

А. ЛЕ ШАТЕЛЬЕ

НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1 9 2 8

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ТЕХНИКА УПРАВЛЕНИЯ“
М О С К В А

H. LE CHATELIER

SCIENCE ET INDUSTRIE

А. ЛЕ ШАТЕЛЬЕ

НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Перевод с франц. Э. ЛЕВИНОЙ и Н. П.
под ред. Э. ПАПЕРНОВА.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНИКА УПРАВЛЕНИЯ»
М О С К В А 1 9 2 8

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

5284 23
65

↓
15714

Отпечатано в 21 типог.
«Мосполиграф»
Москва, Ц., Варварка,
Елецкий, пер., 7.
Мосгублит 17236. Тираж 3000.
729

ПРЕДИСЛОВИЕ

Многие из крупнейших французских ученых переходили в последние годы своей жизни от работы по узкой специальности к обсуждению широких проблем общей научной методологии. Так например, знаменитый французский математик Анри Пуанкаре опубликовал ряд замечательных работ, посвященных таким вопросам, как роль гипотезы в науке, открытий и изобретений. Наконец, тот же Пуанкаре, как и другой знаменитый математик, Пикар, неоднократно возвращались к обсуждению вопроса о науке и методе, о ценности научных достижений и об общем философском обосновании научного мышления.

В ряду этих ученых Ле Шателье занимает одно из первых мест. Будучи ученым с мировым именем, он известен прежде всего как химик, так как несколько десятков лет он руководит преподаванием химии в Сорбонне. Ему принадлежит ряд замечательных открытий и много специальных трудов, благодаря которым он занял видное место во Французской академии наук.

Среди французских химиков со времени Лавуазье немногие занимались общими вопросами научной методологии. Тем больший интерес представляет настоящая книга Анри Ле Шателье. Будучи представителем экспериментальной науки, он, в отличие от математиков Пуанкаре и Пикара, рассматривает научную деятельность не как изолированную работу отдельного ученого, а как работу научных организаций, тесно связанных с промышленными предприятиями. Поэтому книга Ле Шателье имеет своеобразный характер, в ней много внимания уделяется той организационной подготовке, в которой нуждается научная работа для того, чтобы быть плодотворной.

Ле Шателье подробно останавливается на вопросе о практическом значении науки, а главное, об ее производственных источниках. Мы впервые встречаем в работах французского

академика освещение таких вопросов, как организация и стоимость научных работ. Ле Шателье, обращаясь к молодым ученым, предупреждает их против увлечения такими работами, которые либо не имеют практического значения, либо могут стоить слишком дорого в сравнении с ожидаемыми практическими результатами.

Скептицизм Ле Шателье по отношению к изобретениям и к работе молодых изобретателей может несколько поразить русского читателя. Этот скептицизм объясняется отчасти тем, что многие такие работы, которые мы привыкли рассматривать, как изобретения, Ле Шателье считает усовершенствованиями, против которых он не возражает.

«Если по мнению многих,—пишет Ле Шателье,—прогресс науки является результатом научных открытий, то еще большее число людей воображают, что всякий прогресс промышленности зависит от изобретения. Подобные взгляды крайне вредны, потому что они отвлекают многих активных и способных людей от нормальной, регулярной работы, которая была бы более полезна как для них самих, так и для общества, чем погоня за изобретениями. Научные изыскания, систематически организованные, приводят к бесполезности изобретательства, которое они заменяют бесконечным количеством незначительных усовершенствований. Они достигают того же конечного результата путем более коротким и более экономичным. Наш совет—не слишком увлекаться научными открытиями—многих удивит. На общежитейском языке под словом «открытие» подразумевается неожиданное обнаружение какого-нибудь важного факта. Вот за такими сенсационными открытиями не следует гнаться и расточать свое время и энергию».

Таким образом, Ле Шателье возражает не столько против изобретений и открытий, как против того распространенного мнения, что подобные изобретения могут явиться результатом вдохновения, а не плодом производительной и систематической научной работы.

Несмотря однако не все оговорки, которые делает Ле Шателье по поводу скептического отношения к изобретениям и открытиям,—советского читателя, который много слышал в последнее время о поощрении изобретательства, удивит тот резкий тон

и та решительность, с которой Ле Шателье предупреждает против увлечения изобретательством.

Отношение к изобретательству объясняется не только мировоззрением того или другого ученого, но и определенным историческим обстоятельством.

Так, например, один из руководителей американской буржуазии, американский министр торговли Гувер, выступил против изобретений, исходя из того соображения, что при том оборудовании и той высоте техники, которой достигла современная Америка, можно значительно повысить производительность без новых изобретений. Организованная им комиссия по борьбе с потерями в промышленности все свое внимание сосредоточила на том, чтобы уничтожить непроизводительные траты и наметить ту реализацию, которая может быть произведена без коренного переоборудования промышленности.

Такая консервативная точка зрения американской буржуазии вполне понятна, но и некоторые революционные американские писатели, например, Вудворд, также отрицательно относятся к открытиям. Вудворд пишет, что надо гнаться не за изобретениями и повышением общей производительности, а за тем, чтобы лучше распределить те богатства, которые имеются в настоящее время в Америке и которых вполне достаточно для того, чтобы удовлетворить насущные нужды масс.

Вполне понятно, что рабочие Советского Союза иначе относятся к изобретениям. Разрешая проблему социалистического строительства, рабочий наталкивается не на вопрос о распределении продукции, а на вопрос о повышении общей производительности труда. Он глубоко убежден в том, что при теперешней организации советского хозяйства можно разрешить все проблемы распределения, если повысить уровень производительности. Поэтому вопрос о повышении производительности в Советском Союзе приобретает совершенно иную постановку, чем в капиталистических странах.

Точно так же вопрос об изобретениях ставится для советского пролетария совершенно иначе. Оно имеет для него значение не только научного открытия, не только удовлетворения потребности в техническом творчестве, но является для него одним из средств повышения технического уровня хозяйства.

Вместе с тем, изобретательство, являющееся индивидуальным делом того или иного изобретателя на Западе, становится у нас делом государственной важности, и Советский Союз принимает все меры к тому, чтобы организованным путем помочь молодым изобретателям, работы которых могут послужить на пользу всего советского хозяйства.

З. Папернов

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Определение науки

Уроки войны

Война с Германией отчетливо обнаружила низкое качество изделий нашей промышленности. Это низкое качество надо объяснить нашей недостаточной научной подготовкой.

Приведу несколько фактов. Разрывы наших пушек во время первых сражений породили панику, подействовали деморализующим образом на войска и на штаб. Для предотвращения катастрофы были сделаны сверхчеловеческие усилия. Отказавшись от старых эмпирических методов приемки, на скорую руку был организован контроль над производством снарядов. Но за то время, которое понадобилось для доведения испытаний до конца, из-за незначительных недостатков были забракованы сотни тысяч снарядов; стаканы снарядов стали снабжаться крышками для того, чтобы воспрепятствовать пламени проникать сквозь поры металла, и т. д. Эти нащупывания правильного пути, продолжавшиеся в течение многих месяцев, тормозили производство. Между тем научная и экспериментальная разработка этого вопроса дала бы возможность сберечь драгоценное время. Достаточно было бы несколько недель исследовательской работы для того, чтобы выявить истинную причину разрывов. Но так как никто не верил в практическую ценность науки, то для проведения подобных изысканий не оказалось ни лабораторий, ни людей.

Второй факт. Для того чтобы доставить армии необходимое снаряжение, пришлось строить новые сталелитейные заводы и нанимать неопытный персонал. Первое время процент брака на этих импровизированных заводах был огромен. Один из таких заводов поставлял сталь, дававшую при закалке снарядов 30% брака, т.-е. в 100 раз больше, чем в хорошо поставленном производстве. Этот брак получался вследствие того, что для обкладки форм применялся песок скверного качества. Он был слишком рыхлым, струя расплавленного металла вырывала частицы песка и увлекала их в болванки. В то время производственники охотно помогали друг другу. За советом обратились

к старым сталелитейным заводчикам, спросили у них, какого качества песок они употребляют. Но ни один из них не смог дать исчерпывающий ответ. По традиции они полагались на своих мастеров, которые по секрету передавали друг другу тайну составления смеси песка. А между тем качество песка зависит всего только от трех легко измеримых факторов: от известного процента содержания кремнезема (примерно около 90%), необходимого для придания песку огнеупорности; от достаточного содержания глины, для обеспечения желаемой пластичности и твердости, и наконец, от соответствующей зернистости, т. е. от подбора зерен песка, диаметром от 1 до 2 мм, что обеспечивает большую пористость. Никто не поинтересовался произвести эти измерения. Проведение подобной научной работы должно было стоить несколько сот франков: оно сэкономило бы миллионы, не говоря об уменьшении количества разорвавшихся пушек.

Последний пример. Независимо от неизбежных бедствий, связанных с войной, мы сильно страдали также от недостатка пищевых продуктов. Между тем ни в одной стране нет такой плодородной почвы и такого благоприятного для земледелия климата, как во Франции. Мы должны были бы не только покрывать нашу собственную потребность, но и экспортировать излишки. К несчастью, мы снимаем слишком малый урожай зерна с гектара земли, едва половину того, что снимают в Дании, значительно меньше того, что снимают в Бельгии и Германии.

Мы не умеем пользоваться удобрениями. Мы потребляем менее трети того количества удобрений, которое потребляют наши соседи. Кроме того, наши поля наводнены сорными травами; они представляют собой прекрасные цветники, на которых васильки, маки и дикая морковь расстилают свое трехцветное знамя. Это также доказывает отсутствие научного подхода.

Рассмотрим, как обстоит дело с зерном. В Дании, например, где насчитывается всего три миллиона жителей, имеется опытная станция, которая ежегодно контролирует 30.000 партий зерна; у нас тридцать миллионов жителей, и наша опытная станция контролирует всего 6.000 партий зерна в год, т. е. в пятьдесят раз меньше на каждого жителя. А между тем у нас имеются знаменитые агрономы, трудами которых гордится Франция. Но землепашцы не верят в пользу науки; с их точки зрения—это благородное, но бесполезное искусство.

Низкий уровень нашей промышленности и земледелия был очевиден уже в довоенное время. Нас побеждали все наши иностранные конкуренты, и мы относились к этому очень легко. Наши крестьяне, привыкшие довольствоваться малым и жить в скудости, ютились в жалких лачугах, в которых ни за что не согласился бы жить американский рабочий или датский

крестьянин. Теперь положение стало более серьезным. После того, как мы остались победителями на поле битвы, мы стоим накануне поражения на мирном поприще.

Для того, чтобы восстановить страну, нам необходимо понять огромное значение науки; нам необходимо, в свою очередь, использовать ее. Я написал эту книгу с единственной целью посылить помочь общественному делу. Я не кабинетный работник; мысль имеет для меня ценность постольку, поскольку она претворяется в действие. Итак, я не стану философствовать; что делать! возможно, что я буду иногда шокировать метафизиков слишком систематическими поисками истины и ясности. Стремясь к точно намеченной цели, желая увлечь читателя на определенный путь, я хочу, чтобы меня поняли; мне придется поэтому опустить многие детали. Постараюсь подробно осветить только некоторые важнейшие пути, которые, кажется мне, смогут привести к желаемому результату.

Необходимость определения науки

Что такое, собственно говоря, наука? Действительно ли необходимо дать ей определение? Не является ли термин «наука» настолько распространенным, что смысл его понятен каждому?

В действительности это очень неопределенное слово, и каждый из нас употребляет его в различных значениях. Что общего между математическими науками, кулинарной наукой и алхимией? В настоящее время слово «наука» не более как громкое слово. Даже философы не дают ему точного определения. В библиотеке д-ра Гюстава Ле-Бона имеется много книг, посвященных науке, они принадлежат перу знаменитых ученых. Но ни один из них не взял на себя труда пояснить, о чем он собирается говорить.

Между тем слова играют большую роль в жизни человека. Все превозносят красоту и пользу науки; все согласны, что ей нужно оказывать широкое покровительство, что ей нужно отвести преобладающее место при обучении юношества. Но о какой науке идет речь? Какие научные работы заслуживают поощрения? Какую науку надо преподавать?

Все это меняется в зависимости от моды сегодняшнего дня.

Я смогу это подтвердить одним личным воспоминанием. В начале моей педагогической деятельности я был устранен из Политехникума, и вся моя научная карьера чуть не была сломана из-за того, что я выразил некоторое сомнение в неделимости атома и в нерушимости его связей. Вера в эти гипотезы была тогда основой всей научной химии. Это объявил Вурц, а он распределял профессорские кафедры. В настоящее время, напротив, во избежание точно таких же неприятностей, необходимо громко провозглашать, что химический атом представляет

собой маленький мирок, похожий по структуре на нашу солнечную систему, или вернее, на истинную туманность.

Наши специальные учебные программы также зависят от изменений в определении науки. В 1902 году все программы наших средних школ были пересмотрены для того, чтобы придать им более научный уклон. Преподавание стало уделять слишком много места практическим указаниям; оно потонуло в излишнем практическом материале; это было необходимо для поднятия уровня нашей промышленности—говорили в то время. Однако неизвестно, что думали об этом наши промышленники и истинные ученые.

Будущность нашей страны зависит от того, какое определение дадут сейчас науке и какие в связи с этим установлены будут программы преподавания, так как тем самым предопределяются методы производства. Ставка достаточно велика и заслуживает внимательного отношения.

Если наука будет сведена к простому силлогизму, к математическим истинам, то нам остается только вернуться к старым программам Политехникума, выкованным великими математиками.

Если наука состоит в простом собирании фактов, в заучивании наизусть специальных данных, тогда вернемся к программам 1902 г.

Если единственное достойное науки занятие—это метафизика или туманные рассуждения насчет материи, тогда примем, не задумываясь, неточные методы современной физики, или же предпочтем вернуться к средневековой и античной философии и снова воздадим почести «*De Natura Rerum*» Лукреция.

Так или иначе, но выбор надо сделать.

Объекты науки

Трудность определения науки происходит от того, что каждый из нас, по простительной-человеческой слабости, отождествляет науку с своими каждодневными занятиями.

Чтобы избежать влияния подобных предвзятых мнений, хорошо было бы взглянуть на этот вопрос со стороны, изучить труды давно умерших ученых и пощупать пульс общественного мнения о них, одним словом, применить исторический подход. Основываясь на положениях, с которыми согласны ученые разных эпох, национальностей и областей науки, мы тем самым увеличиваем наши шансы приблизиться к истине, избежать влияния частных интересов текущего момента. Мы узнаем также, какие труды больше всего способствовали развитию наших познаний.

С общего согласия некоторым ученым присуждено звание великих ученых; таковы, например, Галилей, Паскаль, Декарт, Ньютон, Лавуазье, Сади Карно, Сент-Клэр Девиль и т. д.

Почему эти ученые занимают почетное место в истории науки?— Они заслужили его открытием законов, которые названы их именем. Законы маятника и падения тел прославили имя Галилея; гидростатические законы—имя Паскаля; закон рефракции повсюду известен под именем закона Декарта; законы всемирного тяготения—под именем законов Ньютона; законы кратных отношений в химии—самое славное открытие Лавуазье; второй принцип термодинамики навеки прославил имя Сади Карно; наконец, закон диссоциации сохранит для потомства имя Сент-Клэр Девиля. С одинаковым успехом можно было бы назвать также имена Мариотта, Гюйгенса, Френеля, Ампера, Ге Люссака и т. п., но к чему увеличивать количество примеров? Открытие нового закона обеспечивает его автору тысячулетнюю славу. Разве не повторяем мы ежедневно до сих пор закон Архимеда?

Все явления природы связаны определенными соотношениями. Мы не можем сжать газообразное тело с неизменной температурой, не увеличивая тем самым его давления; поглощение работы неизбежно вызывает теплоту. Эта зависимость не только качественная; она выражается математической формулой, которая связывает количественно величины действующих явлений. Эти формулы дают точное выражение законов. Закон Мариотта выражается формулой $PV = \text{const}$; закон Декарта — формулой

$$\frac{\text{Sini}}{\text{Sinr}} = \text{const.}$$

Знание этих законов беспредельно расширяет возможность познания. Измерив изменение объема газообразного вещества, мы, без каких либо дальнейших наблюдений, знаем, насколько увеличилось его давление. Отметив направление светового луча, падающего на зеркало, мы знаем, в каком направлении он отразится. Измерив высоту падения камня, мы знаем без дальнейших вычислений, через сколько времени он достигнет земли и насколько поднимается его температура от удара о неподвижное тело.

Знание этих законов дает нам, кроме того, небывалую власть над миром; в нем кроется начало блестящего расцвета современной промышленности за последнее столетие.

Законы Лавуазье произвели переворот в химической промышленности, дав методику химического анализа. Законы термодинамики произвели не меньший переворот в механической промышленности; им мы обязаны двигателями внутреннего сгорания, ледоделательными машинами и машинами для жидкого воздуха. Это основной момент, на котором мы в дальнейшем остановимся подробнее.

Итак, знание законов природы — последняя и единственная цель науки. Для того, чтобы достичь

такого знания, необходимо затратить значительное усилие. Недостаточно поверхностного знакомства с окружающим миром; некоторые науки создавались веками. Необходимо применять различные методы исследований: лабораторные опыты, математические вычисления и т. д. Такие подготовительные необходимые для открытия законов изыскания также являются частью науки, не столько благодаря интересу, который они представляют сами по себе, сколько благодаря тому, что они являются средством, необходимым для достижения главной цели—познания законов.

Таким образом наука в целом охватывает большой круг вопросов. Для того, чтобы пояснить процесс научной работы, необходимо разбить его на несколько разделов. Мы будем различать в нем пять частей: наблюдение явлений, измерения, рассуждение, законы, методы.

Наблюдение явлений

Для того, чтобы установить законы, управляющие явлениями, необходимо прежде изучить эти явления. При зарождении каждой науки приходится вести довольно продолжительную работу по описанию и классификации. Прежде чем установить закон всемирного тяготения, необходимо было открыть планеты и наблюдать их движение. Между первыми наблюдениями, которые производились халдейскими священнослужителями и открытием закона всемирного тяготения Ньютоном—прошло свыше тысячи лет.

Каждый день ученые наблюдают в своих лабораториях новые явления, но очень редко одному человеку удается пройти весь путь, ведущий от простого наблюдения до научного открытия.

Максвелль установил три главных закона электротехники; при этом он исходил из электродинамических законов, установленных ранее Ампером, а последний основывался на еще более давних опытах Эрштета.

