

Инженерное дело

Как я уже писал в своей книге, в главе, посвященной философии, современная наука уже далеко ушла от тех примитивных приборов, которые были в деле в 17-18-м и отчасти в 19-м веке. XX-й век стал веком невиданных достижений научной мысли, включая естествознание, но в то же самое время в этом веке научные приборы становятся все более и более масштабными и дорогостоящими. Синхрофазатроны, токамаки, сверхпроводящие магниты, телескопы представляют из себя чудо инженерной мысли. На самом деле теперь любому ответственному эксперименту предшествует длительная инженерная подготовка, заключающаяся в том, что надо спроектировать и создать очень иногда масштабный прибор. Поэтому задолго до того, как будет снят первый спектр того образца, который был интересен для исследователей, необходимо применить науку в той ее части, которая посвящена инженерному делу. Это значит, что надо долго рассчитывать установку, вычислять положение отдельных частей и механизмов прибора, затем тлаживать его, регистрировать предварительные спектры, все это тоже можно назвать наукой. На самом деле я ранее все это назвал инжинирингом - англоязычное слово, означающее инженерное дело. Все дело в том, что при применении науки в инженерном деле, при расчете установки вначале активно используется теоретическое знание, но устаревшее, в том смысле, что все формулы хорошо известны и то, как работает установка, заранее можно сказать (в теории, потому что на практике все может быть гораздо сложнее). Это - так называемое рассудочное знание [24], которое соответствует уже устоявшемуся представлению о происходящих явлениях. Затем следует то, что можно назвать экспериментами на уровне инжиниринга - ведь экспериментальная установка, особенно только что собранная, сама представляет из себя объект познания и может быть исследована с точки зрения науки как нечто имеющее естественное происхождение. Горькой шуткой является тот факт, что обычно сложная установка, пусть даже собранная очень опытным инженером, ведет себя совсем не так, как предполагалось в теории, и действительно, совершенно непредсказуема. Но эти эксперименты можно назвать экспериментами лишь на низшем уровне, поскольку априори ясно, что никакого нового знания получить не удастся. Стил мышления ученого-инженера можно охарактеризовать следующими положениями: вначале надо с помощью тех или иных инженерных решений спроектировать основные узлы установки, затем их собрать воедино и можно приступать к достаточно длительному периоду отладки. Главное при проектировании отдельных узлов - их способность противостоять случайным внешним воздействиям, намного превосходящим проектируемые шумы (я имею в виду случай, когда шумы малы, скажем, механизм часов). Речь идет о так называемом человеческом факторе, когда ту или иную хрупкую часть можно ударить и при этом она может выйти из строя. Все дело в том, что, если позволяют обстоятельства, лучше проектировать так, чтобы эта установка или ее часть выдерживала проектируемый человеческий фактор. Скажем, прикреплять на 20-ти килограммовый блок где-нибудь сверху ювелирной точности резонатор очень опасно - столь тяжелый блок при ручной переноске обязательно уронят и резонатор не починить. Даже если и не уронят, при вставлении в прибор обязательно зацепят за резонатор с тем же самым результатом. Лучше спроектировать крепление отдельно от блока. Это неверно при проектировании тех установок, где воздействие при монтаже намного меньше расчетной нагрузки. Скажем, станина магнита ЭПР-спектрометра впоне выдержит удар кувалдой и о человеческом факторе, когда на нее могут уронить, скажем пробирку, можно не думать.

Мой собственный опыт в проектировании приборов [27] говорит о том, что после стадии сборки и отладки следует стадия оптимизации всех параметров, все эти параметры (углы вращения, частоты преобразования) настраиваются так, чтобы получить максимум чувствительности и (или) избирательности прибора.

Снова остановлюсь на двух статьях - теоретической и экспериментальной по инженерному делу. В качестве журнала, из которого я брал эти статьи, я выбрал *Review of Scientific Instruments*. Экспериментальная работа [28] была посвящена конструированию компактного держателя для обеспечения туннельного режима микроскопии внутри электронного микроскопа, работающего на пропускание (transmission electron microscopy, ТЕМ). Оба эти микроскопа являются мощными инструментами для исследования всевозможных объектов. Совмещение же обоих микроскопов в одном приборе позволяет проводить фотографическое исследование образца и иглы и в то же время делать исследование с помощью туннельного микроскопа. Есть два варианта изготовления такого прибора: один вариант, когда изначально проектируются два прибора в одном (при этом обычно никаких проблем с недостатком места не возникает) и второй вариант, когда внутрь готового прибора одного типа вставляется отдельный маленький блок, выполняющий функции второго прибора. Эта идея очень часто реализуется в эксперименте - довольно много функциональных приставок помещается прямо в резонатор готового ЭПР-спектрометра (электрохимическая ячейка, наковальни высокого давления со

