

Физика.

Поскольку автор данной книги по образованию - физик (закончил МФТИ, факультет молекулярной и химической физики), то стиль размышления физика для него ближе всего.

Физик-экспериментатор, в дополнение к инженерным проблемам по созданию установки, как правило, сталкивается с необходимостью как-то представить полученные результаты на графике. Проблема сведения результата к цифрам обычно не стоит - все современные приборы сразу дают некоторые числа, хотя иногда она и возникает. В этом случае всегда надо попытаться изерить количественно любую величину. Если нет линейки, можно воспользоваться листом в клеточку для измерения длины, нет транспортира - попытаться, вспомнив, что 5 клеточек вдоль и 3 по вертикали дают примерно 30° , самому его сделать и т.д. Иногда характеристика может быть померяна только самим человеком, например, вкус. Но и здесь есть выход - надо собрать много людей и, если есть пять напитков, скажем, вода, квас, кока-кола, пепси-кола и фанга, попросить людей попробовать их и выставить оценку по 10-ти балльной шкале, а потом все это усреднить. Чем больше людей примет участие, тем более точный будет результат. Казалось бы, вода должна иметь ровно ноль (десятке должна соответствовать некая "райская амброзия" - нечто совершенно недоступное), но скорее всего нет - наверняка из 1000 человек один попадет с отсутствием чувства вкуса (больной) и точно поставит всем напиткам по "пятерке", так что, глядишь, вода и даст что-нибудь 0,5 в итоге. Самая большая проблема здесь - нелинейность шкалы - известно, что по правилу Вебера-Фехнера [2] человеческое восприятие не линейное, а логарифмическое, т.е. если интенсивность света меняется как I (канделы), то человек ощущает его изменение как $\ln(I/I_0)$, где I_0 - некая константа. Поэтому, если шкала вкуса среднего человека и будет создана, использовать физические параметры - химические рецепторы, раздражающие рецепторы языка надо обязательно с учетом этого великого закона Вебера-Фехнера.

После того, как полученные результаты представлены на графике произведена их аппроксимация соответствующими кривыми (любой эксперимент, где появляется что-то новое, или, как говорят экспериментаторы "интересное", повторяется как минимум два раза, чтобы избежать артефакта) встает вопрос о том, как его объяснить. Здесь на помощь экспериментатору должен прийти теоретик, который легко и быстро, руководствуясь званиями в своей области, объяснит полученный результат. Конечно, речь идет об идеальном случае, когда такой теоретик доступен. А если нет? Что, если человек сам поставил эксперимент, а надо как-то объяснить полученный результат? Здесь надо сказать о взаимоотношениях теоретиков и экспериментаторов в любом реальном институте, в любой области естествознания. Есть теоретики чистые - сочиняют теории, как правило о наиболее важных фундаментальных проблемах и простому смертному (экспериментатору, которых в науке большинство) недоступны и "прикладные" - объясняют уже полученные результаты, как правило, выходцы из экспериментаторов, изменившие ориентацию в науке. Они более доступны и их можно заинтересовать интересной идеей. Но и здесь есть проблемы. Иногда теоретик создает теорию, выдвигает теорию контрольного эксперимента и ждет, может быть, его и поставят. Но не всегда это возможно, обычно контрольный эксперимент требует очень чистого вещества, низких температур, высоких давлений и вообще очень дорог. Скажем, ни одна из доступных установок его осуществить не может, а создание новой требует очень больших средств. Ни один фонд денег для проверки какой-нибудь идеи, если она не сулит огромной немедленной прибыли или создания какого-нибудь фантастического оружия не даст. Но науку делать надо и тут при счастливом стечении обстоятельств теоретик и экспериментатор идут навстречу друг другу. Первый, так как именно он создал теорию и ее досконально знает, выслушивает идеи экспериментатора о том, что он может сделать (и образец грязный де будет, и вакуум плохой, и чувствительность низкая и т.д.) и может преобразовать свой контрольный эксперимент так, чтобы он оказался более реальным на уже существующих установках. В свою очередь второй, экспериментатор, проникнувшись идеей важности эксперимента, отбросит всякую надежду не трогать уже готовую установку и тщательно обдумает, как ее надо перебрать, чтобы максимально приблизить к необходимой чувствительности, чистоте и т.д. Если очень повезет, на преобразованном приборе будет поставлен модернизированный контрольный эксперимент (уже не настолько идеальный, зато возможный) и теория будет подтверждена или опровергнута. Подобного рода стиль мышления, наверное, возможен и в случае гуманитария, т.к. и там может быть в принципе разделение труда, например, по мнению автора, такое взаимоотношение наверное возможно между режиссером и автором сценария.