Отдельные науки в различной степени связаны с непосредственным наблюдением явлений. Математические науки требуют от него лишь несколько понятий: величина, линия, поверхность, объем, угол и несколько аксиом, например, для геометрии—аксиома о том, что прямая линия есть кратчайшее расстояние между двумя точками, и аксиома о параллельных линиях.

Физические науки пользуются большим числом данных непосредственного наблюдения явлений: понятие о времени, движении, теплоте, свете, электричестве и, в первую очередь, установление качественной зависимости, связывающей между собой различные явления, зависимости, чрезвычайно разнородной по характеру.

Взаимодействия различных тел бесконечно разнообразны: например, передача тепла посредством излучения, теплопроводности или конвекции; передача электричества посредством электропроводности или индукции; химические превращения и т. д. Тысячи тружеников веками наблюдали и собирали бесчисленное количество фактов, на основании которых ученые впоследствии построили настоящие науки: физику, химию и др.

В естественных науках — зоологии, ботанике, геологии — описательная часть сильнее развита, и до настоящего времени является предметом большей части научных работ. Законы пока только намечаются. Следовательно, естественные науки находятся в первой стадии развития. Это объясняется большой сложностью изучаемых ими предметов, которые подвергаются последовательному воздействию механических, физических, химических и биологических явлений.

Наконец, в гуманитарных науках точное наблюдение явлений только началось.

Различный уровень развития отдельных наук, происходящий от различной степени сложности изучаемых явлений, и объясняет, почему так трудно согласовать определение понятия науки. Естественник и математик смотрят на вещи с разных точек зрения. Последний понимает науку, как установление новых теорем, т. е. новых законов. Он не знает или отрицает наблюдения и измерения величин, забывая, что, не будь этой отправной точки, математика никогда не могла бы быть создана. Естественник, напротив, ограничивается непосредственным наблюдением и описанием природы.

Измерения

После качественного изучения ряда явлений или взаимоотношений, наступает второй этап научной работы — количественное изучение этих явлений, т. е. измерение различных свойств тел или происходящих в них процессов.

Очевидно, что без предварительного измерения величин нельзя установить точных зависимостей между ними, т. е. нельзя сформулировать законов. Вот почему химики постоянно измеряют массы тел, входящих в реакцию, характеризуют новые полученные тела мерами их плотности, точки плавления, показателем рефракции и т. д. Эти меры являются главным объектом экспериментальных изысканий, они составляют одну из самых важных областей физических наук.

Астрономия первая применила точные методы измерений; она очень рано, еще тогда, когда физические науки даже не предвидели возможности производить измерения, умела точно определять время и величину углов.

Научиться правильно измерять—один из наиболее важных, но и наиболее трудно осуществимых этапов науки. Достаточно одного ложного измерения для того, чтобы помешать открытию закона или, что еще хуже, привести к установлению несуществующего закона; таково было, например, происхождение закона о неопредельных соединениях водорода и кислорода, основанного на экспериментальных ошибках в измерениях Бунзена.

Рассуждение

Общий результат измерений обычно не дает непосредственной формулировки закона; чаще всего приходится расшифровывать полученный результат и выводить из него более или менее подходящее следствие.

При установлении закона Мариотта рассуждения играют ничтожную роль. Опыт показывает, что при уменьшении объема газообразного тела вдвое его давление удваивается. Отсюда следует вывод $PV = \text{const}$.

В законе Декарта конечная формулировка менее очевидна. Для маленьких углов, образуемых световым лучом с перпендикуляром к плоскости преломления, существует явная пропорциональность между углом падающего и преломленного луча, что приводит как будто к формуле $\frac{J}{R} = \text{const}$. Но для больших углов это отношение неточно. Необходимо найти такую функцию, которая совпадала бы для малых углов с формулой пропорциональности. Декарту пришла мысль применить функцию синус, и он нашел, что синусы обоих углов находятся в постоянном отношении. Для установления подобных формул, необходимо обладать основательными знаниями геометрии и привычкой к математическому мышлению. Для установления электродинамических законов, Амперу пришлось применить еще более сложные рассуждения.

Тем не менее в вышеприведенных примерах рассуждения и расчеты играют сравнительно малую роль; она значительно меньше роли измерений. В некоторых случаях рассуждение, занимает, напротив, первенствующее положение. Все геометрические теоремы, являющиеся истинными законами, выводятся посредством рассуждения из простейших законов, называемых аксиомами. Такова же, хотя и в меньшей степени, роль рассуждений в теоретической механике, термодинамике, геометрической оптике и т. д. Эти науки приводят к настолько удаленным от первичных опытов выводам, что их отправная точка легко теряется из виду.

Законы

Законом называется неизменная зависимость между некоторыми величинами; он может быть выражен в виде математической формулы. Можно, например, написать, что одна из величин является функцией других; закон газов выражается так: $P = f(V, T)$ или $P = r \cdot T/V$, где r постоянная величина, параметр, зависящий от количества взятого вещества и от единиц измерений, принятых для выражения давления, объема и температуры.

Если применять эту формулу к одной молекуле газа и выразить давление в килограммах на квадратный метр, объем в кубических метрах и температуру в градусах абсолютной температуры, то константа равна 0,84, т.-е.

$$P = 0,84 \cdot T/V.$$

С таким же успехом можно было бы рассматривать вторую величину как функцию двух других и написать;

$$V = f(P, T) \text{ или } T = f(P, V)$$

Закон остается неизменным. Можно, наконец, применить более общее выражение:

$$F(P, V, T) = 0, \text{ т. е. } PV/T - 0,84 = 0.$$

Мы взяли для примера очень простой закон, устанавливающий зависимость между небольшим числом переменных и выраженный посредством простой алгебраической формулы. Это исключительный случай. Если рассматривать явления природы в целом, то можно убедиться, что количество переменных, которое надо учитывать, может беспредельно возрастать. В законе всемирного тяготения, примененном к двум телам, приходится учитывать следующие четыре величины, изменяющиеся зависимо друг от друга: сила, расстояние между двумя телами и масса каждого из них. Если применить этот закон к трем телам: т. е. к случаю взаимного притяжения солнца, земли и луны, то приходится учитывать девять переменных.

Производственные задачи зачастую бывают еще более сложными и в них приходится иногда учитывать свыше дюжины переменных. Великий американский инженер Ф. Винслоу Тейлор вводит девять переменных в свое исследование о работе приводных ремней и двенадцать в исследование о резании металлов.

Методика

Согласно данному нами определению, науку можно сравнить с тетраэдром, стоящим на горизонтальной плоскости; три вершины основания,—это наблюдение, измерение и рассуждение

вершина против основания изображает закон—конечную цель науки. Для достижения этой конечной цели недостаточно однако наблюдать одно попавшееся явление, измерять другое и доказывать любую гипотезу, необходимо связать различные этапы науки воедино, основываясь на точных правилах, которые характеризуют так называемый научный метод.

В вышеприведенном геометрическом сравнении науки методика может быть представлена ребрами тетраэдра. Методика—это одна из наиболее важных отраслей науки и, к сожалению, одна из наименее изученных. Наше научное образование слишком склонно к документации и систематически кладет методику под спуд. На страницах этой книжки я постараюсь изложить основные принципы научной методики. Понятно, речь идет не о создании новых принципов, а исключительно о том, чтобы напомнить и, если возможно, упростить те принципы, которые уже давно высказаны Декартом, Паскалем, Клодом Бернарном, Тэнном и другими мыслителями.

Детерминизм

В данном нами определении науки подразумевается крайне важное философское понятие—детерминизм, т. е. убеждение в безусловной необходимости законов. Законы ценны для нас потому, что позволяют вполне точно предсказывать будущее. В будущем столетии уменьшение вдвое объема газообразного тела увеличит его давление вдвое, точно так же как увеличивает его теперь и как увеличивало тысячу лет тому назад.

Закон всемирного тяготения дает нам возможность высчитать даты солнечных затмений в доисторические времена. Отрицать детерминизм—значит отрицать науку.

Тем не менее это основное положение часто оспаривалось; детерминизм подвергался нападкам во имя метафизики, морали и религии. В нескольких томах библиотеки Гюстава Ле-Бон, посвященной научной философии, Анри Пуанкаре систематически разносил детерминизм в щепки; он не отрицал его явно, но усиленно развивал противную детерминизму аргументацию. Со дня нашего рождения—говорил он—мы каждый день наблюдали, как по истечении ночи солнце снова появлялось на небе; разве это доказывает, что завтра солнце снова появится? В течение долгого времени закон Лавуазье о неизменности элементов считался абсолютно верным, и вот теперь превращение радия в гелий ставит, как будто, этот закон под знак вопроса? Возможно, что в один прекрасный день регулярная смена дня и ночи тоже выявит подобную аномалию.

Это метафизика, а не наука. Ученый прежде всего человек, и рассуждает, как Бюффон. Человек, просыпающийся утром

в полном здравии, имеет один шанс на сто тысяч не дожить до конца дня; вероятность такого случая равна 10^{-5} . Он продолжает заниматься своими делами, не заботясь об этой маловероятной случайности; если он обладает минимальным здравым смыслом, он должен так же мало заботиться о других случайностях, вероятность которых равна или менее вероятности смерти. Вероятность исчезновения солнца или превращения одних тел в другие в миллиарды раз меньше вероятности его смерти; поэтому он совершенно не думает о подобной возможности и систематически ее игнорирует.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Основные положения научной методологии

Правило перехода от простого к более сложному является самым существенным правилом научной методологии, диктуемым здравым смыслом.

При научном подходе нужно было бы, следовательно, начать с изучения отдельных операций, наблюдений, измерений и рассуждений и затем только вырабатывать методологию, слагающуюся из группировок этих операций. Но с другой стороны, знание методологических правил очень полезно для всякого изучения и в частности научного. С этой точки зрения изучением научной методологии необходимо заняться в первую очередь.

В настоящей главе мы рассмотрим несколько положений общего характера, не углубляя вопроса, и отложив более подробное рассмотрение до следующих глав. Это будет нечто вроде списков проблем, которые будут разобраны позже.

Мы остановимся на следующих четырех принципах, имеющих непосредственное применение:

1. Принцип *tabula rasa* Декарта.
2. Принцип деления Декарта.
3. Принцип организации Тэйлора.
4. Применение гипотез.

Принцип tabula rasa

В своем рассуждении о научной методологии Декарт так сформулировал этот принцип: «Решиться в один прекрасный день изъять из памяти все полученные до этого времени сведения для того, чтобы заполнить память другими, лучшими или теми же самыми сведениями, но после их переоценки разумом».

Одна из наибольших трудностей, которые надо превозмочь при изыскании истины,—это влияние предвзятых мнений. Очень часто, у человека слагается то или иное мнение по данному

вопросу, и в тот момент, когда появляются аргументы, угрожающие сложившемуся мнению, разум инстинктивно возмущается и отказывается изменить привычную точку зрения, признать свою ошибку. А между тем, как правильно говорит Декарт, бесполезно приступать к научным изысканиям, не решив твердо заранее отказаться от всех подсознательно сложившихся взглядов.

Достаточно немного подумать над происхождением наших убеждений и мы заметим, что разум играет очень маленькую роль в их образовании. Самая значительная часть наших убеждений зависит от воспитания; мы усваиваем убеждения, которые слышали в юности от родителей, учителей или в книгах. Склад нашего мышления прежде всего зависит от тех влияний, которые испытал разум в период его формирования, т. е. в возрасте до 25 лет. Почему молодые химики верили четверть века тому назад в неделимость атома и почему их современные последователи рассматривают атом как небольшой и очень сложный мир? Как те так и другие приняли без возражений истины, которым их обучали.

Влияние воспитания соединяется с более общим фактором воздействия—с влиянием повторения. Когда часто слышишь одно и то же утверждение,—очень трудно не поверить ему хотя бы отчасти. На этом основан принцип коммерческой рекламы.

Франциск Сарсей очень тонко проанализировал процесс образования убеждения, вызванного маленькой табличкой с нижеследующей надписью: «Самый лучший шоколад—это шоколад Перрон». Увидев эту надпись на стене в первый раз, отворачиваешь голову и думаешь: «Нет, я не настолько глуп, меня не поймает на такую удочку». На второй день думаешь: «В конце концов этот шоколад может оказаться не хуже любого другого». На третий день приходишь к вполне правильному выводу, что для того, чтобы судить о шоколаде, самое правильное—это попробовать его, и шоколад покупают. На четвертый день утверждаешь, что это действительно самый лучший шоколад. Так возникает убеждение, которое сохранится на долго, может быть, на всю жизнь.

Личная заинтересованность также играет большую роль при формировании мнений. Человеку свойственно верить тому, что ему выгодно.

Самолюбие—близкая родня личной заинтересованности. Когда у человека появляется какая-нибудь идея, он охотно признает ее интересной и впоследствии с трудом от нее отказывается. Этому недостатку легко поддаются самые светлые умы. Недавно один ученый высказал гипотезу, согласно которой так называемые простые тела на самом деле являются смесью нескольких близких элементов—изотопов. Многие экспери-

ментаторы пытались выделить эти тела путем химических или физических процессов. Все опыты дали отрицательный результат. Казалось, оставалось только отказаться от этой гипотезы. Вместо этого автор продолжал ее защищать, дополнив ее новой гипотезой, которая, повидимому, отрицает самые незыблемые законы химии: все свойства изотопов одного и того же тела идентичны, за исключением их атомной массы, следовательно, их невозможно отделить друг от друга.

Любовь к чудесному, непонятному — непреодолимая потребность человеческого ума и источник многих наших верований.

Для того, чтобы притти к продуманному мнению, необходимо побороть человеческую натуру, и это трудная задача, с которой не многим удастся справиться. Борьба с предвзятыми мнениями очень тяжела. Мысли подобно неодушевленным предметам обладают силой инерции. Изменить их течение можно только под влиянием внешнего, часто повторяющегося воздействия. В нашем разуме таятся безграничные источники сопротивления истине.

Неизменность наших мнений, несмотря на очевидность их ошибочности, часто зависит от следующей причины. Привыкнув рассматривать предметы реального мира сквозь призму созданного нами представления о них, и применяя специальные слова для определения своих восприятий, мы лишаем себя возможности смотреть на внешний мир без помощи этих посредников. Ряд поколений ученых привык приписывать явление окисления исчезновению легкого вещества, флогистона, улетучивание которого связано с тепловыми явлениями. Когда Лавуазье блестяще доказал, что на самом деле окисление есть результат соединения с кислородом и, следовательно, сопровождается увеличением веса, большинство ученых, не отрицая правильности измерений Лавуазье, продолжали утверждать, что не могут понять этого явления без участия флогистона и в особенности без упоминания этого слова.

Людей, способных изменять свои первоначальные мнения, крайне мало. Одной из причин успеха Клода Бернара и Пастера было наличие у них этого дара. Обладая пылким воображением, они каждый день выковывали новые гипотезы, но когда последние опровергались опытами, они очень легко отказывались от них.

Принцип деления

Этот принцип был сформулирован Декартом следующим образом: «Делить каждое затруднение на такое возможное количество частей, которое необходимо для более удобного их разрешения. Повсюду делать настолько полные исчисления и столь

исчерпывающую поверку, чтобы быть уверенным в том, что ничего не упущено».

Такое деление необходимо прежде всего в виду слабости нашего разума, неспособного охватывать слишком сложные объекты. Чем явления проще, тем их легче наблюдать и обсуждать. Пользу такого деления лучше всего подтверждает само построение науки. Вначале первые наблюдатели изучали явления природы такими, как они существуют в действительности, во всей их сложности. Античные философы, Аристотель и Лукреций, объединяли в своих размышлениях весь известный им мир в целом, от образования земли и небес вплоть до жизни растений, движений животных и человеческой мысли.

Из за желанья объять все сразу, наука развивалась сначала крайне медленно. С течением времени почти бессознательно стали различать отдельные области изучения мира. Возможность познания сильно возросла с того момента, когда удалось отделить явления движения от тепловых и электрических явлений, когда каждое из них стали изучать в отдельности, когда были созданы чистые или абстрактные науки, в которых приходится постоянно пренебрегать всеми свойствами материи, за исключением того, которое является предметом изучения. Наука, стоявшая в течение веков на месте, сразу сделала скачек вперед.

Каждое явление, служащее предметом изучения специальных наук, может быть подразделено в свою очередь. Разложение движения тел по трем взаимно перпендикулярным направлениям и различие между активной силой и пассивным сопротивлением явились отправным пунктом развития теоретической механики.

Вторым преимуществом деления является то обстоятельство, что простейшие составные части сложного целого бывают одинаковы для многих различных объектов; изучив их однажды, мы можем пользоваться ими во всех сходных случаях. С первого взгляда между лошадию и летучей мышью нет никакого сходства, но их простейшие составные части: кровь, нервы, кожа, шерсть, кости и даже их органы: мозг, легкие и т. д.—схожи по химическому составу, по строению, по выполняемым функциям; они отличаются только второстепенными признаками: формой и величиной.

Соответственно преследуемой цели, приходится, понятно, изменять принцип деления. При изучении страны, ее можно делить по широте, если интересуются главным образом климатом, по геологическим наслоениям, если изучают богатство почвы, по областям, если занимаются административными вопросами, наконец, на геометрические прямоугольники, для картографических изучений.

Обычно одного деления оказывается недостаточно и приходится подразделять в свою очередь и части, полученные в ре-

зультате первого деления. Разделив дерево на корни, ствол, ветви, листья, цветы и плоды, каждый из них подразделяют на клетки и каналы, протоплазму и сок; затем в каждом из этих элементов различают различные первичные вещества: целлюлозу, крахмал, хлорофил и т. д. Наконец, химический анализ отделяет простые вещества от сложных: углерод, водород, кислород, азот и, таким образом, достигается предел возможного деления.

Такие последовательные деления приносят большую пользу науке, ибо они выявляют одновременно как измеримые величины, так и независимые переменные.

Мною было уже указано, что наука постоянно основывается на измерении некоторых величин; при изучении любого предмета необходимо установить его измеримые величины. Все дерево в целом не поддается измерению, но можно сосчитать число его листьев, количество устьиц на каждом листе, измерить размер клеток, вычислить процентное содержание целлюлозы, крахмала или иных простейших тел, входящих в состав каждой части дерева. Без такого разделения научная ботаника не могла бы существовать; она представляла бы собою чисто описательную науку. Точно так же обстоит дело со всеми явлениями природы. До тех пор, пока теплоту рассматривали как нечто единое, не существовало науки о тепле, потому что теплота не поддавалась измерению. Но деление явления на температуру и количество тепла выделило две измеримые величины, изучение которых может быть объектом науки.