сдвигом и т.д.), масс-спектрометра, ЯМР-спектрометра, ИК-спектрометра, спектрометра видимого и ультрафиолетового диапазона и т.д. В этом случае перед инженером стоит задача - как в уже заданное (обычно довольно ограниченное) пространство (ведь базовый спектрометр изначально проектируется, как правило, без мысли о том, что в будущем понадобится что-то в него вставить) поместить свою приставку, как выполнить согласование функций обоих приборов. Авторы [28] пошли по второму пути, обычно менее легкому, но более дешевому. Они взяли стандартный электронный микроскоп (ТЕМ) и вместо стандартного держателя образцов поместили пьезоустановку для перемещения держателя образцов в трех измерениях. Сам держатель образца с пьезодатчиками, которые могут перемещать образец в трех измерениях на расстояния, нужные для туннельной микроскопии ($\sim 10^{-7}$ м) являются достаточно миниатюрными и легко могут быть помещены в ограниченное пространство внутри ТЕМ. Осталась одна проблема, которая в обычном туннельном микроскопе (STM, scanning tunneling microscope=сканирующий туннельный микроскоп) решается с помощью микрометрических винтов, осуществляющих так называемое грубое движение (coarse motion). Их размеры оказались слишком велики, чтобы прямо поместить весь стандартный STM внутрь ТЕМ. Авторам [28] пришлось изобрести промежуточный держатель, который позволял бы осуществлять грубые перемещения образца с помощью того же самого блока прецизионной развертки (1). Они воспользовались идеей инерционного движения: держатель образца (3) помещался на вершине сапфирового шара (2), а чтобы он не свалился вниз, использовались шесть вертикальных пружин (4), которые держали держатель образцов за счет силы трения в точках трения (5) (см. Рис.4, где приведен двухмерный вариант идеи, обсуждаемой в [28]).

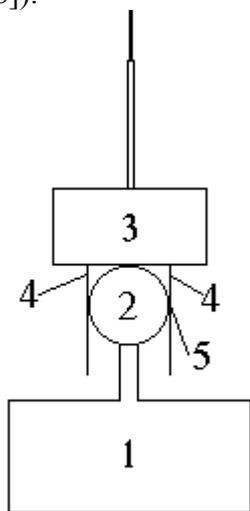


Рис.4 Двухмерный вариант устройства, обсуждаемого в [28]. 1 - устройство для прецизионного перемещения держателя образцов, (основа STM); 2 - сапфировый шар; 3 - держатель образцов; 4 - пружинки, обеспечивающее трение в точках трения 5.

Как оказалось, если теперь резко (с ускорением 600 м/с^2 , $\sim 60 \text{ г}$) дернуть шар вместе с укрепленным на нем держателем образцов в сторону, то за счет инерционного движения держатель образцов передвинется из вертикального в чуть наклонное положение, а его острие, соответственно, чуть-чуть сместится по горизонтали (на требуемые для грубого движения величины порядка $5 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$ м). Сила трения в точках 5 позволит при этом держателю не свалиться из неустойчивого наклонного положения на шар совсем вниз. Авторы [28] проверили, как сила трения влияет на возможность работы такого устройства и нашли, что, если сила трения слишком мала, держатель 3 действительно упадет вниз при слишком сильном рывке прецизионного держателя образцов 1. В работе [28] приведены калибровка, которая позволяет осуществлять грубые смещения в горизонтальном и вертикальном положениях, а также результат работы объединенного прибора (ТЕМ+STM) - сканированный образ специально подготовленного графита (STM) и фотография образца (ТЕМ), где отчетливо видна форма и иглы, и образца вблизи точки сканирования.

Вместо теоретической статьи я рассмотрел обзор [29], посвященный проблемам исследования Солнца с помощью различных приборов из Космоса (т.е. речь идет о тех телескопах, спектрометрах и других приборах, которые выведены на орбиту Земли). Это дает ряд преимуществ - можно наблюдать те лучи (рентгеновские, γ -лучи, жесткое излучение), которые не достигают поверхности Земли вообще

и, кроме того, можно получить те условия наблюдения в обычном спектре (видимое и УФ-излучение), которые невозможно достичь на Земле - перестать мешать атмосфера и т.д. В целом - это стандартная обзорная статья, в которой вкратце отображается все, что сделали люди в этой области.