Возвращаясь к проблеме экспериментатора, который сам поставил эксперимент и получил некий результат, который теперь надо объяснить. Если теоретика нет, то придется ему самому объяснить полученные результаты. В данном случае речь идет о реальном случае, когда это не проверка теории на синхрофазатроне (там-то как раз с теоретиками нет проблем) а человек всю жизнь работал один. Теперь ему надо идти в библиотеку и читать всю (в идеале) литературу по данному вопросу. Все дело в том,

что экспериментатор, как правило, не очень силен в современных теориях и должен почитать хотя бы некоторые обзоры (основные) по данной теме. Как правило (мой собственный опыт) кто-то что-то подобное уже видел и в соответствующей статье можно найти, что и почему происходит в эксперименте. По представлениям автора, 90% всех наблюдаемых в произвольном эксперименте явлений уже видели, 9% - не видели, но наблюдаемое явление легко может быть объяснено на основе уже имеющихся представлений и только ~1% - это те явления, которые можно считать пионерскими, настоящими открытиями, которые требуют развития новых теорий. На самом деле физик, после того, как он просмотрел все существующие теории, как правило, оказывается перед нелегким выбором - сразу несколько теорий адекватно (в пределах точности эксперимента) описывают полученные результаты. Например, вскоре после открытия высокотемпературной сверхпроводимости (в 1989 г.) в обзорах упоминалось около 20 теорий, которые объясняли высокую критическую температуру. В настоящее время их число сократилось до 2-3 (2003 г.) но явление высокотемпературной сверхпроводимости до сих пор не объяснено до конца. Поэтому, если после детального знакомства с теоретическими представлениями все равно остается две или несколько теорий, не стоит огорчаться - может оказаться, что обе они правильные. Например, я исследовал явление механохромизма органических соединений и наряду с своей собственной теорией механохромизма, связанной с механохимией и искажениями структуры молекул, исследовал существующее в литературе представление о том, что механохромизм - это частный случай термохромизма - цвет меняется в результате локального плавления частичек спиропирана. Оба объяснения правильны, но локальное плавление объясняет только 10^{-5} наблюдаемого эффекта, а основной эффект следует приписать механохимии как явлению, не имеющего ничего общего с локальным плавлением. Оба объяснения правильны и в других обстоятельствах работает именно объяснение, связанное с локальным плавлением. Например, если решетка мягкая, или вещества легкоплавкие, или молекулы маленькие, то за те или иные химические превращения в локальном слое трения будет отвечать уже не механохимия (особенно при T близкой к температуре плавления), а локальный разогрев (или, что также никогда нельзя отбрасывать, некая третья причина, которая работает наряду с первыми двумя и преобладает). Как много работавший в области механохимии, я должен записать для выхода продуктов:

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \dots$$

где Φ_0 - выход за счет механохимических процессов, Φ_1 - выход продуктов за счет термических реакций (тех же самых, что и в обычной химии), Φ_2 - процессы, связанные с генерацией низко-энергетических электронов (экзоэмиссия), энергия ~1-2 эВ, которые неизбежно присутствуют в случае механохимических реакций (см [5]), Φ_3 - процессы, связанные с генерацией очень энергетических электронов (сотни кэВ и ядерными и термоядерными процессами, например, генерацией нейтронов). Такие процессы действительно имеют место, как показал академик Дерягин, при помолоте тяжелого льда, но их выход порядка десятка событий на 1 кг в секунду, т.е. фантастически мал. В реальном эксперименте преобладает либо Φ_0 , либо Φ_1 но это ставит перед физиком-экспериментатором непростую задачу - что выбрать и как?