Если для научного знания абсолютно необходимо выявить измеримые величины в каждом явлении, то не менее необходимо также выделить и независимые переменные. В дальнейшем, при рассмотрении методов установления законов, мы видим, что их можно быстрее всего открыть, производя параллельные измерения по двум системам, отличающимся друг от друга изменением лишь одного условия. Постановка таких опытов возможна только в том случае, если изменяемое условие является независимой переменной величиной, т. е. если оно может быть изменено помимо других условий.

Принцип деления является, следовательно, основой каждой науки. Гениальные исследователи впервые бессознательно применили его. Теперь, когда важность деления общепризнана, необходимо пользоваться им систематически и постоянно.

Принцип организации

Каждый раз, когда требуется осуществить что либо или добиться какого либо результата, будь то в области научного изыскания или промышленного производства или какой иной сфере, приходится пользоваться известным количеством всегда

одних и тех же операций, природа которых не зависит от преследуемой цели. Существует несколько методов проведения этих операций: одни из них более, другие менее эффективны, но наилучшие условия остаются почти неизменными, независимо от конечной цели работы. Поэтому, понятно, крайне важно изучить эти методы, т.е. организовать свою работу. Особое внимание к этому важному вопросу привлек великий американский инженер Фредерик Винслоу Тэйлор, опубликовавший ряд замечательных трудов по организации труда на заводах.

Фредерик Тэйлор, понятно, не придумал новых приемов организации, без которой ни одно крупное производственное предприятие не могло бы существовать и ни одно административное учреждение не могло бы производительно работать. Он их только упорядочил и популяризировал применение. Его основная мысль крайне проста, ее можно высказать в двух словах: прежде подумать, потом действовать. Но переход от теории к практике немного сложнее.

Воспользуемся принципом деления для изучения системы организации работы, разделим ее на последовательные операции, которые должны выполняться каждый раз, когда преследуешь какую либо цель. Будем различать следующие операции:

1. Выбор конечной цели.
2. Изучение методов работы, которые нужно применить для достижения данной цели.
3. Приготовление необходимых для работ материалов.
4. Выполнение работы.
5. Контроль и использование полученных результатов.

Правильный выбор конечной цели оказывает большое влияние на успешность предпринятой работы. Для того, чтобы добиться успеха, необходимо поставить себе единую, определенную, ограниченную и полезную цель.

Цель должна быть единой, ибо, гоняясь сразу за несколькими зайцами, можно быть уверенным, что, согласно народной поговорке, ни одного не поймает. Методы изысканий не следует даже слишком изменять, умея концентрировать все усилия на ограниченном количестве вопросов. Бертелло сконцентрировал все усилия своей научной деятельности на трех вопросах: на органическом синтезе, термохимии и взрывчатых веществах. Это обстоятельство явилось одной из причин достигнутого им успеха.

Преследуемая цель должна быть определенной. Очень часто сотрудники научных лабораторий приступают к работе, не отдавая себе ясного отчета в том, что они собираются сделать. Понятно, из их работы ничего не выходит. Они собирают остроумнейшие приборы, тратят на это много труда и, не используя, оставляют их, ибо не сумели наметить программы работы.

Кроме того, намеченная тема должна быть ограниченной. Необъятного никто объять не может. Работник, принимаясь за работу, превосходящую его силы, рискует разочароваться в ней, прежде чем доведет ее до конца, или оказаться вынужденным прекратить ее из за возникающих чрезмерных трудностей или непосильных трат. Этот совет полезен для начинающих, которые редко обладают достаточной скромностью, чтобы ограничить свое честолюбие, и желают начать карьеру великим открытием.

Наконец, объект изыскания должен быть полезен и должен представлять интерес. Посвящать себя изучению мало существенных деталей науки—большая ошибка. Сколько работников бесцельно посвятили свою жизнь науке только потому, что увлеклись деталями!

Одной из основ организации является предварительное изучение методов применяемого труда. В своих принципах научной организации производства Тейлор в первую очередь настаивает на создании бюро по подготовке работы, которое должно продумывать каждое действие, прежде чем применить его в производстве. Такое бюро, заставляя применять наилучшие методы производства, часто дает возможность удвоить производительность труда каждого рабочего. Точно так же обстоит дело и с научными изысканиями. Время, затраченное на подготовку опытов и на их обсуждение, затрачено не даром.

Предварительное изучение вопроса обнимает: ознакомление с литературой о ранее произведенных в данной области работах; в этой литературе можно найти очень интересные указания для предпринятой работы; изучение разных факторов, влияющих на изучаемое явление, и полное перечисление всех условий, которые надо учитывать; выбор наиболее подходящих методов измерений и т. д.

Наконец, рискуя вызвать негодование некоторых ученых, я отмечу еще одно важное обстоятельство, которое необходимо принимать во внимание, а именно: вопрос об экономной организации опытов. Могут возразить, что эти узко практические соображения уместны для заводского дела, но совершенно не подходят для научных лабораторий. Это ошибка. Каждый из нас располагает ограниченными силами и еще более ограниченным количеством времени; желая увеличить производительность научной работы, надо избегать всякого непроизводительного расходования времени и сил. Это достигается установлением рабочей программы, применением только абсолютно необходимых точных аппаратов и методов измерения, ограничением числа разнообразных измерений, иногда также применением самопишущих приборов или комбинированием различных операций, которые разгружают экспериментатора от чисто технической работы. В дальнейшем мы еще вернемся к этому вопросу.

После установления программы работ, следующим чрезвычайно важным условием организации является предварительная подготовка всех рабочих материалов, которые понадобятся в течение работы. Необходимо собрать все необходимые для опыта предметы, реактивы и измерительные приборы, проверить чистоту реактивов, титр титрованных растворов, точность термометров и гальванометров. Сколько недель и месяцев работы потеряно даром из-за того, что перед началом работ пренебрегли проверкой чистоты какого нибудь вещества. Мне пришлось наблюдать, как при испытании плавкости борной глазури в течение нескольких недель употребляли плавиковый шпат вместо полевого шпата; ошибка произошла из-за неправильной надписи на стклянке. Наконец, если не приготовить заранее всего необходимого, то из-за отсутствия того или иного аппарата придется беспрестанно останавливать работу. Во время вынужденных перерывов забываешь полученные вначале результаты и теряешь много времени на бессмысленное повторение уже проведенных опытов.

Если все необходимое для постановки опытов тщательно подготовлено, то проведение опыта зачастую не представляет никаких трудностей. Иногда его выполнение можно поручить помощникам. Так обычно и делается в производственных лабораториях. В научных изыскательных лабораториях, понятно, предпочтительней, чтобы сам ученый проводил весь опыт или хотя бы часть его, ибо при изысканиях в определенном направлении часто наблюдаешь новые явления, могущие привести к новым открытиям. Анализируя какое то вещество и прокаливая осадок тория, Ауэр открыл совершенно исключительную излучительную способность этого тела. Производя опыты в области металлургии платины, Сент-Клэр Девиль открыл диссоциацию воды. Но, с другой стороны, правда, проведение мало интересных и мало полезных работ отнимает очень много времени. Здесь, конечно, следует соблюдать должную меру.

При проведении исследований крайне важно строго следовать намеченной программе и самым тщательным образом записывать все условия опытов. Сколько исследований физических свойств металлов и сплавов потеряли три четверти интереса только из-за того, что исследователи недостаточно точно записали состав изучаемого вещества!

Последний этап—это вывод, сделанный на основе проведенных опытов.

Когда измерения закончены, необходимо вывести из них следствие, ведущее к преследуемой цели. Прежде всего надо проверить степень точности сделанных измерений; сильное расхождение между результатами разных опытов наводит на мысль о случайной погрешности, но установление системати-

ческих погрешностей, которые, обычно, значительно важнее, связано с большими трудностями. Эти погрешности вызваны незамеченными привходящими факторами; поэтому размер их очень трудно учесть. Реньо, проводя опыты по установлению удельной теплоты газа, заметил систематическую погрешность, связанную с обменом тепла между соприкасающимися нагревательным аппаратом и калориметром; несмотря на все приложенные усилия, он не мог установить даже примерной величины этой теплопередачи. Значительная часть экспериментаторов, как будто, даже не подозревает о существовании систематических погрешностей.

Величина, показанная измерительным аппаратом, обычно, еще не является искомым результатом; его надо вывести из полученных экспериментальным путем величин, для чего необходимы рассуждения и расчеты—источники многочисленных ошибок. При этом неизменно незаметно для самого себя вводят гипотезы, которые совершенно искажают вполне точные показания опытов. В дальнейшем мы остановимся на этом вопросе более подробно.

Иногда приходится изучать очень сложные вопросы. В какой мере полученные величины подтверждают данную специальную теорию? Подтверждает ли равенство угла падения углу отражения теорию волнообразного движения и гипотезу о существовании эфира?

Эта последняя стадия работы, вывод заключения, не менее важна, чем первая стадия, и значительно труднее ее, ибо на нее неизбежно влияют предвзятые мнения, которые заставляют рассматривать полученные результаты сквозь розовые очки.

Вот тут-то необходимо постараться возможно честнее применить принцип *tabula rasa*.

Гипотезы

Гипотезой называется соотношение или зависимость, которые принимаются в качестве временной или постоянной истины без достаточных к тому доказательств. С первого взгляда кажется, что гипотезы должны были бы быть чужды науке, которая занимается изучением только строго проверенных истин. Злоупотребление гипотезами может толкнуть на опасный путь. Было бы опрометчиво желать заменить непосредственное изучение природы измышлениями нашего подверженного ошибкам разума. Между тем наука не может существовать без гипотез. Им она обязана созданием большинства новых идей. Химический закон кратных отношений основан на гипотезе Дальтона.

Наиболее предубежденные против гипотез ученые, как например, Лавуазье, все же постоянно, хотя и бессознательно

прибегают к ним. Памятные работы Лавуазье о составе воды основывались на двух последовательных гипотезах. Первая — о превращении воды при перегонке в минеральные вещества. Он начал работу с проверки проведенных ранее наблюдений над накоплением золы в растениях, и признал эти наблюдения ложными. Вторая гипотеза, на которой он основывался, — это гипотеза о содержании в воде водорода. Она основывалась на наблюдении того факта, что при соприкосновении воды и железных опилок выделяются пузырьки водорода. Эта гипотеза оказалась правильной и дала возможность сделать одно из величайших химических открытий.

Для изучения гипотез, мы воспользуемся принципом деления и рассмотрим, каково их значение для науки. Мы разделим их на три категории:

1. Рабочие гипотезы, создаваемые произвольно и систематически. Мы только что упомянули о рабочих гипотезах Лавуазье и Дальтона. Гипотеза Сент-Клэра Девиля об аналогии между химическим разложением и испарением явилась основой химической механики. Итак, гипотезы почти всегда являются отправным пунктом для великих научных открытий. Их польза, следовательно, очевидна. Их главная заслуга — привлечение экспериментальной мысли к изучению явлений, подвергающихся проверке опытным путем. Впоследствии можно установить, нужно ли отвергнуть эти гипотезы, или их следует рассматривать как достоверные истины. В дальнейшем мы подробно остановимся на применении гипотез этого рода.

2. Метафизические гипотезы, в значительной части подсознательные. Когда мы подчиняем новый объект тем явлениям, которые наблюдали у схожих с ним объектов, когда предполагаем, не проверив этого на опыте, что у всех двусемядольных растений растительный сок движется по сосудам, расположенным между корой и заболонью, мы тем самым строим гипотезу. Точно так же мы строим гипотезу, когда допускаем, что явления природы непрерывны или когда считаем, что при небольших изменениях условий полученный эффект будет пропорционален вызвавшему его изменению и т. д. Во всех наших опытах мы постоянно бессознательно строим подобные гипотезы; мы считаем наши реактивы чистыми, весы точными и довольствуемся проверкой, сделанной в один из предыдущих дней.

3. Пояснительные и изобразительные гипотезы также необходимы, но при неумелом пользовании крайне опасны. Когда мы приписываем молекуле бензола структуру в виде шестиугольника, мы тем самым изображаем более доступным для нашего разума способом степень симметричности его различных производных изомеров, которые обладают той же симметрией шестиугольника; если мы, кроме того, допустим

реальность этой шестиугольной структуры, — мы тем самым поясним количество указанных изомеров. Теория Френеля, изображающая свет в виде невесомой жидкости, эфира, подчиняющегося обычным законам механики, является прекрасным примером пользы изобразительных гипотез, хотя сомнительно, чтобы подобный эфир смог действительно существовать. То же самое можно сказать и об атомистической теории. Почти все изобразительные гипотезы механические, ибо мы легче всего постигаем механические явления. Когда мы изображаем какое-либо сложное явление в виде механического явления, то у нас создается впечатление, будто мы его лучше осознали; во всяком случае нам о нем легче рассуждать.

Когда правильность гипотезы доказана, она перестает быть гипотезой и становится истиной. Правильность гипотезы Паскаля о поднятии столбика ртути под действием атмосферного давления была доказана опытами Клермона-Феррана; точно так же обстояло дело с гипотезой Лавуазье о химическом составе воздуха. Для хороших рабочих гипотез всегда можно найти подтверждающее их доказательство,

Совершенно иначе обстоит дело с пояснительными гипотезами которые по большей части поясняют явления, недоступные для проверки опытным путем. Разногласия между учеными на этой почве огромны. Одни верят в эфир, атом, молекулу, электрон; другие считают это только остроумными, интересными гипотезами; некоторые рассматривают их исключительно как геометрические изображения, неизбежно оторванные от действительности.

Каковы бы они ни были—гипотезы занимают очень важное место в науке. Тем не менее это опасное оружие, ибо слишком большая вера в привычные гипотезы может ослепить и помешать разглядеть истину.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Наблюдение фактов

Как мы уже указывали в первой главе, наука начинается с наблюдения фактов. Что мы называем фактом? Чтобы подойти к его определению, вспомним сначала несколько основных положений.

Всякое знание начинается с впечатлений, фиксируемых нашими органами чувств. Мы ощущаем тяжесть, когда поднимаем твердое тело, ощущаем тепло, когда приближаем руку к раскаленному телу и т. д.

Более внимательное наблюдение над одними и теми же свойствами тел обнаруживает их огромное разнообразие: мир находится в состоянии непрерывного движения. Тела перемещаются

одни падают под влиянием силы тяжести, другие поднимаются усилием нашей руки. Кусок вынутого из печки угля постепенно охлаждается, он теряет блеск и перестает давать ощущение тепла. С течением времени деревья растут и множатся; они периодически покрываются листьями, цветут и приносят плоды. Все подобные изменения вида или свойств вещества носят название явлений.

Природа фактов

Простое констатирование свойств тел и их изменений еще не является наукой. В течение долгого времени люди пребывали на этой первой ступени знания, не на много превосходящего знание животного, одаренного такими же органами чувств, как и мы. Животные стоят ниже нас только потому, что не отдают себе отчета в своих знаниях.

С течением времени люди, наконец, заметили, что разные свойства одного и того же тела, с одной стороны, и явления, т. е. последовательные изменения его свойств, с другой стороны, не независимы одно от другого. Блеск нагретого тела связан с испытываемым нами ощущением тепла; прочность железной балки зависит от ее размеров; скорость брошенного камня растет с увеличением напряжения мускулов бросившей его руки; развитие растения зависит от температуры воздуха, влажности почвы и т. д.

Изучение этих совместных, последовательных, аналогичных и причинных зависимостей составляет, как уже нами было указано, основной предмет науки. Но прежде чем изучать количественную зависимость, необходимо качественным путем установить ее существование.

Установленная качественным путем зависимость называется фактом, наблюдение которого является необходимым отправным пунктом для каждой науки.

Наблюдая влияние электрического тока на намагниченную иглу, Эршtedт констатировал факт взаимоотношений между двумя явлениями: прохождением тока и перемещением намагниченной иглы. Основываясь на этом предварительном наблюдении, Ампер впоследствии построил всю электродинамику.

Итак то, что мы называем фактом, не что иное как качественно установленное существование некоторого соотношения между разными свойствами тел или между изменениями этих свойств, т.-е. между явлениями.

Прежде чем приступить к наблюдению фактов, т. е. к установлению некоторых качественных зависимостей, очевидно, необходимо изучить отдельные моменты этих зависимостей, т. е. изучить свойства вещества и явлений. Младенческий период каждой науки поневоле носит чисто описательный характер.

Наука стремится увеличить запас сырых данных, необходимых для ее построения. Ценность этого накопления для каждой науки различна. Она зависит от сложности объектов изучения, а также и от степени развития данной науки.

Современные математические науки не признают описательной части; в механике есть небольшая описательная часть, в физике она занимает большее место и заполняет почти полностью естественные науки, где только намечается установление математических законов.

В химии описательная часть занимает важное место. При открытии каждого нового тела или нового соединения систематически изучаются все его свойства: удельный вес, точка плавления и кипения, растворимость, влияние на него тепла, света и различных реактивов. В качестве классического примера подобных изысканий можно назвать труд Тенера о перекиси водорода и труд Муассана о фторе.

Случайные наблюдения

Первое зарождение науки восходит к тем временам, когда невежественный человек бессознательно делал первые наблюдения, бесцельно рассматривая расстилавшуюся перед его глазами природу.

Заметив перемещение одной звезды на небе, Венеры, появляющейся то вечером после заката солнца, то утром до его восхода, халдейские пастухи вскоре отметили, что Венера не единственная звезда, обладающая самостоятельным движением. Это случайное наблюдение перемещения планет послужило отправным пунктом для создания астрономии, но между первыми астрономическими наблюдениями и полным расцветом астрономии прошли века.

Точно так же изломанный вид погруженной в воду палки наблюдали не раз и до Декарта, перешедшего от простого констатирования факта к созданию закона о преломлении световых лучей.

Наверное еще в самые древние времена алхимики замечали, что в воде нельзя растворить неограниченного количества морской соли, но прошло очень много времени, прежде чем удалось уточнить этот факт и присоединить его к закону растворимости, установленному работами Гей-Люссака, Лавелля и их последователями.

Хотя подобные простейшие наблюдения накапливались при зарождении всех наук, их одних все же мало для возведения здания науки. Недостаточная тонкость восприятия наших органов чувств не позволяет нам с достаточной точностью изучить все свойства тел и явлений, которые ими воспринимаются; кроме

того, благодаря присущей нам рассеянности, мы не замечаем многих деталей, крайне важных для проникновения в тайны природы.

Начальная работа по наблюдениям пополнилась трудами ученых, которые подобно простым смертным и значительно интенсивнее их ежедневно наблюдают в своих лабораториях новые факты. Таким именно образом, лорд Раллей, определяя точный удельный вес азота, нашел путь к открытию аргона. Он наблюдал небольшое расхождение между удельным весом азота, добытого из воздуха и удельным весом азота, полученного разложением некоторых его соединений.

