкции такова, что четвертый, завершающий тур Картезианских игр должен быть посвящен природе слабых ядерных взаимодействий. Или, формулируя то же самое чуть иначе, хотелось бы увидеть, каким образом сконструированная на основе осциллонов модель для базовых кирпичиков материи, протонов и электронов, включает в себя еще два ключевых ингредиента – нейтрон и нейтрино. То есть частицы, особенно важные в процессах распада и ядерных реакциях, при трансформациях частиц и атомов от одного вида к другому.

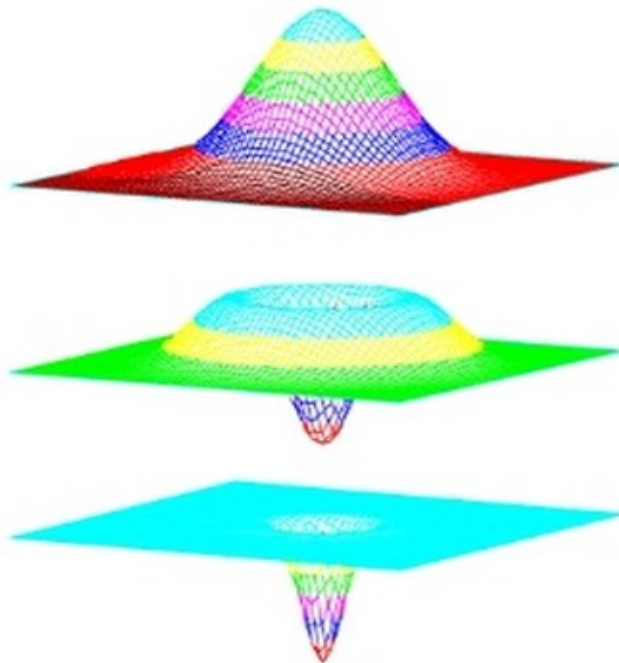
На примерно одинаковые по массе протоны и нейтроны приходится 99,9% массы всей известной нам материи, а остальные 0,1% приходятся на электроны. Вопрос о наличии массы у трудноуловимых нейтрино по сию пору остается открытым и дискутируемым, однако сам факт самостоятельного существования этих частиц в природе не вызывает никаких сомнений. Но поскольку нейтрино всегда фигурирует как непререкаемый участник в процессах взаимных превращений протонов и нейтронов друг в друга, логично предположить, что суть необычного «устройства» нейтрино каким-то образом должна быть связана с различиями в конструкции двух этих массивных частиц. Так что более естественно сначала сфокусироваться на нейтроне.

Эксперименты достоверно свидетельствуют, что внутри нейтрона имеются положительные и отрицательные электрические заряды, очевидно, компенсирующие друг друга. Поскольку при бета-распаде нейтрон превращается в протон и электрон, а в процессе так называемого «обратного бета-распада» находящийся внутри ядра протон может захватывать электрон и превращаться в нейтрон, то наиболее естественное предположение очевидно. Нейтрон – это, видимо, некое подобие нейтрального атома водорода, где электрон также вращается вокруг протона, но только по существенно меньшему радиусу. Собственно, примерно так – как о связанном состоянии протона и электрона – поначалу думали в 1932 году и первооткрыватель нейтрона Джеймс Чедвик, и его учитель Эрнест Резерфорд, и автор идеи о протон-нейтронном строении ядра Вернер Гейзенберг.

Правда, тут же были поняты и принципиальные проблемы такой модели. В частности, фундаментальный квантово-механический принцип неопределенности Гейзенберга не допускал нахождения электронов внутри объема с размерами ядра – если не привлекать какие-то еще дополнительные гипотезы... Накладывая те же самые соображения на осциллоновую модель частиц, можно увидеть, что никаких принципиально новых гипотез привлекать не требуется. Если чуть более тщательно рассмотреть все возможные варианты взаимодействия осциллонов на двух мембранах, то оказывается, что помимо аннигиляции осциллонов, движущихся во встречных фазах колебаний в одной точке пространства, возможен также случай «вложенности». То есть соосных или коаксиальных вибраций для противоположно заряженных частиц – примерно как в «чехарде» пары вихревых колец Гельмгольца.

#

4 Для экспериментального подтверждения этой идеи можно обратиться к недавним результатам [1] Джеральда Миллера и Джона Аррингтона из Аргоннской национальной лаборатории США. Скомбинировав в своей работе две традиционно отдельных области ядерных исследований – упругие и неупругие столкновения частиц – Миллер и Аррингтон сумели значительно изменить устоявшийся взгляд на внутреннее устройство нейтрона. На протяжении десятилетий из экспериментов с упругими (или неразрушающими) столкновениями следовало, что нейтрон – это отрицательно заряженное облако, окружающее положительно заряженную центральную область частицы. Однако теперь установлено, что если принимать в учет не только местоположение зарядов, но и энергетический импульс их переносчиков (как при исследовании неупругих столкновений), то картина выглядит существенно иначе. В самом центре положительно заряженной области обнаруживается отрицательный заряд с высоким импульсом энергии.