Физику-экспериментатору придется самому теперь обдумать контрольный эксперимент, который бы точно дискриминировал между двумя теориями (например). Как правило, разные теории дают разные значения при других значениях параметров (например, в случае механохимии это температура образца - достаточно его охладить и Φ_1 должно существенно уменьшиться (хотя и не пропасть, ведь Φ_1 связано с локальным разогревом, т.е. температура образца в момент трения $T = T_0 + T_1$, где T_0 - начальная температура, и ее можно уменьшить, а T_1 - может не меняться, а может и меняться - надо проверять), а Φ_0 меняться не должно - так и можно провести дискриминацию, разделить вклады обоих подходов.

Физик-теоретик в данной ситуации просто оценивает Φ_0 и Φ_1 . Очень редкий в науке случай, когда точные оценки дают $\Phi_0 \sim \Phi_1$. Как правило, оказывается $\Phi_0 \gg \Phi_1$ или $\Phi_0 \ll \Phi_1$ (скажем в 10 раз) и никаких сложностей при более аккуратной оценке обоих вкладов не возникнет.

Все вышесказанное (как мыслит физик в конкретной ситуации) можно рассмотреть на конкретном примере. Чтобы быть объективным (в каком-то смысле), я воспользовался чужой работой, а не своей собственной. Я рассмотрел статью [6] как первую попавшуюся статью (экспериментальную) в лучшем журнале Physical Review B. Эта работа посвящена проблеме твердотельных лазеров в иттрий-алюминиевом гранате, допированном неодимом. Авторы приготовили керамику по уже описанному в литературе методу, и исследовали спектры поглощения (сделанные с высоким разрешением), а также спектры эмиссии, также используя стандартную аппаратуру. Очень часто используемый в эксперименте прием, который использовали и авторы [6], состоял в том, что они "развернули" по одному из

параметров исследуемую систему. В данном случае таким параметром была концентрация Nd, которым допировали эту керамику. Все дело в том, что изменяя уровень допирования (от 1 до 15 %) авторы смогли построить очень важные графики интенсивностей спонтанных линий как функцию концентраций. Используя затем анализ этих зависимостей спонтанных линий от концентрации, авторам удалось доказать, что никаких процессов агрегации допирующих ионов в кластеры не происходит, а все может быть объяснено только статистическим (случайным) распределением ионов допанта в подходящих вакантных местах в керамике. Это и означает отсутствие эффектов высаливания этих ионов или их агрегации вблизи поверхности зерен керамики. Авторы нашли в спектре подходящую "горячую" полосу, удобную для создания лазера, но эта часть работы совершенно стандартна - большое число ссылок на уже опубликованные работы говорит о том, что авторы использовали ранее опубликованные идеи для анализа. Анализ кинетических закономерностей эмиссии был сделан на основе теоретических построений, взятых из других работ (на что в работе [6] имеются многочисленные ссылки) - именно как я и описывал - намерянные кривые затем спрямлялись в координатах с помощью теорий, прочитанных в работах других авторов.

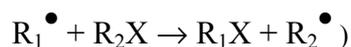
Развернутая по концентрации зависимость эффективности квантовой эмиссии позволила авторам выяснить, при какой же конкретно концентрации допанта будет наблюдаться наилучшая для использования в качестве лазера керамика. Вообще эта идея - развернуть по одному из параметров имеющиеся образцы - очень часто используется в реальном эксперименте и как правило, ведет к новому знанию. Очень важно знать, что развернуть. Конечно, банальные вещи - температура, давление, сила (если речь идет о керамике) и т.д. сразу должны быть приняты во внимание, но обычно все это уже кто-то до вас сделал. Именно нестандартный ход, в каждом случае свой, и позволит получить новое знание.