Точно так же, изучая плавкость платины, Анри Сент-Клэр Девиль был поражен расхождением между истинной температурой плавления платины и температурой, приписываемой окислительному пламени горелки. Это обстоятельство послужило отправной точкой для открытия явления диссоциации. Лавуазье обязан большинством своих открытий непредвиденным явлениям, на которые он натолкнулся, проводя изыскания, преследовавшие иную цель. Изучая силу света пламени, он констатировал, что при горении часть воздуха исчезает, и таким образом пришел к открытию кислорода, а затем к установлению основных законов сохранения материи.

Тот факт, что наблюдения ученых дают более ценные результаты, чем наблюдения людей чуждых науке, объясняется двумя причинами: ученые имеют в своем распоряжении точные приборы, дающие возможность делать более точные наблюдения и, кроме того, они относятся к фактам значительно внимательнее. Только благодаря очень точным весам лорду Раллею удалось установить расхождение между весами азота разного происхождения. Только благодаря микроскопу удалось сделать микробиологические открытия. Без микроскопа Пастеру и его ученикам не удалось бы установить роли фермента и микробов. Химический анализ дал Бессемеру возможность установить влияние, оказываемое фосфором на механические свойства стали. Роль лабораторных приборов еще важнее при изучении особых явлений, в роде электричества и магнетизма, которые почти совсем не воспринимаются нашими органами чувств.

Кроме того, ученые относятся значительно внимательнее к своим работам. Это внимание облегчает им наблюдение непредвиденных фактов. Видеть все что происходит, и ко всему относиться со вниманием — гораздо труднее, чем кажется с первого взгляда. Количество предметов, попадающих нам в обыденной жизни на глаза и не замечаемых нами, огромно. В течение многих лет мы ежедневно проходим по одним и тем же улицам и не замечаем находящихся на них предметов, способных однако привлечь наше внимание: магазинов, домов, фонтанов и т. д. Мы не можем как следует описать их по памяти.

В течение пятнадцати лет, на часах, находившихся в моем кабинете в Сорбонне, стоял маленький гальванопластический бюст Дюма; я его никогда не замечал, пока какой то посетитель не обратил на него моего внимания.

Факты, проходящие перед глазами тысячи людей, как например, движение планет, находят в конце концов внимательного наблюдателя, который отмечает их и указывает на них другим. Но редкие факты, которые трудно разглядеть, вечно ускользали бы от нас, если бы некоторые избранные люди не обладали особо острым и наблюдательным умом.

У разных людей по разному развита способность схватывать непредвиденный факт налету. Не мало ученых до Ауэра прокаливали торий, не замечая его исключительной лучистости. Физики определяли до лорда Раллея удельный вес азота и не сделали никаких выводов из наблюденных отклонений веса.

Некоторые ученые обладают даром наблюдательности, и в этом кроется секрет успеха их научных работ. Великий химик Вертело был исключительно одаренным в этом отношении человеком. При каждом проводимом им опыте, он открывал новые явления. Благодаря этому он смог, не повторяясь, опубликовать в «Анналах физики и химии» несчетное число рабочих отчетов. Вот пример его умения схватывать интересную деталь опыта. Производя анализ газа, он заметил, что при поглощении кислорода пирогалловой кислотой образуется не поглощающийся остаток газа. Некоторые химики уже сталкивались с этими явлениями, но сочли их не заслуживающими внимания и больше ими не занимались. В поисках объяснения этого явления Вертело открыл новую очень любопытную реакцию—выделение углекислоты при окислении калиевой соли пирогалловой кислоты. Он с первого взгляда оценил калориметрическую бомбу Вейля, сразу поняв, какой переворот произведет эта бомба в термохимии. Затем он опубликовал совместно с Вейлем свой знаменитый труд «Новый метод определения теплоты образования органических соединений». Этот труд вызвал сенсацию; предвидения Вертело вполне оправдались.

Систематические изыскания

Мы только что разобрали обычные условия случайного открытия новых фактов, являющихся основой прогресса каждой науки. Иногда для обнаружения новых фактов умышленно создают благоприятные для них условия, не ожидая случая, который позволит их наблюдать. Для этого либо идут навстречу случаю, проводят беспорядочные опыты, в самых разнообразных направлениях, или, руководствуясь соображениями аналогии, систематически выявляют факторы уже известного явления или факта.

Систематическое выявление факторов—одна из самых важных, но зато и самых трудных задач науки.

Методическое исследование явлений или свойств крайне важно для чистой науки, но еще важнее для промышленности. Это понятно, ибо чистая абстрактная наука занимается изучением наиболее простых и в то же время наиболее общих законов природы; в большинстве случаев они зависят от небольшого количества обычно легко определяемых факторов.

Давление—одно из свойств газов; оно изменяется—вот пример явления. В то же время нетрудно заметить, что изменение давления зависит от изменения объема или температуры. Таким образом, одновременно установлено явление и причины, от которых оно зависит, т. е. научный факт, который должен предшествовать измерениям явления.

По существу явления природы, в частности те, с которыми приходится иметь дело в промышленности, значительно сложнее; они зависят от очень многих факторов. Сравнительно не трудно установить некоторые из них, но этого мало; для того, чтобы установить точные законы, необходимо знать все факторы; а узнать их обычно трудно.

Приведу пример, который объяснит природу этих затруднений. Качество употребляемых в постройках цементов зависит от их механической прочности. Песчаные цементы испытывают на излом, для чего их разламывают через семь, двадцать восемь и восемьдесят четыре дня после затвердевания. Установленная на основании этих испытаний прочность зависит не только от качества цемента, но также и от других факторов, зависящих от способа изготовления кубиков. Необходимо строго следить за тем, чтобы все чуждые изучаемому вопросу условия оставались абсолютно одинаковыми при всех испытаниях. Только при этом условии полученные данные о прочности дадут возможность классифицировать цемент по его качеству. Для того чтобы сохранить все условия неизменными, необходимо прежде всего их изучить.

Известно, что прочность зависит от количества добавленного к цементу песка, от количества воды, взятой для гашения, от температуры, при которой твердеет цемент и т. д. Поэтому необходимо твердо установить размер этих переменных и сохранять их неизменными для всех опытов. Несмотря на эти меры предосторожности, результаты анализов одного и того же цемента в двух разных лабораториях сильно расходятся, иногда даже на 100%. Следовательно тут примешивается еще один фактор; этот фактор зависит от самого работника, от способа растирания цемента в ступке, наполнения форм и т. д. Многие инженеры и ученые пытались разрешить этот вопрос, но пока безуспешно. Установлено влияние неровной осадки в формах,

которая влияет на плотность цемента и определяется различием веса отдельных проб. Но даже при отборе для исследования проб одного и того же веса все же получают расхождения в 50%, в то время как ошибки, вызываемые неточностью измерительных приборов, не превышают 1%.

Такое изыскание факторов должно проводиться по известной системе, которая была изучена Клодом Бернаром и описана в его «Введении в изучение экспериментальной медицины». При чтении этого труда создается впечатление, что вся наука состоит из изыскания этих факторов, между тем как оно является только одной, правда, очень существенной частью науки. Объясняется это тем, что медицина и физиология исключительно сложные науки, сложнее даже науки о производстве. Количество факторов, которые приходится устанавливать в каждом отдельном случае, очень велико, и поэтому указанные науки находятся пока еще в стадии наблюдения; измерения в них мало развиты и математические законы почти отсутствуют.

Благодаря этому наука, ограничиваясь наблюдениями, почти сводится к установлению факторов.

Метод Клода Бернара обнимает четыре последовательных этапа, полностью совпадающие с этапами, указанными нами ранее под именем принципов организации:

1. Гипотеза, которую Клод Бернар называет научной мыслью. Не совсем понятно, зачем создал он новое слово для определения общеизвестного понятия, которое носит название гипотезы. Доказательство правильности гипотез является конечной целью предпринимаемых работ по изысканиям.

2. Исследование различных последствий гипотезы, доступных проверке опытным путем. При рассмотрении принципа организации мы называли эти исследования изучением методов работы. Чем большее количество экспериментальных данных подтверждают гипотезу, тем она более достоверна.

3. Осуществление опытов.

4. Обсуждение полученных результатов с целью выяснить, подтверждается ли гипотеза опытами или опровергается ими, т. е. следует ли принять ее в качестве достоверной истины или окончательно отвергнуть.

Мы насчитали пять принципов организации, а не четыре, потому что разделили осуществление опытов на две части: предварительный подбор необходимых материалов и проведение опыта (см. гл. II).

Из этих различных операций первая, создание гипотез, понятно, самая трудная; она требует специального склада ума, при чем различная степень одаренности в этой области резко отличает одних ученых от других. Для того, чтобы выковать гипотезу, необходимо обладать живым умом, любовью к труду,

пылким воображением, одним словом, обладать умом изобретателя и вдобавок к этому, обладать еще двумя достоинствами, которых обычно им не хватает: практическим здравым смыслом и научным багажем.

Гипотезы обычно, создаются по аналогии с установленными истинами. Мысль о диссоциации появилась у Сент-Клэр Девиля по аналогии с явлением испарения. Чем больше у человека научных познаний, тем больше у него материала, среди которого он может найти подходящее сравнение для построения гипотез. Кроме того, необходимо обладать здравым смыслом, для того, чтобы выбирать аналогию по существу. Если бы в химии захотели построить гипотезу на основании мнимой аналогии между русской синей и сернокислой медью только на том основании, что обе они синего цвета, то такая гипотеза ни к чему бы не привела. Она доказала бы только отсутствие критического подхода.

Конечно, не все гипотезы будут признаны впоследствии правильными, но надо стараться, чтобы процент правильных гипотез был возможно более велик, ибо в противном случае придется потратить все время на доказательство ошибочности своих предположений и никогда не удастся добиться положительного результата. Ученые, умеющие строить обоснованные гипотезы, имеют огромное преимущество перед другими учеными; при ограниченной до минимума экспериментальной работе, им удастся достичь значительной научной продуктивности.

Четвертая и последняя стадия изыскательной работы, обсуждение результатов опыта, чтобы проверить, соответствуют ли они первоначальной гипотезе или опровергают ее, также очень важна и с трудом доводится до конца.

Как мы уже указывали при описании происхождения убеждений, очень немногие ученые умеют отказываться от созданных ими гипотез. Они умудряются перетолковывать показания своих опытов и иногда даже бессознательно передергивают для того, чтобы получить желаемый ответ.

«Очень многие ученые,—говорит Клод Бернар,—слишком сильно верят в созданные ими теории. Такие люди не только не могут делать открытий, но и наблюдения их крайне неудовлетворительны. Они проводят наблюдения с предвзятой целью и при постановке опыта стремятся истолковать его показания так, чтобы подтвердить свои теории. Они искажают таким образом свои наблюдения и пренебрегают подчас очень интересными фактами только потому, что эти факты не содействуют достижению намеченной ими цели».

Для того, чтобы уточнить метод научного установления факторов, остановимся на специальном примере закалки стали и рассмотрим факторы, влияющие на затверждение металла.

Много лет тому назад заводская практика установила, что при опускании некоторых, нагретых до высокой температуры сортов железа в воду они приобретают значительную твердость. Здесь приходится, очевидно, рассматривать два вида факторов: состав металла и механическую или термическую обработку, которой он подвергается. Оставим состав металла в стороне; возьмем образец хорошо закаливающегося металла и изучим на этом образце влияние термической обработки.

Самая правдоподобная гипотеза состоит в допущении, что твердость металла увеличивается пропорционально увеличению температуры закалки, т. е. что она является функцией этой температуры. Для того, чтобы проверить эту мысль на опыте, надо взять брусок 1 см в диаметре и 50 см длины; нагрев один конец бруска в пламене горна до очень высокой температуры и продолжая держать второй, холодный конец в руке, погружают весь брусок в воду. Таким образом одним опытом на одном образце устанавливают влияние целой шкалы температур.

Для первого чисто качественного определения твердость металла испытывают напилком. Вопреки сделанному предположению, твердость бруска неизменна по всей длине мало нагретой части, вплоть до места, достигшего температуры красного каления, затем внезапно твердость очень сильно повышается и остается неизменной по всему дальнейшему отрезку бруска.

Твердость, следовательно, не является непрерывной функцией температуры; здесь происходит какое то особое явление, для объяснения которого необходима другая гипотеза.

Для ее установления обращаются к уже известным аналогичным явлениям. Нам известно, что изменение свойств твердых тел тоже происходит в виде прерывистой функции. В сере, например, кристаллическая структура, плотность и точка плавления резко изменяются по обе стороны от 95° С. Говорят, что при этой температуре сера претерпевает аллотропическое превращение, т. е. резко изменяет свои свойства, подобно тому, как изменяются свойства кристаллических тел при плавлении.

Исходя из этого знакомого явления, строят гипотезу о том, что железо, будучи нагрето до красного каления, претерпевает аллотропическое превращение и что закалка должна производиться при более высокой температуре для того, чтобы сохранить при нормальной температуре железо, обладающее особой высокой твердостью. Необходимые для проверки этой гипотезы опыты состоят в измерении различных физических свойств металла при все увеличивающихся температурах и в наблюдении за тем, не происходит ли при какой либо определенной температуре изменение всех свойств железа.

Предполагаемая гипотеза подтверждается; при 725° свойства стали, содержащей 1% углерода, упругость, электропроводность,

термо-электрические свойства и теплота каления резко изменяются. Наличие превращения стали, следовательно, установлено; вторая часть гипотезы, сохранение в холодном состоянии видоизменения, свойственного железу в нагретом состоянии, тоже вполне вероятно. Однако показания опыта противоречат гипотезе. Железо в нагретом состоянии не обладает магнитными свойствами, между тем как закаленная сталь обладает замечательными магнитными свойствами; она идет на производство магнитов. Для того, чтобы опровергнуть гипотезу, достаточно одного противоречащего гипотезе показания опыта. Клод Бернар настаивает на том, что, как бы ни было велико число опытов, подтверждающих гипотезу, все они бессильны в сравнении с одним отрицательным результатом.

Для объяснения явления закалки пришлось создать новую гипотезу. Не входя в рассмотрение деталей последнего изыскания, приведу только конечный вывод. Железо претерпевает двойное превращение: аллотропическое превращение железа сопровождается разложением раствора углерода в железе. Этот раствор, стойкий исключительно в нагретом состоянии, распадается при медленном охлаждении на карбид железа, цементит, Fe_3C и чистое железо. Закалка обычных углеродистых сталей препятствует такому распаду, но не мешает переходу раствора из видоизменения, стойкого в нагретом состоянии и не обладающего магнитными свойствами, в видоизменение стойкое в холодном состоянии и обладающее магнитными свойствами.

Для создания гипотезы, приведшей к последнему выводу, необходимо было быть знакомым, с одной стороны, с аллотропическими изменениями простых тел, с другой стороны, со свойствами твердых растворов, с их сходством с жидкими растворами и отличиями от них. Твердые растворы схожи с жидкими по условиям равновесия и отличаются от них замедленным установлением равновесия, являющимся функцией коэффициента вязкости рассматриваемых тел.

Значительное число изобретателей и начинающих экспериментаторов предпочитают вести научные изыскания без определенного плана, полагаясь исключительно на свое вдохновение. Иногда они, понятно, добиваются известных результатов, которые приводят затем как доказательство правильности их метода работы. Но они забывают учесть то огромное количество энергии, которое они затратили на проведение работ. Они совершенно не ценят человеческого труда.

Надо все же признать, что большинство наших производственников и врачей сформировались именно при таком способе работы, и очень часто до сих пор продолжают работать в том же направлении. Исстари, для лечения болезней пробовали всевозможные средства: колдовство, фетиши, полевые травы, жабы

лапки, сердца гадюк и т. д. Наконец, были открыты свойства хинина, иода, сурьмы, ртути, основ наших наиболее сильно действующих лекарств. Но сумма труда, затраченного на эти открытия, так огромна, что ум не в силах ее объять.

Нельзя запретить изобретателям увлекаться исследованием неизвестного, и к счастью, люди склонны к таким увлечениям. Не надо их слишком отговаривать. От экспериментаторов можно требовать только одного: более систематической и, следовательно, более продуктивной работы.

Преимущество этих более скромных изысканий, в общем, уже доказано применением их в химии. Каждый раз при открытии нового тела или нового соединения химии методически исследуют все его свойства; рассматривают, какое действие оказывает на него тепло, электричество, растворители, важнейшие химические реактивы. Эта простая документационная работа зачастую приводит к интересным открытиям. Выделив фтор, Муассан исследовал его воздействия на ряд различных тел; он открыл фтористый углерод и отметил выделение озона при действии фтора на воду. Получив перекись водорода, Тенар систематически исследовал ее воздействие на очень большое количество тел. Во время этих опытов он открыл разложение перекиси водорода под влиянием катализаторов и еще более интересное их воздействие на перманганат калия; разлагаясь, перекись водорода вызывает одновременное разложение перманганата калия.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Экспериментальные измерения

Измеримые величины

Второй стадией науки является измерение величин, между которыми ищут закономерную зависимость.

Все ли величины измеримы? Самое поверхностное рассмотрение величин доказывает обратное.

Возьмем, например, хорошо известное свойство твердых тел—твердость. У разных тел она различна—кварц тверже мрамора, а мрамор тверже гипса, следовательно, твердость—это величина. Между тем нет ни одного способа для ее точного измерения. Ее можно только сравнивать с более или менее произвольно установленной шкалой твердости.

Минерологи пользуются шкалой Моза, составленной из ряда минералов, со все увеличивающейся твердостью и подобранных с таким расчетом, чтобы каждый из них мог быть исчерчен высшим, следующим за ним по шкале твердости минералом и чтобы низший, следующий за ним по шкале твердости минерал,

не мог провести на нем черты. Вот пример такой шкалы твердости: тальк, гипс, кальцит, плакиковый шпат, апатит, полевой шпат, кварц, топаз, корунд, алмаз.

С помощью склерометра можно достичь более точных сравнительных данных. Этот аппарат состоит из алмазного острия, надавливаемого с определенной силой на изучаемую поверхность. От трения острия на изучаемой поверхности остается след, ширина которого тем меньше, чем тверже исследуемое тело.

В металлургии для определения твердости пользуются шариком Бринелля. Это стальной шарик 10 мм в диаметре, который вдавливается в металл под давлением в 3.000 кг. Для вычисления твердости давление делят на площадь сферического углубления, полученного в результате вдавливания шара; площадь выражают в квадратных миллиметрах.

Числа твердости, полученные по разным шкалам, очень мало сходятся.

Чтобы быть действительно измеримыми, в обычном значении этого слова, величины должны подчиняться двум законам:

- 1) закону эквивалентности и
- 2) закону слагаемости.