Отрицательный заряд в центре нейтрона растет вместе с импульсом его переносчика

5 Иначе говоря, в общепринятых терминах кварков, заряд в центре нейтрона выглядит положительным лишь тогда, когда наблюдаются кварки с низким значением импульса. Однако заряд оказывается все более отрицательным для кварков с наиболее высоким значением импульса. Для кварковой модели в целом это неожиданное открытие ничего не прояснило, а скорее только добавило неясности... Но как бы там ни было, по-прежнему имеется другой надежно установленный и общепризнанный экспериментальный факт – наличие у нейтрона магнитного момента. Или формулируя иначе, факт движения электрических зарядов внутри нейтральной частицы. А для дальнейшего продвижения физики за пределы Стандартной Модели оказывается весьма важным знать, на каком именно расстоянии, в среднем, эти заряды в нейтроне находятся друг от друга.

Любое различие между позициями положительного и отрицательного зарядов должно сопровождаться наличием у нейтрона ненулевого электрического дипольного момента или кратко ЭДМН – то есть нечто вроде электрического эквивалента полюсовому магниту. Однако все, даже самые тонкие эксперименты убедительно свидетельствуют, что ЭДМ нейтрона равняется нулю. В частности, с 1990-х годов измерения ЭДМН с максимально доступной для современной науки точностью проводятся интернациональной командой ученых во французском Институте Лауэ-Ланжевена в Гренобле. Информация о строении частиц добывается здесь не с помощью ускорителей и бомбардировок, а принципиально иначе – из скопления ультрахолодных (находящихся в состоянии очень малой энергии) нейтронов, путем чрезвычайно деликатного возмущения их спинов небольшими электрическими и магнитными полями, а затем наблюдениями за их реакцией на эти возмущения.[2]

Чтобы наглядно представить себе уровень аккуратности, с которой проведены недавние измерения (2006 г.), надо мысленно увеличить нейтрон до размеров нашей планеты, и тогда расстояние между зарядами, доступное экспериментальной проверке, соответствует размерам бактерии, то есть всего лишь несколько микрон. И вот, при столь потрясающей воображение точности измерений, результаты всех экспериментов в Институте Лауэ-Ланжевена свидетельствуют, что ЭДМ нейтрона определенно равен нулю. Иными словами, как бы ни возрастала точность измерений, геометрическое положение центра минусового заряда в нейтроне абсолютно точно совпадает с положением центра плюсового заряда.[3]

##

В силу ряда глубоких теоретических соображений результат с нулевым ЭДМН оказывается для теоретиков крайне «неудобным», поскольку опровергает многие гипотезы о строении вселенной, прежде считавшиеся весьма перспективными. С другой стороны, в сочетании со свежими «неудобными» результатами Миллера и Аррингтона, эти экспериментальные данные могут подтверждать идею о коаксиальной вложенности осциллонов, порожденных с двух сторон мембраны. При самом упрощенном взгляде на эту картину можно считать, что нейтрон представляет собой совместные вибрации протона и вложенного в него по оси времени электрона. Однако с учетом всех известных о нейтроне фактов реальная картина оказывается сложнее.

Во-первых, имеется серьезный набор результатов, свидетельствующих, что нейтрон по своим ключевым свойствам сильно отличается от суперстабильного и по сути дела вечного протона. Общеизвестно, например, что нейтрон, в отличие от протона, в свободном состоянии нестабилен и живет до распада в среднем около 15 минут. Внутри же ядра нейтрон одним своим присутствием вызывает принципиальные перемены даже в протонах. Согласно современным представлениям ядерной физики, протоны и нейтроны внутри ядра постоянно меняются друг с другом местами и свойствами, сосуществуя в виде своего рода промежуточных «резонансов», трансформирующих нуклоны друг в друга. Более того, имеются даже основания предполагать, что нейтрон может находиться в состоянии нейтрон-антинейтронных осцилляций.

Эта замысловатая картина согласованных взаимных превращений нуклонов, обеспечивающих ядру достаточно стабильное существование, по некоторым причинам заставляет вспомнить теорию жонглирования [4] Клода Шеннона. То есть ту практически забытую ныне разработку отца теории информации, которая, на первый взгляд, совершенно никак не связана с передовыми рубежами науки. А сосредоточена целиком на правилах, обеспечивающих бесконечно долгое подбрасывание произвольного числа предметов с помощью заведомо меньшего числа рук. Есть сильное ощущение, что модель осциллонов в сочетании с теорией жонглирования могла бы дать новый взгляд на проблемы стабильности атомных ядер.