Когда экспериментатор начинает свой путь в науке, то, будучи еще студентом, стремится все сделать и померять очень тщательно, с максимальной возможной точностью (я сужу главным образом по себе и моим друзьям). При этом он по неопытности допускает большие погрешности там, где опытный экспериментатор их не допустит. Скажем, работая с зеркальным гальванометром, начинающий экспериментатор, прищурив один глаз (как это надо делать при работе с зеркальным гальванометром), очень тщательно меряет временную зависимость силы тока, считывает показания с точностью до десятых долей единицы шкалы и фиксирует время с точностью до секунды. Но примерно через час работы подходит руководитель и проверяет ноль гальванометра. А он уплыл на 1-2 единицы, т.к. гальванометр то греется, то остывает, напряжение в сети скачет и т.д. Соответственно, вместо вполне закономерной экспоненты у начинающего экспериментатора получится закон Кольрауша ($c_0 \exp(-(t/t_0)^\alpha)$). Во времена молодости многие видят такие "эффекты", но с опытом они появляются все реже. Тщательные и многократные эксперименты позволяют избавиться от них, так же как и от артефактов, связанных с шумом. (Вообще все наиболее чувствительные приборы лучше эксплуатировать ночью - сразу исчезает большинство шумов, связанных с электричеством, системой зажигания проезжающих машин, работой метро и т. д.).

С годами приходит опыт и часто человек впадает в другую крайность - стремление все полученные результаты описать уже имеющимися теориями, как правило, наиболее популярной. Теперь он уже намеренно (даже если опыт был сделан весьма тщательно) спрямит кинетику в экспоненте (к примеру), списав все на погрешность эксперимента, и закрыв глаза на "пичок" на кривой, посчитав его случайным выбросом. Это является весьма плачевным, т.к. во многих случаях в современной науке все яркие эффекты давно известны и обычному экспериментатору приходится довольствоваться явлениями второго порядка малости. Если он действительно занимается наукой, то подобного рода несоответствие (пусть оно даже весьма мало) заставит его много думать, а затем переконструировать прибор так, что чтобы данное несоответствие "вылезло" с максимальной четкостью, а если появилась идея, то это может быть такое, то так пересмотреть основную идею опыта и выбрать такой образец, чтобы эффект, если он существует, "вылез" бы с максимальной силой. Здесь очень подойдет то, что я назвал "развернуть по параметру" - посмотреть целый ряд образцов, различающихся какой-то характеристикой - ведь это отклонение не только должно быть у всех них, но его величина должна зависеть от параметра (иногда очень сильно). Конечно, с точки зрения математической логики не исключен вариант, что при снятии зависимости от параметра и именно для данного (исходного) значения параметра и именно для такой характеристики (данного "пичка") был острый максимум (потому его и удалось увидеть), но, как следует из теории вероятностей, произведение вероятностей двух в общем-то маловероятных событий имеет очень малую вероятность, так что этот случай обычно не рассматривают в реальном эксперименте.

Очень интересный вопрос - а со скольких наблюдений того или иного явления на различных системах (а лучше и различными авторами) можно говорить о том, что это - закон? Например, правило

Поляни-Семенова (корреляция между энергией активации и энтальпией реакции передачи свободной валентности:



дает величину энергии активации $E \cong A + \alpha(\Delta H)$ как функцию ΔH - энтальпии реакции и включает в себя несколько сот точек. Это - уже закон. А вот если точек всего 5-6 - это закон или случайность (ведь выбрав из множества точек, где вообще нет никакой корреляции 5 точек приблизительно на одной прямой, можно получить любую корреляцию). Мой опыт показывает, что если всего 5-6 точек в природе и существует (т.е. эксперимент был поставлен на небольшом числе образцов - остальные просто не проверили - нет ни сил, ни времени, ни денег) а лучше если они сделаны разными авторами (разными исследовательскими группами, чтобы избежать малейшей возможности подтасовки) - это наверняка закон. С точки зрения, однако, математики, даже миллион точек - еще не доказательство теоремы, т.е. и правило Поляни-Семенова - всего лишь эмпирический факт, а уж 5-6 точек - вообще ни о каком правиле не может быть и речи. Но в науке реальной, если эти 5-6 точек и будут опровергнуты, скажем 100 точками, то вероятность этого события крайне мала. Более вероятен случай дальнейшего уточнения - если 5-6 точек дают линейную корреляцию ($A+Bx$), то 100 точек уже могут претендовать на большую точность ($A^* + B^*x + C^*x^2$) где $A^* \sim A$ (но уточнено) $B^* \sim B$ (но уточнено), а C - совершенно новый член.