Закон эквивалентности можно сформулировать так: два тела, эквивалентные по какому либо свойству третьему телу, будут эквивалентны по тому же свойству в отношении всех других тел. Например, два тела, привешенные к пружинам, вызывают одно и то же растяжение; помещенные на чашку весов они уравновесят один и тот же груз. Или: два нагретых тела, приведенные в соприкосновение с термометром, вызывают поднятие ртути в термометре на одну и ту же высоту капиллярной трубки. Приведенные в соприкосновение с платиновой нитью, они сообщат ей одинаковое расширение и одинаковое электрическое сопротивление.

С твердостью дело обстоит иначе. На телах, в которых шарик Бринелля выдавливает одинаковые углубления, склерометр может провести неодинаковые царапины.

Закон слагаемости формулируется таким образом: слагая несколько схожих тел, можно создать систему; эквивалентную в какомнибудь определенном отношении другому телу, в котором данное свойство сильнее развито. Одно тело можно уравновесить на весах сложением нескольких небольших однородных тел, более легких, каждое в отдельности, чем данное тело, например, несколькими разновесками весом в один грамм каждая.

Когда оба эти закона соблюдены, то для проведения измерения достаточно сосчитать, сколько тел, принятых за единицу, уравновесят измеряемое свойство изучаемого тела. Измеряя, напр., вес тела, подсчитывают количество граммов, которое надо положить на чашку весов для того, чтобы уравновесить вес

изучаемого тела. Измеряя светосилу источника света, подсчитывают количество свечей, которое надо зажечь для того, чтобы получить освещение, равное освещению, даваемому рассматриваемым источником света.

Во всяком измерении вводится, следовательно, только одно произвольное условие, а именно, величина тела, принятого за единицу. Для перевода измерений, исчисленных в одних единицах мер, в другие единицы достаточно применить соответствующий коэффициент.

Когда соблюден только закон эквивалентности и не соблюден закон слагаемости, нельзя производить непосредственных измерений и приходится довольствоваться сравнительным измерением, т. е. измеряют поддающееся измерению свойство, изменяющееся параллельно свойствам, не поддающимся измерению. Измерение этого свойства позволяет построить шкалу сравнения.

Температура, например, не поддается измерению, потому что сложением нескольких тел, нагретых до одной и той же температуры, нельзя уравновесить тело, нагретое до более высокой температуры, но температура поддается сравнительному измерению; ибо она, в отличие от твердости, подчиняется закону эквивалентности. Расширение тел, их электрическое сопротивление и их лучеиспускание изменяются с повышением температуры; измерением одного из этих свойств можно измерить и температуру. Различные шкалы сравнения одного и того же свойства тела совершенно не соответствуют друг другу, поэтому не существует коэффициента для перевода данных одной шкалы в соответствующие данные другой шкалы.

В то время, как для непосредственного измерения достаточно одного произвольного условия, для проведения сравнительного измерения необходимо четыре произвольных условия.

Для построения температурной шкалы Реомюр произвольно выбрал измеримое явление — расширение; измеряемое тело — спирт; единицу измерения — одну восьмидесятую расширения спирта в пределах от температуры таяния льда до температуры кипения воды и, наконец, ноль градуировки, соответствующий температуре таяния льда.

Применялось еще много иных шкал. Наиболее известные из них приводим в табличке на 42 стр.

Для выявления расхождения этих шкал достаточно указать, что 1.500° по стоградусному термометру соответствует 1.800 градусам Реньо и 30 градусам Уэджвуда.

В принципе безразлично, какую выбрать единицу для производства непосредственных измерений, но необходимо иметь известную договоренность для того, чтобы сравнить цифровые данные разных экспериментаторов; в противном случае может произойти большая путаница. Однако это трудно сделать.

Наименование шкал	Явление	Тело	Единица	Ноль
Реомюр	Расширение	Спирт	1/80 ¹⁾	Лед
Фаренгейт	То же	То же	1/180 ¹⁾	— 32°
Стоградусная	Тоже при постоянн. объеме	Азот	1/100 ¹⁾	Лед
Термодинамическая	Тепло	Безразличн.	1/100 ¹⁾	— 273°
Реньо	Удельная теплота	Железо	То же	Лед
Сименс	Электрич. сопротивл.	Платина	То же	То же
Уэджвуд	Усушка	Каолин	1/24 ²⁾	Около 500°

Во-первых, неудобно принять одну и ту же единицу для измерения сильно отличающихся друг от друга величин одного порядка, ибо в таком случае результаты измерения должны были бы записываться многозначными цифрами. Для избежания этого неудобства можно принять ряд единиц, относящихся как 1 к 1.000. При таком условии смешение единиц становится невозможным. Так, для измерения длины принят километр, метр, миллиметр и микрон; для измерения количества тепла—большая и малая калория.

Второе затруднение заключается в трудности искоренения старых традиций. Несмотря на то, что метрическая система зародилась во Франции и предписана законом, как обязательная, тем не менее еще очень часто измеряют с'естные продукты фунтами, драгоценные камни каратами, вино бочками, металлические ткани дюймами и т. д. Этой устойчивостью старых обычаев часто пользуются за границей (в Англии, например) для того, чтобы оправдать отказ от перехода на метрическую систему.

С первого взгляда кажется, что количество единиц, необходимых для проведения измерений, должно быть равно количеству измеряемых величин. На самом деле их значительно меньше, что объясняется двумя причинами.

Прежде всего необходимо отличать основные величины от производных, которые связаны с первыми определенной зависи-

¹⁾ От температуры кипящей воды до температуры таяния льда.

²⁾ От первоначального размера вещества.

мостью. Например, длина и время—основные величины, которые требуют специальных единиц измерения. Напротив, скорость—производная величина, ибо она, согласно определению, равна частному от деления длины на время. Следовательно, нет нужды в особой единице для ее измерения; вполне достаточно метра и секунды.

Точно так же работа твердых тел выражается в единицах силы и длины, а работа жидких тел—в единицах давления и объема.

Для выражения всех многочисленных величин механики: работы, момента инерции, скорости, ускорения, количества движения, моментов, пары сил,—достаточно трех единиц измерения—длины, времени и массы. Для измерения всех величин, зависящих от количества тепла, достаточно трех единиц: количество тепла, температура и время.

Несмотря на ненужность специальных единиц измерения для производных величин, как например, механическое давление, на практике часто бывает удобно нарушать это правило. В таком случае достаточно установить зависимость производной величины от основных величин для того, чтобы конечный результат выразить в общепринятых единицах. Так, давление газов постоянно измеряют в атмосферах, в миллиметрах ртути, воды и т. д. Перевод в метры и килограммы очень прост; надо только помнить, что давление одного миллиметра ртути равно давлению 13,6 кг на 1 кв. метр и что давление атмосферы равно 10.233 кг на 1 кв. метр.

На ряду с зависимостями, связывающими согласно определению некоторые величины, существуют и иные зависимости, выведенные на основании экспериментальных законов, как например, из закона сохранения энергии, которые устанавливают эквивалентные количества тепла, работы и электрической энергии. Единицы работы, тепла и электричества надо выбирать с таким расчетом, чтобы эквивалентные количества этих видов энергии были выражены одними и теми же числами.

Созданная с этой целью система единиц CGS принимает за основные единицы длины—сантиметр, времени—секунду и массы—кубический сантиметр воды. Единица силы—дин—является, следовательно, производной величиной; согласно определению—дин—это сила, сообщающая в 1 сек. массе в 1 г ускорение в 1 см. Единица энергии—эрг соответствует работе, произведенной 1 дин-ом на 1 см. длины. Но так как эта единица энергии слишком мала для обычных измерений, установили еще одну единицу—джоуль, равный 10^7 эргов. Зависимость между этой единицей и обычными единицами такова: $1 \text{ джоуль} = 1/981 \text{ кг.-метр} = 1/41,70 \text{ калорий} = 1 \text{ кулону вольт}$. В электротехнике эти единицы приняты в качестве основных.

Доказательством правильности выбора длины, времени и массы в качестве основных единиц измерения для механики служит наибольшая доступность этих величин для восприятия нашими органами чувств и легкость их измерения. Какими бы разнообразными измерительными приборами мы не пользовались, наблюдение сводится в конце концов к установлению одной из этих трех величин. В гальванометре и термометре измеряют длину шкалы.

Определение силы на станках для испытания металла сводится к измерению массы с помощью весов. Измерение вязкости сводится к измерению времени, безразлично, определяют ли ее наблюдением над протеканием известного объема жидкости сквозь капиллярную трубку или над погружением платинового тела в вязкую массу.

Кроме того, к преимуществам этих величин надо отнести возможность измерять их в неограниченных пределах, правда, разными инструментами. Мы измеряем километр инваром, метр инструментом, называемым метром, миллиметр—пальмером, микрон—аппаратом Физо. Время мы измеряем годами, согласно движению земли вокруг солнца, днями, согласно вращению земли вокруг своей оси, секундами, согласно качанию маятника часов. Наконец, весы позволяют взвешивать грузы весом от $1/10$ миллиграмма до килограмма, а специальные экспериментальные приборы от одного килограмма до сотен тонн.

Иными словами, мы можем измерить эти три основные величины в пределах $1:10^{10}$. Никакую иную величину нельзя было бы измерить в таких широких пределах.

Способы измерений

Существует два, резко отличающихся друг от друга, способа измерений: непосредственное измерение, к которому непосредственно применимо данное нами определение измерения, и косвенные измерения, которые не отвечают данному определению.

Согласно данному нами определению, измерение какой либо величины состоит в подсчете количества принятых за единицу тел, которые надо сложить для того, чтобы построить систему, эквивалентную изучаемой величине. Следуя этому определению, для измерения веса какого-либо тела, его уравнивают грузом и затем определяют количество граммов, уравнивающее груз. Уравнивание груза производят добавлением грамм-овых разновесок на вторую чашку до тех пор, пока стрелка не остановится на нуле. Такой метод носит название метода приведения к нулю.

Для определения электродвижущей силы, например, электродвижущей силы динамо, ее противопоставляют уравновешивающей ее величине, группе аккумуляторов, которые уравновешивают вольтовыми столбами, принятыми за единицу. Если сто элементов Даниеля эквивалентны динамо, это значит, что электродвижущая сила динамо равна 100 вольт. Это—тоже метод приведения к нулю, ибо уравновешивание электродвижущей силы состоит в приведении к нулю силы тока между аккумуляторами и динамо или аккумуляторами и вольтовыми столбами.

В химии при ацидиметрии высчитывают, сколько нужно истратить раствора соды для того, чтобы сделать кислотность раствора равной нулю. Затем такое же количество соды, которое истратено на нейтрализацию раствора, обратно нейтрализуют титрованной кислотой. Количество истратенных кубических сантиметров кислоты показывает кислотность исследуемого раствора.

Иногда для ускорения процесса измерения не употребляют промежуточного груза. При работе на весах с совершенно равными коромыслами, можно ограничиться одним взвешиванием, помещая на одну чашку взвешиваемое тело, а на другую количество граммов, необходимое для установления равновесия. В ацидиметрии ограничиваются измерением объема соды, пошедшей на нейтрализацию кислоты. Если раз навсегда установить, какое количество титрованной кислоты нейтрализует единицу применяемого раствора соды, то на основании количества израсходованной соды можно вычислить количество кубических сантиметров титрованной кислоты, эквивалентное измеряемому телу.

Хотя такой косвенный метод значительно ускоряет работу, он тем не менее неудобен, ибо приводит к введению особых ошибок. При взвешивании неравенство коромысел весов, могущее произойти от неравномерного их нагревания, искажает результат взвешивания. Если при алкаиметрическом титровании кислоты, руководствоваться простым израсходованием соды, то возможное изменение раствора соды, титр которого ежедневно не проверяется, увеличивает допущенную ошибку.

Очень часто приходится прибегать к еще более сложным методам измерения, а именно: измерение одной величины использовать для измерения другой величины, являющейся твердо установленной функцией первой, т.-е. связанной с ней законом, точная формула которого нам известна. Иногда приходится вводить в вычисления даже несколько законов.

В химии для определения веса элемента, т.-е. простого тела, почти всегда приходится взвешивать одно из его соединений; для определения веса серы взвешивают серно-кислый барий. На основе закона неизменных соотношений мы знаем, что в серноокислом барии всегда содержится неизменное количество

серы. Достаточно определить ее содержание раз навсегда, чтобы затем пользоваться этими вычислениями при анализах серы; для этого вес серно-кислого бария умножают на коэффициент 1,14. Но при этом погрешности, связанные с установлением этого коэффициента, увеличивают погрешности непосредственного анализа.

В этом заключается основной недостаток косвенных измерений.

Приведем еще один, более сложный пример. Для определения содержания извести в мергеле, предназначенном для производства цемента, измеряют объем углекислоты, выделяющейся под действием кислоты, и на этом основании вычисляют вес извести.

Для перехода, при таком методе вычислений, от веса углекислоты к весу извести, приходится пользоваться законом неизменных соотношений. Вес извести равен 1,22 веса углекислоты.

Наконец, для того, чтобы перейти от непосредственно измеренного объема углекислоты к ее весу, необходимо воспользоваться законами Мариотта и Ге-Люссака. Введение этих законов требует экспериментального определения двух дополнительных величин: давления и температуры кислотного раствора. Подобное введение пяти различных измерений, трех в момент проведения опыта (давление, объем и температура) и двух предварительных измерений (состав углекислого кальция и удельный вес углекислоты) в пять раз увеличивает шансы допустить ошибку во время проведения анализа.

Но это еще не все; при проведении косвенных измерений, на анализ зачастую влияют посторонние, чуждые изучаемому явлению факторы, которые неизбежно приводят к новым ошибкам. При вышеописанном измерении принимают участие два побочных фактора, влиянием которых никак нельзя пренебречь. Во-первых, углекислый кальций почти всегда встречается вместе с углекислым магнием и углекислым железом. Определяя содержание углекислого кальция на основе выделившейся углекислоты, неизбежно определяют также и примесь этих посторонних углекислых солей. Во вторых, углекислый кальций разлагают водным раствором кислоты, а углекислота до известной степени растворима в воде. Эту погрешность стараются исправить, уменьшая, по возможности, объем применяемых растворов, но полностью избежать ошибки невозможно.

Другой, очень распространенный в химии и связанный с аналогичными погрешностями метод измерений—это метод определения веса остатка по разности. Для этого определяют вес всех составных частей данного тела, кроме одной, и вычисляют вес последней составной части по разности, основываясь на законе сохранения вещества. Этим способом всегда определяют содер-

жание кислорода в органических веществах. Все погрешности, допущенные при определении каждой из составных частей вещества, слагаются при определении содержания последней составной части по разности. И если в данном веществе содержатся тела, присутствие которых не удалось установить, или количественное содержание которых не удалось измерить, то их масса присоединяется к массе определенного по разности вещества. Иногда такие вычисления приводили к невероятным погрешностям.

Крайне важным при изучении способов измерений является вопрос об их чувствительности. Для того, чтобы достичь желаемой точности измерений, необходимо, чтобы измерительные приборы отмечали достаточно малые колебания измеряемых свойств. Для достижения значительной чувствительности, необходимо располагать соответствующей аппаратурой, при чем, чем выше желаемая точность измерения, тем дороже нужные приборы; надо все же отметить, что стоимость приборов возрастает значительно быстрее, нежели достигаемая с их помощью точность измерений. Например, весы, на которых можно взвесить навеску от 1 кг до 0,1 г стоят несколько десятков франков. Весы, на которых можно взвесить с точностью до 1 миллиграмма, стоят несколько сотен франков, а весы, на которых можно взвесить с точностью до $\frac{1}{10}$ миллиграмма, стоят несколько тысяч франков. В данном случае повышение точности достигается без изменения конструкции весов, исключительно более тщательным выполнением деталей. В частности, дорогие весы должны быть выполнены с особой тщательностью, и для того, чтобы они надолго сохранили чувствительность, необходимо принимать особые меры предосторожности при работе.

В иных случаях повышение чувствительности достигается изменением конструкции прибора, улучшением принципа его построения. Метр дает возможность измерить длину с точностью до 1 мм; штангенциркуль—с точностью до $\frac{1}{10}$ мм; пальмер—с точностью до $\frac{1}{100}$ мм, наконец, интерференционные приборы—с точностью до $\frac{1}{1000}$ мм.

Новички в научно-изыскательной работе обычно склонны преувеличивать необходимость чувствительных приборов для их работы; такие приборы нужны лишь для уточнения конечного результата. Например, весы с точностью до $\frac{1}{10}$ миллиграмма могут дать нужную точность только в том случае, если принять все меры для предотвращения других бесчисленных причин возможных погрешностей: неточности разновесок, движения воздуха в весовой клетке, неравномерного нагревания рычагов весов под влиянием излучения тепла телом наблюдателя, конденсации водяных паров, и даже воздуха, на поверхности взвешиваемого тела, электризации прибора под влиянием трения и т. д.

Пользование исключительно точными приборами невероятно затрудняет и удлинняет производство измерений и зачастую достигнутые результаты не окупают затраченного времени и труда.

Организация измерений

В тех частых случаях, когда количество участвующих переменных величин очень велико, опыты необходимо проводить с особой тщательностью. В противном случае экспериментатор рискует потерять много времени и даже запутаться в слишком сложном вопросе.

В таком случае следует строго придерживаться следующего основного правила: при всех опытах, все факторы, за исключением одного, должны быть неизменны. Этот метод аналогичен методу, носящему в геометрии название проектированных ординат. Для изучения функции двух независимых переменных, которые можно изобразить в пространстве, в виде поверхности, эту поверхность определяют кривыми, полученными в результате пересечения поверхности, равно-отстоящими плоскостями, перпендикулярными к одной из координат. Вдоль такой кривой одна переменная,—которая измеряется перпендикуляром к плоскостям, неизменна. Изменяется только вторая координата. Таким образом, изучение функции сводится к изучению одной переменной. Если число переменных еще больше, функцию нельзя изобразить в виде поверхности, но ее изучение всегда можно свести к изучению функции одной переменной, которая на всем протяжении совпадает с изучаемой сложной функцией.

В своей знаменитой статье о резьбе металлов Ф. Тейлор настаивает на применении именно этой системы. Довольно странно, что инженер-практик, не получивший почти никакой научной подготовки, жестко придерживается одного из самых важных принципов научной методики, которым так часто пренебрегают в чисто научных лабораториях. Вот как он поясняет свою мысль:

«Эксперимент есть не что иное, как определение последствий изменения одной составной части, в то время как другие составные части остались неизменными.