Более того, шенноновские исследования в области жонглирования могут, возможно, предоставить еще одну очень важную подсказку – к решению давней проблемы с необъяснимо точным равенством между инертной и гравитационной массой тел. Сконструированный Шенноном робот-жонглер манипулировал мячиками не на подбросах их вверх, а на отскоках от мембраны барабана. То есть ловил мячики не в фазе разгона, а в момент их максимального торможения, когда кинетическая энергия уравнивалась гравитацией. Понятно, что именно так должно быть устроено оптимальное жонглирование предметами. И так же, вероятно, устроено жонглирование осцилляциями частиц на мембранах...

###

Наконец, обращаясь к физике бета-распада и к загадочно-неуловимым частицам нейтрино, следует привести в качестве наглядной аналогии один из любопытных феноменов в физике осциллонов. Но для начала имеет смысл напомнить, что представляет собой, в общих чертах, наиболее известный пример взаимопревращений частиц под названием бета-распад. После того, как нейтрон испускает тяжелый W -бозон с зарядом -1 , сам он превращается в протон с зарядом $+1$. Что же касается короткоживущего промежуточного W -бозона, то он тут же распадается на электрон и электронное (анти)нейтрино – остальные итоговые компоненты бета-распада. Примечательно, что масса W -бозона примерно в 100 раз превышает массу испустившего его нейтрона.

В терминах физики осциллонов для этой картины имеется следующая аналогия. Экспериментаторами, исследующими вибрации в гранулированной среде, уже давно отмечен феномен так называемых «норовистых осциллонов» (rogue oscillon). Суть его в том, что один из обычных прежде «пиков» вдруг неожиданно и самопроизвольно набирает избыточную энергию, выдавая резкий всплеск амплитуды, в несколько раз превышающий норму, и затем распадается. Скучная теория осциллонов пока не имеет подобающего математического объяснения этому явлению. Но несложно углядеть признаки сходства между переходом осциллонов из обычного состояния в «норовистое» и спонтанным бета-распадом нейтрона, в свободном состоянии живущего порядка 886 секунд.

Следуя духу Картезианских игр, сводящих все природные явления к физике вихрей, естественно предположить, что и испускаемая при распаде нейтрона энергия – W -бозон – имеет форму череды вихревых колец. Для первого из них – электрона – ранее уже была обозначена соответствующая форма в виде сферического вихря Хилла. Что же касается остальных колец,

отвечающих за нейтрино, то на этот счет уместно вспомнить о сновидениях. Во-первых, потому что изначально частица нейтрино была интуитивно предсказана «сновидцем» Вольфгангом Паули – для объяснения того, куда девается порция энергии, недостающая в процессах распада при излучении электронов. А во-вторых, в известном сне про черепаху и трех ее слонов был выразительный намек на то, что частица нейтрино имеет вид двух коаксиальных вихревых колец, догоняющих друг друга в нескончаемой игре в чехарду.

Эта примечательная осцилляция пары колец, все время изменяющих размеры и взаимное расположение, проходя сквозь друг друга, дает наглядный пример того, что могут представлять собой регистрируемые в экспериментах осцилляции нейтрино и других частиц. Когда в разные моменты наблюдений одна и та же частица может выдавать признаки не только энергетически разных семейств, но и собственной античастицы. ^f Поскольку неординарная физика осцилляций для пары вихревых колец была открыта Германом Гельмгольцем, имеются все основания для того, чтобы называть это явление, очень важное в слабых взаимодействиях, «принципом неопределенности Гельмгольца»... И на этом считать первые Картезианские игры закрытыми – переходя к не менее важным разделам, посвященным физике фотонов и геометрическим свойствам пространства.

-
- [1] G. A. Miller, «Charge Densities of the Neutron and Proton,» Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007) ; Gerald A. Miller and John Arrington. «Neutron Negative Central Charge Density: An Inclusive-Exclusive Connection». Phys. Rev. C 78, 032201 (2008)
 - [2] P. G. Harris et al. “New Experimental Limit on the Electric Dipole Moment of the Neutron”. New Phys. Rev. Lett. 82, 904 (1999); Philip Harris. “Particle physics chills out”, FRONTIERS - UK particle physics, astronomy and space science, Issue 5, 1999
 - [3] C.A. Baker et al. “An Improved Experimental Limit on the Electric Dipole Moment of the Neutron”, arXiv:hep-ex/0602020, v1: 9 Feb 2006
 - [4] «Scientific Aspects of Juggling». In «Claude Elwood Shannon: Collected Papers». Edited by N.J.A. Sloane and A. D. Wyner. IEEE Press, 1993 ; Peter J. Beek and Arthur Lewbel, «The Science of Juggling», Scientific American, November, 1995, Volume 273, Number 5, pages 92-97.