Каков же основной мотив в работе экспериментатора? По моему глубокому убеждению - честность при построении графиков и представлении результатов. Очень опасной является тенденция к намеренному увеличению ошибки (больше, чем реально существует) с целью "положить" полученные результаты на уже известную теоретическую кривую. Гораздо лучше честно построить все как есть, дело в том, что затем более опытный теоретик сможет, просматривая эту статью, убедиться, что тот эффект, который он честно посчитал, действительно наблюдаем, ну а то, что авторы сами его не объяснили или объяснили неверно - так и не могли они, слишком слабо их понимание всей сложности процессов, но вот если они спрятали что-то - это уже удар по всей науке - ведь теоретик тоже часто что-то предсказывает "на уровне шумов" - оценка может быть только по порядку величины, и если ничего нет - он может решить, что что-то не так сделал, или вообще прийти к неверному выводу. Вдобавок, по моему мнению, честные отклонения от хорошо известной теории заставляют ум экспериментатора не лениться, улучшать свою установку, разбираться с шумами, с примесями, тем самым только улучшая эксперимент.

Автору приходилось заниматься и теоретической физикой, главным образом потому, что в силу сложившихся обстоятельств он был вынужден заниматься теоретической интерпретацией своих собственных экспериментальных результатов. В основу работы теоретика положен принцип: правильно поставленная задача. Для начинающего это очень трудно. Все дело в следующем: слишком общая постановка задачи приводит к тому, что исходная задача оказывается раздробленной на множество подзадач. Например, некто хочет исследовать процесс трения двух молекулярных кристаллов в общем виде. Сколько нерешенных проблем! Кристаллы неидеальны - надо знать их структуру вблизи поверхности, распределение дефектов по видам и по энергиям; раз речь идет о трении - надо решать проблему деформации неидеального кристалла, а в нем еще и примеси, а они распределяются неравномерно - имеют тенденцию к кластеризации, а раз кристалл неидеальный, то и вакансии будут появляться, а они начнут взаимодействовать с примесями... Десятки проблем, и ведь каждую можно раздробить еще на десятки, и это еще не процесс самого трения, а только преамбула! В общем, можно закопаться на всю жизнь. Поэтому так важно еще в начале попытаться выделить один из факторов, определяющих исследуемое явление, и именно ему посвятить работу. При этом возможно, теоретик не угадает, и будет исследовать некий второстепенный процесс - что же, в другом случае, при решении другой проблемы он может оказаться решающим (см выше, рассуждение о нескольких работающих объяснениях). С другой стороны, чрезмерно упрощенная задача обычно сводится к какому-то идеальному случаю применения единственной формулы и больше подходит в качестве вузовской задачи (иногда очень интересной) и становится по плечу физико-экспериментатору, который, конечно, должен сам писать теории и делать предварительные оценки своих экспериментов (для того, чтобы быть уверенным в том, что ожидаемый результат лежит в пределах достижимости используемой аппаратуры).

В качестве примера для обсуждения метода мышления современного физика-теоретика я также взял наугад теоретическую статью из лучшего журнала физиков Phys.Rev.B. Этой статьей оказалась [7]. Работа двух физиков-теоретиков посвящена исследованию эффекта Кондо в квантовых точках с четным числом электронов. Эффект Кондо был открыт в 20-м веке для металлов с примесью атомов металлов, которые имеют ненулевой спин. Все дело в том, что при пропускании тока через такой металл идет

процесс рассеяния электронов на атомах, которые имеют ненулевой спин (за счет того, что и электрон имеет ненулевой спин). При понижении температуры происходит достижение такой точки, когда электроны, ответственные за проводимость (коллективизированные электроны) выстраиваются около атома примеси, имеющего ненулевой спин на более глубоких орбиталях (d, f - орбитали) и своими спинами частично компенсируют магнитный момент атома примеси. Это проявляется в изменении магнитного вклада (рассеяние магнитных моментов) в проводимость, что проявляется в наличии максимума проводимости на кривой проводимость-температура при низких температурах. Другое проявление эффекта Кондо - выход магнитной восприимчивости образца на насыщение при стремлении температуры к нулю. Под температурой Кондо T_K понимают ту температуру, при которой достигается максимум проводимости. Именно для температуры ниже температуры Кондо магнитная восприимчивость перестает расти и остается конечной при $T \rightarrow 0$.