«Необходимость подбора условий, при которых переменные величины становятся постоянными, сильно усложнила мои опыты и потребовала затраты большого количества очень дорогих поковок. Эти добавочные условия отнимают три четверти времени, потраченного на производство опыта. В течение нашей работы, зачастую приходилось тратить дни, а иногда и недели для подготовки опыта, но когда, наконец, удавалось добиться единообразия составных частей, тогда опыт заканчивался в несколько дней, а иногда и в несколько часов.

«Описать способы сохранения неизменных условий—значит дать полное описание постановки опытов о резьбе металлов. Поэтому автор начнет с описания принятых им мер предосторожности для обеспечения неизменности условий».

В научных лабораториях часто пренебрегают этим важным правилом. Обычно увлекаются кажущейся легкостью постановки опытов и, наталкиваясь на трудность согласования получаемых результатов, тем самым надолго отдалают завершение работы. Приведем очень характерный пример: инверсию тростникового сахара под действием диастаз и кислот. Обычная тема изысканий—скорость инверсии, является функцией многих переменных: состава и концентрации катализатора, температуры, концентрации сахарозы, декстрозы и левулезы, присутствие посторонних солей и т. д. На результаты опыта влияют не менее пяти переменных. Обычно работают при постоянной температуре, что вполне соответствует указанному правилу; затем, исходя из раствора сахарозы определенной концентрации, производят ряд опытов над одним и тем же раствором, что избавляет от необходимости готовить новый раствор для каждого измерения. Но как известно, концентрация сахарозы и инвентированного сахара постоянно меняется, поэтому при каждом опыте меняются три переменных. Результатом такого метода работы являются трудно поддающиеся сравнению данные разных опытов, и, что еще важнее, результаты работ разных экспериментаторов не сравнимы. Поэтому, несмотря на многочисленные работы в этой области, вопрос этот до сих пор еще окончательно не разрешен.

На заводах привычка работать с несколькими переменными еще более распространена; обычно надеются, что при изменении всех условий зараз скорее удастся напасть на правильное решение вопроса. Понятно, эта надежда никогда не оправдывается. При такой работе расходуется очень много труда, ничего не достигается, и что еще важнее, после работы не остается точных записей, которые могли бы быть использованы впоследствии, если когда либо снова придется вернуться к тем же или аналогичным исследованиям.

Вторым важным условием организации научно-исследовательской работы является построение ее с таким расчетом, чтобы потратить на ее проведение возможно меньше труда и денег.

К этой стороне дела, как мы уже указывали, научно-исследовательские лаборатории относятся с глубочайшим презрением.

Часто высказывается соображение о том, что наука не знает расчетливости, что заботы о высокой производительности—дело заводов. Все это—детский лепет. Вертело и Пастер в значительной степени обязаны своей славой колоссальной производительности их труда. Если бы Пастер лентяйничал, изучая болезни шелковичных червей и брожение пива, у него никогда

не хватило бы времени на открытие причин заболевания сибирской язвой или на открытие способа прививки против бешенства или вообще всех болезней, вызываемых микробами.

Быстрота работы, количество времени, затраченного на проведение одной и той же операции, сильно колеблются. Я наблюдал, как мои ученики тратили на взвешивание осадка с точностью до 1 миллиграмма от 2 до 20 минут. Зачем же тратить на проведение одной и той операции в десять раз больше времени, чем нужно?

Для того, чтобы достичь нужной быстроты работы, необходимо систематически изучать условия, от которых зависит эта быстрота. Если речь идет о взвешивании, надо заметить, на каком расстоянии от весов и куда надо ставить коробку с разновесками, какое освещение более удобно, как устроиться, чтобы всегда иметь под рукой груз неизменного веса, какой высоты должен быть стул для сидения перед весами, как наблюдать движение коромысла, когда нужно проверить отклонения исходного нуля, как вывести, на основании продолжительности колебания стрелки, какой груз нужно добавить и т. д.

Для химических операций также надо уметь устанавливать, сколько вести параллельных анализов для того, чтобы не сидеть сложа руки, пока будет фильтроваться медленно фильтрующаяся жидкость, какой объем реактивов применять для данной реакции, какой при концентрации, при какой температуре, как фильтровать жидкость, декантацией или прямым перенесением на фильтр, надо ли применять обычный фильтр складчатый или отсасывающую воронку, какие принимать меры, чтобы избежать разбрызгивания при выпаривании досуха и вместе с тем не затягивать выпаривания на несколько дней?

Иногда умение экономить время—природный дар, но при отсутствии природных способностей трудом и размышлением можно приобрести желаемый навык. Во всех учебных лабораториях надо было бы обязать учеников записывать, сколько времени они потратили на данную операцию, и заставить их отдавать себе отчет в причинах более скорой работы того или иного ученика. Тогда они поняли бы, сколько они делают лишних, легко устранимых движений.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Погрешности

Погрешности играют в экспериментальных науках такую большую роль, что им необходимо посвятить отдельную главу. Если бы мы могли проводить опыты безошибочно, то по всей вероятности наука развивалась бы в десять раз быстрее. При

изучении библиографии какого либо вопроса всегда поражает огромное количество посвященных ему трудов, которые все же не исчерпали вопроса до конца. Почти во всех последовательных исследованиях стремились исправить допущенные в предыдущих опытах погрешности, или по меньшей мере уточнить эти опыты. В химии, например, было проведено несколько десятков тысяч опытов для установления атомных весов простых тел. Всего существует около ста элементов; следовательно, непогрешимым ученым было бы достаточно поставить около ста опытов для того, чтобы закончить это исследование.

Мы не в состоянии избежать экспериментальных погрешностей. Мы стремимся только к тому, чтобы свести эти погрешности до минимума, зная заранее, что, несмотря на все наши усилия, полученные результаты будут далеко несовершенны и что наши последователи в дальнейшем их уточняют.

Для того, чтобы быть в состоянии бороться с погрешностями, необходимо прежде всего их изучить.

Относительные погрешности

Различают погрешности двоякого рода: абсолютные и относительные. Абсолютная погрешность—это выраженное в абсолютных цифрах расхождение данных нашего опыта с истинной измеряемой величиной.

Например, мы кладем на чашку весов киллограмм-эталон Международной палаты мер и весов—и взвешиваем его с помощью имеющегося у нас набора разновесок; истинный вес килограмма известен; если его вес не абсолютно точен, то отклонения от абсолютного веса настолько превосходят точность обычных измерений, что мы можем ими пренебречь. Если при взвешивании окажется, что килограмм весит 1001,7 г, то допущенная нами абсолютная погрешность равна 1,7 г.

Измерительные приборы часто обладают неизменной чувствительностью на всем протяжении их действия; получающаяся при этом абсолютная погрешность тоже неизменна. Метр, разделенный на миллиметры, всегда даст при измерении длины абсолютную погрешность в пределах 1 миллиметра. Калориметрический термометр всегда даст погрешность около 0,01°.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к измеряемой величине. В вышеприведенном примере определения веса эталонного килограмма относительная погрешность равна $0,17\%$, примерно, двум тысячным. В калориметрических измерениях, где измеряются, по возможности, колебания температуры в 3°, относительная погрешность равна $0,33\%$. Но если, вместо того чтобы измерять колебания температуры в 3°, пришлось бы измерить колебания,

равные $0,3^\circ$, то относительная погрешность возросла бы в десять раз и составила бы $3,3\%$. Если бы, наконец, пришлось измерить интервал в 30° , то относительная точность почти совпала бы с теоретической. Относительная погрешность составила бы только $0,033\%$. Но в таком случае иные причины вызвали бы другие погрешности, и кажущаяся точность оказалась бы ложной.

При изучении погрешностей необходимо строго различать конечные погрешности в искомом результате и непосредственные погрешности, получающиеся при производстве измерений, необходимых для достижения конечного результата. Нас интересует только точность получаемого результата; точность же измерений интересует нас лишь постольку, поскольку она влияет на точность результата.

В научных лабораториях процветает спорт—добиваться точности ради точности (т. е. искусство ради искусства), не интересуясь тем, какое влияние оказывает кажущаяся точность опытов на конечный результат.

При изучении электропроводности металла, как функции температуры, проводят измерения электричества с точностью $1/10.000$, не стараясь уточнить измерения температуры более, чем на 10° . Электропроводность чистых металлов изменяется примерно так же, как расширение газов. Колебание в пределах 10° при приближении температуры опыта к 700° , приводит к погрешности, равной 10% , т. е. к погрешности, во сто раз большей, чем допускаемая в измерении электричества. Такой метод работы не имеет с наукой ничего общего, это снобизм.

Обычно для конечного результата важны только относительные ошибки; предположим, что мы хотим проверить правильность закона Марриота, т. е. неизменность произведения

$$PV = R$$

Рассмотрим, например, 1 грамм молекулу газа при температуре таяния льда; произведем два измерения; первое при атмосферном давлении, т. е. при 760 мм,—второе при давлении в десять раз меньшем. Предположим, что в обоих случаях допущена одинаковая погрешность, равная 10 мм. Тогда, измеряя объемы в кубических сантиметрах и давления в миллиметрах ртути, находим для газа следующие произведения: 17,12 и 19,12, в то время, как средняя, принятая для произведения, величина равна 16,9. С первого взгляда на эти цифры кажется, что опыт не подтверждает закона; произведение увеличивается с уменьшением давления. Но произведя детальный анализ допущенных погрешностей, легко убедиться, что во втором случае та же неизменная погрешность при измерении объема возросла в связи с увеличением объема газа в десять раз, что вызвало увеличение произведения PV . Опыт, следовательно, не дал ничего.

Мы гораздо скорее и яснее поймем это обстоятельство при рассмотрении относительных погрешностей, сильно колеблющихся в разных опытах. В первом случае относительная погрешность при определении давления равна $1,3\%$, во втором случае 13% . Следовательно, относительные погрешности при определении константы абсолютно идентичны; наблюдаемые расхождения надо, таким образом, отнести на счет неточности ведения опыта.

С точки зрения практического пользования, преимущества ориентировки исключительно на относительные погрешности еще более очевидны. Например, мы анализируем, примерно, 1 г железного минерала. Мы находим на 0,01 г железа больше, чем нужно, при общем весе железа 0,5 г. Велика или мала погрешность? Полученная цифра ничего не говорит. Для того, чтобы применить ее к минералу, поступающему в доменную печь, с производительностью 500 тонн в сутки, нужно было бы построить грандиозную шкалу. Рассмотрим теперь относительную погрешность. Она равна 2% по весу содержащегося в минерале железа. Она будет неизменной как для 250 тонн выплавленного чугуна, так и для 1 г анализируемого минерала. Таким образом мы получим на 5 тонн чугуна меньше, чем предполагали на основании анализа. Т.е. считая чугун по 100 фр. за тонну, мы получим 500 франков убытка в день. Вот во что может обойтись неточность анализа, если предположить, что минерал покупался по содержащемуся в нем железу.

Точно так же, анализируя 1 г угля, мы определяем его теплотворную способность. Мы сжигаем на заводах большое количество тонн угля в день. Нас интересует только относительная погрешность при определении теплотворной способности 1 г, ибо эта погрешность остается неизменной и для многих тонн угля.

Вообще, при переходе от лабораторных анализов к производственным процессам, неизменными остаются только относительные погрешности и только они и представляют интерес.

Конечный результат опытов почти никогда не получается непосредственным путем; его приходится зачастую выводить посредством более или менее сложной цепи вычислений. В таком случае крайне важно отдать себе отчет в зависимости, которая существует между погрешностью конечного результата и каждой из погрешностей непосредственных измерений.

В большинстве случаев, следуя правилу, указанному Де-Сенармоном в 1835 г. в читанном им в Политехникуме курсе физики, это очень легко сделать. Всякий раз, когда искомый результат может быть выражен в виде функции произведения или частного переменных, достаточно взять логарифмы Непера и продифференцировать это логарифмическое уравнение. Таким

способом получается зависимость между логарифмическими дифференциалами различных величин:

$$d \log N_{ep} x = dx/x.$$

Следовательно, если простой дифференциал dx выражает абсолютные погрешности, то логарифмические дифференциалы изображают относительные погрешности.

Вернемся к проверке правильности закона Мариотта и прологарифмируем выражение $R = PV$; или $\log N_{ep} R = \log N_{ep} P + \log N_{ep} V$; продифференцировав это уравнение, получим

$$dR/R = dP/P + dV/V,$$

т. е. относительная погрешность в определении константы равна алгебраической сумме относительных погрешностей, допущенных при определении этих двух величин.

Случайные погрешности

Сделанное нами подразделение погрешностей на абсолютные и относительные—чисто формальное деление; оно зависит от определения. Одна и та же экспериментальная погрешность может быть абсолютной, если ее рассматривать как таковую, и относительной, если ее отнести к измеряемой величине.

Но погрешности можно разделить по гораздо более глубокому и важному признаку, основывающемуся на факте, а именно на случайные погрешности, случайно отклоняющие результат измерения в ту или иную сторону, и систематические погрешности, которые повторяются почти неизменно при каждом повторении одного и того же опыта.

Присутствие случайных погрешностей легко установить; достаточно сравнить результаты двух последовательных измерений, проведенных в одинаковых с виду условиях; каждый раз получается иной результат, при чем получающиеся изменения явно носят случайный характер и не подчиняются никакому правилу.

Явность таких неправильностей останавливает внимание экспериментатора, который придает им большое значение. Математики делали на основании этих случайных погрешностей длинные вычисления и подчинили их теории вероятностей. Для экспериментатора эта теория почти не представляет интереса.

Как мы уже указывали, говоря о детерминизме, случайностей не существует; то, что мы называем случайностью, не что иное, как результат нашей небрежности, благодаря которой беспорядочно изменяются некоторые существенные условия опыта. При более тщательной работе оказывается возможным значительно сократить количество случайных погрешностей, а иногда даже почти совершенно их избежать. В своих научны

трудах Реньо часто останавливается на этом вопросе, при чем вполне справедливо замечает, что хотя легко провести опыты так, чтобы их результаты совпадали, тем не менее совпадение результатов не доказывает их правильности.

В производственных лабораториях, в которых химические анализы делают ремесленники, строго следующие установленному порядку, удается достичь удивительно точных результатов, таких, каких никогда не добьются хорошие химики, склонные поддаваться настроению момента и менять каждый раз условия опыта: начальную температуру, продолжительность нагревания, концентрацию применяемых кислот, объем реактивов и т. д. Преодолеть влияния этих погрешностей стараются обычно не уточнением условий проведения опыта, что было бы самым правильным, а простым повторением опытов в тех же условиях, после чего берут среднее арифметическое полученных результатов.

Экспериментатор убаюкивает себя иллюзией, что получающиеся погрешности наверно противоречат друг другу и взаимно уничтожаются. Если бы погрешности являлись только следствием случайности и если бы проводилось достаточное количество опытов, по меньшей мере сто опытов, то арифметическое среднее из них, должно быть, дало бы известное приближение к искомой величине. Но поскольку экспериментатор довольствуется полдюжиной опытов, в которых случай не выявляет себя полностью, арифметическое среднее весьма призрачная величина; вполне возможно, что шесть погрешностей окажутся погрешностями одного и того же порядка.

Как бы то ни было средне-арифметическое—общеупотребительный метод работы и поэтому необходимо сказать о нем несколько слов. Вычисления среднего арифметического числа проводят тремя различными способами, которые по существу тождественны между собой.

Средне-арифметическое (в обычном смысле) M ряда величин a, b, c, d, \dots и т. д. всего n , получается путем сложения всех этих величин и деления суммы на их число:

$$a + b + c + \dots = nM$$

Правило нулевых разностей состоит в выборе средне-арифметического числа s таким расчетом, чтобы алгебраическая сумма его разностей с каждым из слагаемых равнялась нулю:

$$(M - a) + (M - b) + (M - c) + \dots = 0$$

или перенося M в одну сторону,

$$a + b + c + \dots = nM$$

Наконец, правило наименьших квадратов состоит в выборе такого средне-арифметического числа, чтобы сумма

квадратов разностей его с каждым из слагаемых была минимальна:

$$(M - a)^2 + (M - b)^2 + (M - c)^2 + \dots \text{минимум,}$$

что достигается приравниванием нулю дифференциала первого порядка этого выражения:

$$(2 M dM - 2 a dM) + (2 M dM - 2 b dM) + \dots = 0$$

или раскрывая скобки и деля все на 2 dM:

$$a + b + c + \dots = nM$$

Во всех трех случаях, результат один и тот же. Несмотря на почти повсеместное применение, метод средне-арифметического совершенно не рационален. Для того, чтобы объединить несколько опытов, которые должны дать одну и ту же меру, надо было бы пользоваться вероятным числом.

Вероятное число—это число, полученное в результате среднего опыта и делящее все полученные измерения на две группы, одна из которых объединяет результат выше, а другая ниже этого вероятного числа. Практически это число устанавливают следующим образом: берут запись измерений, в порядке их проведения и постепенно вычеркивают наивысшие и наименьшие числа до тех пор, пока остается одно число, в случае нечетного количества измерений, или два числа, в случае четного количества измерений. В последнем случае берут средне-арифметическое последних двух чисел.

Возьмем для примера измерение давления диссоциации углекислого кальция при температуре 900°. Предположим, что найдены давления 760, 755, 750, 758 и 759 мм. Последовательно вычеркивают 750, 760, затем 755, 759 и остается 758, которое и является вероятным числом.

Иногда числа располагают в порядке их возрастания и берут среднее из них. Эти два правила очевидно эквивалентны: 750, 755, 758, 759, 760.

Средне-арифметическое из этих пяти чисел было бы 756,4, т. е. число значительно меньше вероятного числа, ибо на результат вычисления влияет резко отклоняющееся число 750.

Теоретические и математические обоснования необходимости отдавать предпочтение вероятному числу развиты капитаном Дюге в его труде о механических испытаниях металлов и генералом Этьен в маленькой монографии «Об искусстве отгадывать».

Я ограничусь только некоторой апелляцией к здравому смыслу. Во-первых, определение вероятного числа значительно проще, требует меньшего количества времени, следовательно, ведет к меньшим ошибкам, чем определение средне-арифметического. Во-вторых, средне-арифметическое изменяется в зависимости от

того — вычислять ли его по непосредственным данным опыта, по обратным им величинам, по квадратам, или по каким либо их функциям.

Существует столько средне-арифметических чисел, сколько существует способов их вычислений, в то время как есть только одно предпочтительное число, независимо от того, определять ли его из непосредственных данных опыта, из обратных им величин или каким либо иным способом. Между тем функции, из которых выводятся средне-арифметические числа, часто приходится менять в зависимости от постановки опыта.