Квантовые точки появились сравнительно недавно - примерно 20 лет назад. Их прелесть для физиков-экспериментаторов заключается в том, что в них с помощью Кулоновской блокады (приложение напряжения) можно запереть нужное количество электронов (четное или нечетное). После этого квантовая точка с точки зрения теории начинает представлять собой трехмерную потенциальную яму, с уровнями энергии, определяемыми формой и размерами образца, в которой на верхнем уровне энергии нужное вам число электронов - идеальный объект для теоретических исследований, где много параметров (в частности, число электронов, а значит и спин всей квантовой точки) можно регулировать. Если число электронов нечетное, то и спин всей квантовой точки равен $1/2$ (т.к. четное число электронов при большом расстоянии между уровнями даст электронные пары, спин каждой равен нулю и суммарный спин также будет равен нулю). С учетом подводящих проволок квантовая точка будет представлять собой модель атома со спином равным нулю или $1/2$ в зависимости от числа электронов в ней. При низких температурах электроны из проволок, отвечающие за проводимость, будут взаимодействовать с тем уровнем энергии, на котором сидит верхний электрон. При этом магнитный момент квантовой точки (квазиатома) также (аналогично случаю металла) влияет на проводимость, приводя к эффекту Кондо в квантовых точках. Оказалось, что иногда эффект Кондо будет наблюдаться и в квантовых точках с четным числом электронов. Иногда в квантовых точках наблюдается расположение поблизости двух энергетических уровней с разной симметрией. Поскольку два уровня квазивырождены, то в соответствии с правилом Хунда нижним состоянием будет триплетное состояние. При этом будет наблюдаться эффект Кондо. Наконец, в очень сильном магнитном поле ниже по энергии триплетное состояние (в нужном поле) будет находиться точно на уровне синглетного (для отрицательного значения оюменного интеграла) и за счет взаимодействия двух уровней снова будет проявляться эффект Кондо (спины распарятся и общий спин станет равен 1, а электроны из проволок будут взаимодействовать с этим спином).

Поскольку вся статья в целом будет понятна лишь специалисту, я остановлюсь в общих чертах на подходе к данной проблеме, рассмотренном в данной статье (этот подход стандартен для всех теоретических статей: постановка задачи, модель, Гамильтониан, его анализ с помощью математических методов стандартных и нестандартных, выводы и возможность контрольного эксперимента). В данной статье [7] приводится следующая постановка задачи. Рассматривается случай синглетного и триплетного уровней энергии, разделенных энергией Δ (больше и меньше нуля), на которых расположено два дополнительных электрона; на фоне синглетного состояния всех остальных $N-2$ электронов, которые рассматриваются как вакуум $|0\rangle$. Эти два электрона описываются одним членом гамильтониана. Подводящие проволоки описываются еще одним членом гамильтониана, третий член гамильтониана гамильтониана отвечает за туннелирование электрона через точку. Есть еще члены гамильтониана, отвечающие за перевороты спинов (флип-флоп процессы) находящихся на двух верхних уровнях в точке и член гамильтониана, отвечающий за обменные процессы, которые сопровождают рассеяние электронов проводимости.

Полученный гамильтониан анализируется на предмет получения дополнительных уровней энергии вблизи уровня Ферми, что и отвечает за эффект Кондо, а также проводимость через точку как функцию введенных параметров: Δ , T , и силы внешнего магнитного поля.

Вообще в теоретической физике для анализа гамильтониана придумано множество методов, описание некоторых из них можно найти в классическом учебнике [8]. Часто используется теория возмущений. Для того, чтобы заниматься теоретической физикой, надо быть сильным математиком, иногда самому придумывать новые методы решения, те математические изюминки, которые и позволят преобразовать гамильтониан, разобраться с его структурой и выяснить его поведение. В данной работе [8] авторы использовали *poor man's scaling technique* (статья написана на английском языке и точный

перевод этого метода упрощения гамильтониана на русский язык мне неизвестен) и метод среднего поля. Оба подхода дают похожие окончательные результаты для температуры Кондо и проводимости. В данной статье все приведенные подходы можно считать стандартными (с точки зрения автора) математическими приемами.