При эвдиометрическом анализе газа прибор Бунзена отмечает объемы, из которых придется взять средне-арифметическую величину. Прибор Реньо, напротив, показывает давление при постоянном объеме. В этом случае придется взять средне-арифметическое давлений, величину обратную объему. При вычислении количества тепла, доставляемого током напряжения J , нужно брать средне-арифметическое из напряжения или квадрата напряжения, которому в действительности пропорционально количество выделяющегося тепла.

Для того, чтобы определить телосложение среднего человека, попробовали брать среднее арифметическое линейных размеров каждой части тела у хорошо сложенных людей и среднее арифметическое веса их мозга. В результате получалось чудовище, так как при изменении веса мозга пропорционально кубу его линейных размеров полученные средние оказались разнородными и потому несравнимыми.

Прежде всего, самым большим недостатком метода средне-арифметических чисел является то, что он на практике дает возможность произвольно допускать исправление явно ошибочных опытов. Например, в ряде опытов один единственный результат сильно разнится от всех остальных; он сильно изменит средне-арифметическое число, а между тем его резкое отклонение от остальных опытных данных, как будто указывает на его ложность. Поэтому без всякого зазрения совести слишком противоречивые опытные данные исключают. В иных случаях систематически исключают все наименее благоприятные опытные данные, полагая а priori, что они должны быть наименее правильными.

При приемке цемента в подрядных условиях договариваются, что при испытании цемента на разрыв из шести проведенных испытаний два, давших наиболее неблагоприятные результаты, не принимаются во внимание. Между тем, на практике получается одинаково большое число данных, сильно отклоняющихся как в сторону меньшей, так и большей сопротивляемости на разрыв. Это обстоятельство становится очевидным при сравнении пятидесяти данных о разрыве кубиков цемента одинакового строения.

Один химик, желая уточнить атомный вес меди, провел двенадцать измерений; но прежде чем вывести средне-арифметическое, он изъял шесть из них, наиболее отклонявшихся от ранее полученных данных, ибо считал прежние данные достаточно точными. Право, не стоило ставить новых опытов для того, чтобы потом подтасовывать результаты.

При ориентировке на вероятное число подобные оговорки невозможны, и следовательно, меньше соблазна для подтасовки, ибо каждый опыт принимается только за единицу. Степень его отклонения от остальных данных не имеет того значения, как при вычислении средне-арифметического числа.

Мне часто случалось доказывать преимущества вероятного числа; мне ни разу не пришлось встретить убежденного сторонника средне-арифметического числа, но мне также ни разу не удалось встретить человека, который согласился бы отказаться от него. Это очень характерный пример, показывающий, как трудно провести принцип *tabula rasa*.

Систематические погрешности

На ряду с погрешностями, которые нетрудно заметить, но очень трудно избежать, имеются еще второй и гораздо более опасный вид погрешностей—систематические погрешности, которые искажают результаты опыта всегда в одном и том же направлении, и следовательно, не могут быть выявлены простым повторением одних и тех же опытов.

Ученые делают сверхчеловеческие усилия, стараясь избежать бросающиеся в глаза случайные погрешности, и не думают о несравненно более опасных систематических ошибках.

Для того, чтобы найти средство борьбы с основными систематическими ошибками, интересно проследить их происхождение.

Их можно разделить на три группы:

известные погрешности, которых нельзя избежать;

совершенно неизвестные погрешности, против которых, следовательно, невозможно бороться;

известные, или по крайней мере подозреваемые погрешности, от которых не стараются оберегаться или мерами предосторожности против которых пренебрегают. Это наиболее часто встречающийся вид систематических погрешностей.

Среди известных погрешностей, которых нельзя избежать, необходимо прежде всего отметить погрешность, причина которой кроется в самом наблюдателе. Это так называемое личное уравнение. Оно проявляется обычно при измерении времени и было особо тщательно изучено астрономами. Каждый из двух наблюдателей, желающих отметить момент появления какого

либо явления, например, прохождение звезды через меридиан, отметит несколько иное время, при чем расхождение между их записями никогда не превышает одной секунды. При измерении времени этой погрешности нельзя избежать. Ее обходят, ставя опыт таким образом, чтобы наблюдать только промежутки времени между двумя, по возможности, схожими последовательными явлениями; так как запоздание в определении времени неизменно в обоих случаях, то измеряемая разность во времени не искажается. Точно так же, в фотометрии, при измерении силы света, не обладающего строгим монохроматизмом, у двух наблюдателей будет сильное расхождение в оценке равенства интенсивности освещения двух соседних экранов. Это обстоятельство сильно затрудняет изучение оптической пирометрии.

Измерительные приборы обладают зачастую хорошо известными дефектами, исправить которые нет возможности. Реньо описывает подобный дефект, с которым ему пришлось столкнуться при определении удельной теплоты газа; трубка, соединявшая нагревательный прибор с калориметром, обладала теплопроводностью и непрерывно проводила тепло от источника тепла к калориметру. Для того, чтобы ввести поправку на эту погрешность, приходится остановить ток газа и измерить величину передачи тепла этим путем. Но остановка тока газа значительно изменяет закон распределения тепла и, следовательно, изменяет реакцию обмена теплом. Реньо утверждает, что ему так и не удалось составить себе представление о величине получающейся погрешности.

После Реньо, Хольборн и Якоб использовали аппарат Реньо для измерения удельной теплоты газа при 1.400° , т. е. при условиях, когда указанная погрешность может стать огромной, и как будто не останавливались на этом затруднении.

Для борьбы с известными экспериментатору погрешностями необходимо особым образом комбинировать расположение аппаратов и постановку опытов, чтобы устранить причину, вызывающую погрешность. Это нелегко, но иногда этого удается достигнуть. Например, в оптической пирометрии расположение аппаратов, скрывающее нити, позволяет разным наблюдателям получать хорошо совпадающие оценки освещенности поля.

Наиболее тяжелы систематические погрешности, источник происхождения которых еще неизвестен. Когда с ними сталкиваешься в работе—это катастрофа; вся длительная работа идет на смарку. Получающиеся результаты до такой степени неточны, что их даже не стоит опубликовывать. Прекрасным примером ошибок такого рода могут служить предпринятые в прошлом веке английским флотом изыскания в области мировой метеорологии. У одного ученого явилась мысль построить психрометр с помощью крысиного пузыря, связанного с стеклянной

капиллярной трубкой. Сжатие пузыря вызвало подъем ртути в капиллярной трубке и отражало гидротермическое состояние воздуха. Было постановлено, чтобы все суда английского флота в течение года производили по всему свету соответствующие измерения. Таким путем надеялись построить полную психрометрическую карту всего мира. Когда работа была закончена, оказалось, что способность крысиного пузыря к сокращению сильно изменилась за год, при чем изменилась неравномерно, а в зависимости от климата, в котором он находился. И вся огромная работа пропала даром.

Для того, чтобы предохранить себя от неизвестных погрешностей, пользуются одним из следующих способов. Измерительные приборы проверяют на телах, измеряемые свойства которых хорошо изучены; проводят так называемый чистовой опыт.

Для испытания методов химического анализа, их испытывают на химически чистых и заранее отвешенных телах. Если это невозможно, как например, при определении атомных весов, то одно и то же измерение проводят рядом различных способов и сравнивают полученные результаты.

Для определения атомного веса водорода, были применены весовой способ Дюма и Стасса, объемный метод Морлей и, наконец, способ предельной плотности Даниэля Вертело. Можно предположить, что этим трем способам свойственны совершенно разные систематические погрешности, и следовательно, совпадение полученных результатов позволяет пренебречь этими погрешностями.

Наиболее распространенные и наиболее существенные систематические погрешности зависят от причин, о существовании которых экспериментатор подозревает, но по небрежности или по лености их не исследует.

В аналитической химии уже давно известно, что увлечение растворимых солей некоторыми осадками может исказить результат анализа.

Для преодоления этой опасности даются некоторые эмпирические рецепты, оказывающие более или менее сомнительное действие, но до настоящего времени никто не взял на себя труда углубить этот вопрос и выяснить его путем соответствующих измерений.

Умелость экспериментатора расценивается по тому, насколько удачно он умеет бороться с систематическими погрешностями. Счастливый исход борьбы с находящимися в воздухе зародышами, искажавшими результаты работ предшественников Пастера, непосредственно привел творца микробиологии к его самым важным открытиям.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Рассуждения

Когда опыты закончены и установлен предел их точности, необходимо их использовать, для вывода закона. Это—умственная работа, для выполнения которой необходимы рассуждения, логика и вычисления.

Выведенные экспериментальные законы в свою очередь являются отправной точкой для создания ряда новых законов, все более и более удаляющихся от создавшего их опыта. Иногда с помощью силлогизма, комбинации нескольких связанных между собою законов или объединения нескольких оторванных друг от друга законов удается сделать новый вывод, являющийся новым законом. Таковы все геометрические теоремы и теоремы теоретической механики. Их число огромно по сравнению с незначительным количеством фактов, извлеченных непосредственно из опытов. Иногда приходится идти в обратном порядке, выводя несколько экспериментальных законов из законов более общего характера и, исходя из них, устанавливая следствия, которые были или могли быть получены непосредственно опытным путем; именно таким путем удалось свести геометрию к двум основным аксиомам: аксиоме о прямой и аксиоме о параллельных линиях. Их нельзя установить непосредственно из опыта, но поскольку они допущены, они неизбежно приводят к ранее известным фактам, являющимся выводами из этих аксиом.

Все эти приемы очень сложны и часто случается, что погрешности искажают смысл выводов, сделанных косвенным путем на основании опытов.

Математические формулы

В период зарождения науки не требовалась точная формулировка законов. Довольствовались возможностью применять эти законы и не задумывались над тем, как их сформулировать.

Так, Лавуазье не формулировал ни закона сохранения вещества, ни закона сохранения массы, но постоянно пользовался ими, как пользовался бы подсказанными здравым смыслом истинами. Дюма, кажется, первый сформулировал в своих уроках химической философии два закона Лавуазье. Точно так же Вертело нигде не дал формулировок знаменитых законов, носящих его имя. Реньо дал эти формулировки в своей небольшой работе по химии.

Формулировки законов претерпевают многочисленные изменения, зависящие как от сложности законов, так и от степени их изученности. В первой стадии законы формулируются словами,

без применения математических формул. Так было с законом Вертело. Затем соотношение между явлениями выражаются числовыми таблицами или геометрическими кривыми; наконец, приходят к математической формуле, с помощью которой только и можно дать исчерпывающее выражение закона.

Для уяснения природы аналитической функции, наиболее подходящей для выражения данного закона очень полезно пользоваться геометрическими кривыми. Начертания этих кривых производят на глаз, стараясь по возможности пересечь точки, полученные на основании опыта; это — эмпирическое построение.

Необходимо все же соблюдать правило, которое экспериментаторы зачастую забывают — это общий принцип непрерывности. Все явления природы суть непрерывные функции определенного числа переменных. Если при наблюдении какого нибудь явления замечают кажущийся перерыв, это значит, что одна из переменных претерпела резкое изменение. Всякому непрерывному изменению переменной необходимо соответствует такое же непрерывное изменение функций.

Понятно, существуют теоретические исключения, например, в случае неустойчивого равновесия, но они столь редки, что не имеют значения для практической работы; экспериментаторы должны считать их несуществующими. В работах над растворимостью солей часто пренебрегали принципом непрерывности, и эта забывчивость привела многих экспериментаторов к серьезным ошибкам.

При геометрическом изображении закона, зачастую меняют переменные. Вместо того, чтобы непосредственно наносить на ординату данные опыта, наносят их функции: обратные им величины, их логарифмы, квадраты, синусы. Этот способ имеет двоякую выгоду: он позволяет избегать большие величины, которые нельзя нанести на лист бумаги, а также позволяет приблизить кривые к прямым, или, по меньшей мере, к кривым очень большого радиуса, начертание и, в особенности, изучение которых значительно проще.

Предположим, например, что надо изобразить интенсивность излучения раскаленного докрасна тела. Интенсивность излучения изменяется в обычно измеряемых пределах между 700° и 1800° в отношении 1:100000 и даже более. Невозможно начертить кривую, изображающую такие колебания ординат, между тем как кривую их логарифмов легко нанести на лист бумаги.

Точно так же, для построения кривых растворимости, непосредственным опытом определяют вес соли, растворенной в 100 частях воды. Некоторые, хорошо растворимые соли, как например, азотнокислый аммоний, дадут кривые, которые невозможно вычертить, но определяя растворимость отношением веса

растворенной соли к весу раствора, т.-е. то, что называют весовым титром, получают кривую, полностью укладываемую между ординатами 0 и 1.

Такое изменение переменных позволяет иногда получить почти прямолинейные кривые. Таковы, например, кривые давления пара жидкости или давления диссоциации соли. Они изображаются параболическими кривыми. Заменяя давление логарифмом давления и обычную стоградусную температуру величиной, обратной абсолютной температуре, получают значительно более плоскую кривую. Достаточно трех экспериментальных точек для того, чтобы начертить ее с достаточной точностью.

Подобные изменения переменных могут иметь также и специальные преимущества. Если выразить, например, растворимость так называемым молекулярным титром, т. е. числом молекул, растворенных в одной молекуле смеси, то, согласно закону Раута, кривые нормальных тел совпадут. Во всяком случае это верно для концентрированных растворов.

Систематическое пользование логарифмами Непера при изображении явлений, представленных в виде функции некоторых переменных, очень удобно, ибо позволяет с первого взгляда на график установить, какое влияние на результат оказывают случайные относительные погрешности. Расхождение между экспериментальными точками и кривой непосредственно дает величину относительной погрешности.

$$d \text{ Log Nep } y = dy/y$$

$$\text{Log Nep } 100 = 4,605; \text{ Log Nep } 101 = 4,615$$

$$\text{Разность} = 0,01.$$

Установление математической формулировки закона—конечная цель каждого исследования—требует основательных математических познаний. Необходимо чувствовать направление функций, изображенных различными формулами. Если бы Декарт не имел законченного математического образования, он наверное не смог бы установить закона синусов.

Главное затруднение при построении формул заключается в том, что обычно опыты проводятся при очень ограниченных пределах колебания переменных и что каждый опыт связан с более или менее важными экспериментальными погрешностями. Данные наших измерений не дают возможности построить определенную кривую, а определяют зону, удлиненную поверхность, на которой можно расположить отрезки безграничного количества различных кривых, одинаково соответствующих полученным результатам опыта.

Приведем классический пример, доказывающий трудность построения формулы.

На основании опытов, проведенных над лучеиспусканием черного тела, Пуйе заключил, что в промежутках между 0° и 100° это явление подчиняется закону, который может быть выражен следующим уравнением первой степени:

$$S = a (T - T_0)$$

Эту формулу лучеиспускания применили к солнечному теплу и нашли, что температура солнца равна миллиону градусов.

Итальянский ученый Мозелли, проводивший те же опыты при 500° , счел необходимым дополнить эту формулу членом второй степени:

$$S = a (T - T_0) - b (T^2 - T_0^2).$$

По этой формуле температура солнца оказывалась равной всего 12.000° .

Наконец, когда аналогичные опыты были проведены по температуре плавления платины, т.-е. при 1.800° , было найдено, что ни уравнение первой степени, ни второй не соответствуют действительности, и Стефан предложил повсеместно принятую теперь формулу:

$$S = a (T^4 - T_0^4),$$

согласно которой температура солнца равна 6.000° .

Все эти три формулы одинаково отображают опыты Пуйе, проводимые в температурных пределах от 0° до 100° . Его формула—это уравнение касательной к кривой Стефана. Действительно, при рассмотрении небольших отрезков, кривая и ее касательная почти совпадают.

В тех случаях, когда закон устанавливает зависимость между несколькими переменными, количество затруднений значительно увеличивается. Для того, чтобы не запутаться, необходимо начать с установления закона изменения явления в тех случаях, когда все переменные, за исключением одной, приведены в неизменное состояние. Затем, комбинируя частичные формулы, выводят общий закон.

Возьмем очень простой пример—установление закона Мариотта и Гей-Люссака. Обозначим начальное давление, объем и температуру через

$$P_0, v_0 \text{ и } T_0.$$

Те же величины для других условий обозначим через

$$P_1, v_1 \text{ и } T_1.$$

Станем сначала изменять объем при постоянной температуре: Для изменения давления находим:

$$p v_1 = P_0 v_0$$

Затем станем изменять температуру, оставляя объем неизменным; мы найдем зависимость

$$P_1/T_1 = p/T_0$$

Исключая p из этих уравнений, получаем полную формулировку закона:

$$P_1 v_1/T_1 = P_0 v_0/T_0 = \text{const.}$$

В данном случае приходится иметь дело только с тремя переменными, но в сложных явлениях, которыми оперирует промышленность, приходится подчас сталкиваться и с дюжиной переменных. Понятно, установить общую формулировку, которая полностью отражала бы закон, очень трудно даже в том случае, когда располагаешь достаточным числом достоверных опытных данных, позволяющих полностью определить функцию.

Одной из наиболее известных формул такого рода является формула Тейлора, установленная им для определения быстроты обработки стали резанием. Он определяет быстроту, как функцию четырех переменных:

V — скорость резания, при которой инструмент изнашивается в 20 минут;

F — подача инструмента;

D — глубина резания;

R — радиус закругления реза;

K — константа, зависящая от рода обрабатываемого металла и рода применяемого для обработки инструмента.

$$\begin{aligned} \text{Log } v = & \text{Log } K + \text{Log} \left(1 - \frac{8}{7(32 \cdot R)^2} \right) - \left(\frac{2}{5} + \frac{2,12}{5 + 32 R} \right) \\ & \cdot \text{Log } F - \left(\frac{2}{15} + 0,06 \sqrt{32 R} + \frac{0,8 \cdot 32 R}{6(32R + 48D)} \right) \text{Log} \frac{48D}{32R} \end{aligned}$$

Теоремы и основные положения

Мы рассмотрели переход от непосредственного наблюдения к наиболее близким ему законам. При дальнейшем рассуждении можно объединить несколько законов и вывести из них более или менее отдаленное следствие, создающее новые законы, зачастую весьма отдаленные от первых.

Такие законы, выведенные исключительно посредством рассуждения из предварительно выведенных экспериментальных законов, образуют так называемые теоремы. Геометрия и теоретическая механика являются примерами применения подобных законов, теорем, выводимых в неограниченном количестве одна из другой.

Значение теорем, выведенных посредством чистого рассуждения, для разных наук различно. Для того, чтобы иметь возможность выводить одни законы из других и чтобы последний закон был так же достоверен, как первый, необходимо исходить из первичных законов и пользоваться непоколебимо верными рассуждениями.

Многие законы физико-химических наук не постигнуты нами до конца. Ими нельзя пользоваться в качестве отправных точек для безграничных рассуждений. Тем не менее зачастую оказывается полезным комбинировать несколько сходных законов и выводить из них заключения, ускользающие от непосредственного наблюдения.