Далее я бы хотел рассмотреть такую важную проблему, как взаимодействие между гуманитарным и техническим стилем мышления. Принято считать [9] что гуманитарный стиль мышления (в понимании автора [9], приложившего его к анализу естественно-научных законов очень близкий к языковедению, анализу слов, которые определяют те или иные физические и химические явления) расковывает мышление, позволяя людям с естественно-научным, математическим стилем мышления придти к новым ассоциативным идеям. В принципе это правильно, но только потом эти идеи надо проверять или математически (теоретическая физика) или экспериментально (экспериментальная физика). До тех пор пока эта ассоциативная идея не проверена и не изложена в математической форме, она не может считаться научной мыслью. Но даже и после этого это - всего лишь гипотеза. Для примера я бы хотел рассмотреть такое явление, как трибоэлектризация твердых диэлектриков.

Экспериментально доказанный факт заключается в том, что при трении двух поверхностей органических веществ происходит появление свободных радикалов и ионов на поверхностях после трения. Хотя и это было известно довольно давно, я лично столкнулся с этим явлением при своей экспериментальной работе и это явление потребовало адекватного объяснения, т.е. теории. Я хочу восстановить ход своих мыслей и показать, что к тем идеям, которые появляются при попытке объяснить тот или иной феномен, нужно относиться очень осторожно - они могут увести очень далеко в сторону от правильного объяснения. Вот те ассоциации, которые возникли в моем сознании. Все мы знаем, что при трении сухого дерева о сухое дерево появляется пламя (методы разжигания костра древних людей). Значит, логично предположить высокие температуры на поверхности. Известно, что классическим способом генерации радикалов является как раз термолиз веществ, да и ионы появляются при высоких температурах (ионизация в плазме). Значит, наиболее естественная мысль - и радикалы, и заряды - следствие высоких температур, развивающихся на поверхности при трении. Поэтому наиболее логичная гипотеза - появление локальных высоких температур. Эта гипотеза прекрасно работает для некоторых неорганических веществ, но для органических не выдерживает никакой критики - надежно установлено, что повышение температуры существенной роли не играет (см. выше про механохромизм) [10]. Таким образом, я хочу подчеркнуть, что эти ассоциативные идеи (их задача, по Гачеву [9, с.27] "натолкнуть и тех и других [и ученых-естественников, и гуманитариев] на не подозревавшиеся доселе ими ходы и пути ума, ассоциации идей, фактов и проблем") на самом деле не более чем предположение. Реально процессы механохимического генерирования радикалов и ионов (зарядов), как я показал [10,11], достаточно сложны и требуют для своего описания привлечения таких понятий, как жесткость матрицы, смена механизма химической реакции. Как оказалось в действительности, для объяснения такого явления как электризация человеческих волос о пластмассовую расческу понадобилось развить довольно сложный раздел химии [12] решить задачу на более глубоком уровне познания и лишь затем сделать более или менее простой вывод из очень общих положений (решить, так сказать задачу не "в лоб", а "с тыла"). Интересно напомнить, что и великую теорему Ферма в 1995 году доказали тоже лишь как следствие доказанной гипотезы Таниямы [13]. "В лоб" за 360 лет ее доказать так и не смогли.

В довершение раздела, посвященного физике, я бы хотел рассказать о применении физического подхода (естественно-научное мышление) к анализу того, что часто используется в художественной литературе как устоявшиеся обороты, скажем, народные мудрости (задача, прямо противоположная рассмотренной в [9]). Например, "камнем пошел на дно". Надо записать уравнение падения камня на дно. Для упрощения задачи берем шар из гранита (плотность $\rho_r=2260 \text{ кг/м}^3$, диаметром $R=0.05 \text{ м}$, падающий в воде $\rho_v=998 \text{ кг/м}^3$

[14]. Имеем: масса $M=\rho_r[4\pi/3]R^3$ - для шара и закон Ньютона имеет вид:

$$ma+F_{\text{тр}}=mg-F_{\text{арх}}$$

где m - масса, a - ускорение, $F_{\text{тр}}$ - сила трения, $F_{\text{арх}}$ - сила Архимеда, действующая на шар со стороны воды, g - ускорение свободного падения $g=9.83 \text{ м/с}^2$

Сила трения будет определяться двумя параметрами: вязкостью (закон Стокса) и гидродинамическими параметрами (пропорционально квадрату скорости).

Для закона Стокса ($\eta=1.004 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ - для воды при $20 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$F_c=6\pi\eta Rv=6 \cdot 3.14159 \cdot 1.004 \cdot 10^{-3} (\text{Н/м}^2 \cdot \text{с}) \cdot 0.05(\text{м}) \cdot v=9.4625 \cdot 10^{-3} \cdot v$$

(если скорость выражена в м/с, то сила будет выражена в Н)

Для гидродинамического закона трения я сделал оценку из закона Бернулли:

$$\rho V^2/2 + \rho gh + P_0 = \rho V_{\text{пов}}^2/2 + \rho gh + P$$

здесь V - скорость шара (она равна скорости набегающей струи для рассмотрения закона Бернулли), $P_0 = 0$ - лобовое давление в струе вдали от шара, $V_{\text{пов}}$ - скорость остановленной струи на поверхности шара (в первом приближении она равна нулю), P - давление в остановленной струе на поверхность шара (именно это давление создает силу гидродинамического трения). Получается:

$$P = \rho V^2/2, \text{ а сила } F_t = P \cdot S = \pi R^2 \rho V^2/2$$

F_t - сила гидродинамического трения, S - поперечное сечение шара набегающему потоку (в системе координат, связанной с шаром).

В действительности при движении вдоль поверхности шара струя не останавливается, а скорее меняет направление, поэтому реально шар передает меньший импульс воде. Соответствующий коэффициент можно взять в справочнике, например, в [16] для шара он равен 0,1-0,4, я взял 0,1.

$$F_t = P \cdot S = \pi R^2 \rho V^2/20 = 0,3919V^2$$

Для скорости ~ 1 м/с и выше $F_t \gg F_c$ и силой вязкого трения можно пренебречь. Далее, сила, которая тянет камень вниз, равна:

$$mg - F_{\text{арх}} = (4/3)\pi R^3 g(\rho_r - \rho_v) = 6,495 \text{ Н}$$

Окончательно получается уравнение:

$$1,18x'' + 0,39(x')^2 = 6,5$$

Решение его имеет вид:

$$x' = 4,071 [\text{sh}(1,348t)] / [\text{ch}(1,348t)]$$

Для скорости (предельная скорость при $t \rightarrow \infty$ равна 4,071 м/с), я предположил, что у поверхности воды камень просто отпустили, т.е. его скорость в начальный момент равна нулю.

Решение для координаты имеет вид:

$$x = 3,02 \ln[\text{ch}(1,348t)]$$

Легко видеть, что реальная скорость килограммового камня довольно мала (4 м/с и она устанавливается за время порядка секунды). Следует заметить, что в воздухе тот же камень за секунду разовьет скорость около 10 м/с.

Конечно, писатель, написавший "камнем пошел на дно" имел в виду очень быстро (на самом деле плотность камня не очень велика, свинцовый шар пойдет на дно гораздо быстрее) и он никак не мог разделить эти два режима - ускоренный и со стационарной скоростью.

В принципе все вышеприведенные рассуждения могут вызвать улыбку, но их задача - показать, что при выдвигении идей наш мозг работает нелинейно (на уровне "камнем пошел на дно", "высек искру из камня") и к такому анализу надо относиться не более чем к идее - ее обязательно надо оцифровать и тогда выявится вся сложность явления. Современные физики-теоретики работают столь далеко от непосредственно наблюдаемой действительности, что уже не могут себе вообразить ни шестимерную силу, ни суперструну - это не более чем математические построения. Мне кажется, что любая попытка вообразить, что-либо мысленно в этом случае, выдвинуть идею на уровне здравого смысла заранее обречена на провал и принесет мало пользы. Только опираясь на законы симметрии и математические преобразования уравнений и можно что-то действительно понять.