Нам, например, очень интересно знать температуру горения газа или угля, но до сих пор не удавалось непосредственно измерить эту температуру. Мы можем ее однако вывести на основании нескольких экспериментальных данных. Мы измеряем давление взрыва смеси газов и, комбинируя это измерение с законами сохращения энергии, с законами Мариотта, Гей-Люссака и Джоуля о расширении газа, вычисляем температуру горения данной смеси при постоянном давлении.

Использование рассуждений в этом направлении невероятно расширяет область наших знаний; таким путем создали всю геометрию, теоретическую механику, термодинамику, геометрическую оптику, физическую оптику, электродинамику и т. д. Все же надо опасаться умножения первоначальных ошибок, вызываемых цепью рассуждений.

Во всех так называемых теоретических науках следовало бы с большей тщательностью отделять абсолютно достоверные выводы от приближенных и по всей вероятности не достоверных. Знаменитый трактат Клаузиуса по термодинамике дает много примеров подобной небрежности. Он постоянно смешивает абсолютно достоверные энергетические законы с приближенными законами о газах и растворах и даже с совершенно необоснованными атомистическими гипотезами, зачастую даже с заведомо ложными. В одной и той же главе наталкиваешься на абсолютные законы, приближенные законы, но настолько точные, что опыты не в состоянии доказать их погрешностей, и, наконец, на совершенно ложные выводы, как например, оценка внутренней энергии, приписываемой газам на основе вымышленной гипотезы о молекулярном движении.

Еще более замечательные результаты применения рассуждений к опытным данным, как мы сказали в начале этой главы, обнаружались при сведении некоторых наук к небольшому количеству положений, совершенно не поддающихся доказательству путем непосредственного опыта, но позволяющих вывести из них путем строгих рассуждений законы, доступные опытной

проверке. Истинность законов доказывается только проверкой вытекающих из них следствий, ибо индуктивные рассуждения, с помощью которых приходят к выводу основных положений, не имеют силы силлогизма. Эти положения имеют значительно более общее значение и, следовательно, более важны, чем частные законы, выведенные непосредственно из опыта.

Путь, по которому идут от опыта к этим положениям, прямо противоположен пути, следуя по которому исходят из специальных законов и приходят к теоремам с более ограниченной областью применения. Движение в одном направлении ведет к созданию тем более ограниченного количества положений, чем более общий характер они носят. Движение в обратном направлении приводит к увеличению числа выводов, но с все более и более ограниченной областью применения.

Вначале геометрия заимствовала у опыта ограниченное количество законов: о сумме углов в треугольнике, о площади многоугольника и т. д. Клеро предлагал построить геометрию на тринадцати теоремах, которые можно непосредственно заимствовать у опыта; их можно свести, как доказали работы математиков от Евклида до Лежандра, к двум принципам или аксиомам: о прямой линии и о параллельных линиях.

Теоретическая механика сведена к шести аксиомам, из которых, как в геометрии, выведено бесчисленное число теорем.

Энергетика основывается в настоящее время на двух принципах: принцип Джоуля, Майера, Карно сохранения энергии и принцип невозможности вечного движения, впервые примененного Сади Карно при опытах над теплотой.

Выбор основных положений, на основе которых строятся теоретические науки, производится до некоторой степени произвольно. Если в геометрии, теоретической механике и электродинамике не имеется до настоящего времени разногласий, то зато в термодинамике наблюдается известная нерешительность во всем ее изложении. Иногда, вместе с Карно, за исходное положение принимают невозможность вечного движения, иногда вместе с Клаузиусом невозможность безвозмездного перехода тепла от холодного тела к нагретому.

Погрешности в рассуждениях

Подобно опытам, рассуждения также могут быть неправильны. Неправильные рассуждения сыграли большую роль в истории развития науки; небесполезно рассмотреть ряд таких ошибок, для того, чтобы предупредить возможность их повторения.

Рассмотрим сначала ошибку, совершенную Вант-Гофом по невнимательности. Он открыл крайне важный для химической механики принцип неустойчивого равновесия температур, согласно

которому каждая реакция, протекающая с поглощением тепла, развивается по мере повышения температуры. При диссоциации воды происходит поглощение тепла; следовательно, с повышением температуры, диссоциация увеличивается. Он считал, что этот закон неприемлем для явления растворения. Его ошибка состояла в том, что вместо того, чтобы исследовать теплоту растворения соли в растворах, близких к насыщению, он измерял растворение соли в большом избытке воды. Между тем эти две величины могут иметь обратные друг другу значения. Хлористая медь выделяет теплоту при растворении в большом избытке воды и вместе с тем ее растворимость увеличивается с повышением температуры. В действительности, теплота растворения в близких к насыщению растворах дает, как того требует закон, отрицательную величину.

Разберем теперь не раз допущенные ошибки в алгебраических рассуждениях.

Немецкий ученый инженер Шотт установил, что значительное число свойств стекла: его удельный вес, рефракция и т. д. аддитивны. Он решил проверить, не является ли аддитивным свойством также и коэффициент расширения стекла. Для проверки он измерял расширение дюжины стекол, в состав которых входили 12 различных элементов, построил 12 уравнений и, решив их, нашел коэффициент расширения каждого из составных элементов. На этом основании он решил, что закон аддитивности доказан.

Это полнейшее заблуждение. Можно было бы и без измерений приписать каждому стеклу произвольный коэффициент расширения и все 12 уравнений могли бы быть решены и дали бы цифровые величины для каждой из составных частей. Для действительной проверки надо было бы сравнивать больше дюжины стекол так, чтобы были решены добавочные уравнения. Это мнимый закон на самом деле не существует. Если к обычному стеклу добавить небольшое количество борного ангидрида, коэффициент расширения которого вдвое больше коэффициента расширения стекла, то от этого коэффициент расширения стекла не только не увеличится пропорционально количеству добавленного борного ангидрида, как этого требует закон аддитивности, а наоборот, значительно понизится. Добавлением все большего и большего количества борного ангидрида можно добиться доведения этого коэффициента до минимума, после чего коэффициент расширения снова начинает увеличиваться. Точно такое же действие окажет добавка алюминия в свинцовое стекло.

Грубую ошибку допустил один исследователь, желавший доказать, что π равняется $\sqrt{3} + \sqrt{4}$. Он построил три уравнения, в которых фигурировали π и две другие неизвестные. Исключив два последних неизвестных, он получил уравнение,

в котором и вводил вышеприведенное значение π ; он утверждал, что уравнение проверено. В действительности, его три уравнения сводятся к двум, ибо третье уравнение было следствием из первых двух. При двух уравнениях с тремя неизвестными задача неопределенна, и любое значение π подходит.

Приведем еще один замечательный пример ошибки в алгебраическом рассуждении. Эдмон Беккерель произвел несколько измерений двухцветности кристаллов и выразил результаты измерений некоторой эмпирической формулой. Один ученый обратил внимание на то, что эти опыты противоречат теории цвета Френеля и что, следовательно, эта теория должна быть оставлена, как опровергнутая в одном пункте. Большинство физиков тут же запротестовало против такого смелого утверждения, но сначала не могли представить достаточно веских аргументов для опровержения этого заключения. Только по прошествии некоторого времени Потье открыл причину ошибки. Произвольно выбранная для пояснения опытов форма эмпирической функции противоречила теории Френеля; бесконечное количество других формул не хуже отражало результаты опытов и, вместе с тем, не противоречило закону Френеля. Данные опыта, следовательно, не вызвали никаких споров. Существуют также и неправильные рассуждения, которые тем не менее приводят к совершенно правильным выводам.

Одним из наиболее знаменитых примеров такого рода могут служить рассуждения Сади Карно, который построил термодинамику на ложном законе сохранения теплорода. В течение долгого времени это противоречие оставалось загадкой. Муре дал ему очень простое объяснение. Несмотря на то что Сади Карно беспрестанно говорит о сохранении теплорода при работе машин, он никогда не пользуется этим утверждением. Для проведения рассуждения ему достаточно, чтобы существовало определенное соотношение между количествами тепла, которыми обмениваются два данных источника тепла, приводящих в действие двигатели внутреннего сгорания. Вывод его неизменен, независимо оттого равны ли количества тепла, постоянна ли их сумма или отношение, или они находятся в какой либо иной зависимости. Следовательно, когда он говорит о постоянстве теплорода, он пользуется только утверждением существования определенной зависимости; эта зависимость выражается постоянным отношением двух количеств тепла.

Этот случай можно сравнить с задачей, в которой требуется установить возраст капитана на основании даты его рождения и высоты мачт его корабля. Последнее данное говорится к слову, но не применяется при расчете.

Подобный вид ошибок гораздо более распространен, чем это, обычно думают. В рассуждении постоянно вводят добавочные

совершенно ненужные, условия, при чем впоследствии, проверяя следствия рассуждений, пытаются доказать также и правильность этих добавочных условий.

Френель хотел изобразить световые явления при помощи имматериального эфира, обладающего, тем не менее некоторыми свойствами истинной материи, например, упругостью. Для доказательства существования эфира впоследствии часто ссылались на верность следствий этой теории. Это совершенно неправильно. Доказательства Френеля в действительности основываются на нескольких числовых законах; нам их легче рассматривать и обсуждать после материализации в гипотетическом веществе, но они все же независимы от этого вещества.

Некогда законы распространения, отражения и преломления света как будто подтверждали теорию лучеиспускания; они доказывали только существование передачи на расстоянии того, что считали сначала небольшим материальным снарядом, а впоследствии вибрирующим движением. Но это могло бы служить доказательством существования передачи какого либо иного явления.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Производственные основы науки

Одним из предрассудков, который разделяют многие французские ученые, является мнение, что наука должна далеко отбросить от себя всякую заботу о практических задачах, так как совмещение науки и практики компрометирует первую. Недавно один знаменитый член академии писал об этом следующее: «Характерной чертой всех ученых, кем бы они ни были, является то, что они отделяют практику от теории и не ждут от своих трудов каких-либо практических результатов».

Это не только личное мнение члена академии, оно отражает убеждение и его коллег. Следующий пример точно устанавливает наличие подобного течения среди ученых.

Двадцать лет тому назад группа промышленников, об'единенная вокруг Scheurer Kestner, в виду предполагаемого создания секции прикладной химии, внесла химическому обществу пожертвование в размере ста тысяч франков. Дар был охотно принят, но после некоторых попыток к созданию такой секции проект был оставлен без последствий, в виду враждебного или, по меньшей мере, индифферентного отношения к нему членов общества.

Отрицать благотворное влияние практики на развитие наук— это значит отрицать всю историю науки, не понимать пути ее будущего развития и даже наносить серьезный ущерб

развитию промышленности, а следовательно, благополучию и могуществу страны. Затронутый вопрос нам кажется достаточно серьезным и заслуживающим подробного освещения. Мы посвятим ему целую главу.

Первоисточники

Никто не станет оспаривать, что зарождение геометрии в прошлом было вызвано необходимостью топографических съемок и тому подобных изысканий. И действительно, мы видим, что до XVII века элементы геометрии Эвклида перемешаны с методами межевания земли и чертежами по возведению крепостей. Точно так же сооружения для защиты укрепленных мест и необходимость перемещения больших грузов привели к зарождению механики. Развитие теоретической физики и ее практические применения были вызваны подобными же обстоятельствами. Гюйгенс и Френель хорошо известны своими работами по конструкции телескопов, микроскопов и маяков, и трудами по теоретической оптике.

В конце XVIII в. французская академия наук была в центре всех промышленных изысканий. Все появлявшиеся новые машины, все методы производства обсуждались в ней, и доклады о каждом новом изобретении являлись почти главным занятием академиков.

Еще не так давно Реньо использовал закон о свойствах газов для усовершенствования паровой машины. Эта взаимная связь науки и ее практических применений еще более полно сказалось при изучении электричества. Все выдающиеся электрики были в одно и то же время учеными, промышленниками и коммерсантами, при чем самый знаменитый из них, лорд Кельвин, являлся в то же время директором общества, основанного для эксплуатации его изобретений.

Чтобы лучше показать благотворное влияние на науку ее связи с промышленностью, я остановлюсь на обстоятельствах зарождения наиболее важных отраслей науки, например, химии, основанной Лавуазье, термодинамики—Сади Карно, химической механики—Сен-Клер Девиллем и, наконец, микробиологии—Пастером.

Состав воздуха

Опыты Лавуазье над горением, которые привели его к открытию состава воздуха, а также к точному определению явления горения, и, наконец, к открытию закона сохранения вещества—являлись неоспоримо исходным пунктом всей новейшей химии. Каким образом дошел он до своих открытий? Сочинения Лавуазье в шести об'емистых томах состоят на три

четверти из статей по вопросам промышленного характера. Случайно ли совпадают или непосредственно связаны его работы по вопросам промышленного характера с изысканиями в области чистой науки? Разрешение этого вопроса при том довольно хаотическом порядке, в котором перепечатывались его труды для новых изданий,—дело нелегкое. Чтобы точно разобраться, мы рассмотрим хронологический порядок работ Лавуазье и тогда само собой все станет ясным.

Итак, вот при каких условиях Лавуазье, впервые в 1766 г. делает попытки изучения процесса горения.

В 1764 году Французская академия наук объявила конкурс на наилучшую систему фонарей для освещения Парижа. Лавуазье посылает на этот конкурс свою докладную записку, в которой ограничивается лишь изучением «конструкции самого фонаря, определением наиболее выгодного рефлектора и наиболее подходящих размеров его резервуара», и добавляет: «что же касается моих опытов в отношении горючего вещества, то наибольшую часть таковых я отложил на неопределенное время. Единственную цель, которую я преследую,—это способствовать благополучию моих сограждан, а предельный срок, назначенный мне академией, не является для этого достаточным».

Начиная с этого времени, он непрерывно производит опыты над горением серы, фосфора, над накаливанием цинка, олова, ртути, над дыханием животных. Казалось бы, что он очень далек от стоящей перед ним проблемы освещения Парижа. И вдруг, его последняя докладная записка, в которой он резюмирует всю совокупность своих исследований в области горения, озаглавлена: «Горение свечи». Следовательно, вполне очевидно, что вся работа Лавуазье была предпринята для практического разрешения проблемы освещения.

Состав воды

Исследования Лавуазье над составными частями воды, очевидно, еще в большей степени были вызваны соображениями чисто практического характера: Так, в 1768 г., в своем докладе о поездке по всей Франции в целях изучения минералогии, он выражается следующим образом: «Если обществу интересно узнать природу целебных вод, удивительное действие которых так прославлено в летописях медицины, то не менее интересным является изучение и той воды, которую мы ежедневно употребляем в нашей обыденной жизни. Именно от этой воды зависит здоровье наших граждан, и если целебные воды иногда и спасали от гибели отдельные драгоценные для государства человеческие жизни, то обыкновенная вода, непрерывно восстанавли-

вая равновесие в экономике нашего физического существования, «сохраняет ежедневно гораздо большее количество человеческих жизней».

Через несколько лет и другие обстоятельства приводят его к изучению состава воды. На этот раз дело касается растений и их произрастания. Он также живо интересуется вопросами сельско-хозяйственного характера, посвящая значительную часть своего времени изучению удобрения земли. Его первые изыскания в этой области относятся к 1771 г. В то время полагали, что развитие растений происходит лишь за счет воды. Каким же образом вода может снабжать их растительным углеродистым веществом? Перегонкой воды Лавуазье старается превратить ее в твердые минеральные тела. При каждой перегонке он замечает сначала увеличение какого-то осадка в стеклянных ретортах. Но вскоре он приходит к мысли, что этот остаток происходит от порчи сосудов. Дождевая вода после перегонки в серебряных приборах никаких осадков не давала. Его исследования не приводят ни к какому положительному результату, и он отказывается от дальнейших изысканий в этом направлении.

Лишь десять лет спустя, Лавуазье вновь, в третий раз, принимается за изучение состава воды: на этот раз исследования производятся по поручению академии в связи с надуванием воздушных шаров. В 1784 г. он по этому поводу произносит речь в академии наук: «Таково было положение наших познаний в области химического разложения и соединения воды в то время, когда зимой 1783—84 г. мы, Ненье и я, мало-по-малу подошли к разрешению этого вопроса с другой точки зрения. Поручение, которое было возложено на нас академией, согласно королевскому приказу, в целях усовершенствования воздухоплавательных машин, волей-неволей привело нас к изысканию наиболее экономических способов добывания в большом количестве горючего воздуха (*l'air inflammable*). И естественно, что мы старались получить его из воды, так как мы имели уже веские основания полагать, что в воде горючий воздух находится в большом избытке».

Это изыскание, предпринятое исключительно с целью надувания воздушных шаров, привело к точному установлению природы воды.

Теплота

После того как Лавуазье изучил процесс горения с чисто химической точки зрения, он не разрешил еще в окончательном виде стоявшей перед ним задачи об уличных фонарях, которую он изложил в конце своего труда над гоением свечи.

Обстоятельства, которые толкали его к окончанию этого труда, изложены в записке под названием «Сравнительный эффект разных горючих веществ».

«В 1779 г., в виду желания управления финансов ознакомиться с доходностью пошлин, наложенных на горючие вещества, мне пришлось для выяснения некоторых вопросов проделать несколько опытов для сравнения качества некоторых сортов дерева. Так как эти опыты могут принести некоторую пользу промышленности, науке и ремеслам, я полагаю доложить об этом академии».

В связи с этим Лавуазье изобретает ледяной калориметр, который после усовершенствований, внесенных Бунзеном, становится самым ценным прибором, служащим и по сей день для определения количества тепла.

К тому же времени Лавуазье и Лаплас продолжают не менее замечательные изыскания в области расширения твердых тел. В начале мемуаров, где они публикуют результаты своих измерений, они также излагают и те цели чисто практического характера, которые они преследовали:

«Свойство тел занимать различный объем в зависимости от температуры вызывает препятствия, встречающиеся на каждом шагу как в физике, так и в практической жизни. Приборы, которые нам служат для определения времени и от точности которых также зависит совершенствование астрономии, также подвержены изменениям, зависящим от расширения тел. Эти соображения, а также и многие другие, перечень которых был бы слишком велик для детального перечисления, начиная с 1781 г., дали нам, Лапласу и мне, почувствовать, насколько было бы важно произвести ряд опытов над расширением веществ, наиболее часто употребляемых как в физике, так и в практической жизни, как например, стекла и металлов».

Мы могли бы продолжить эти исторические справки о зарождении теоретических исследований Лавуазье. Всегда эти исследования имели целью разрешение какого-либо явления, практическая польза которого была несомненна.

Его современники и последователи, как Бертолле, Тенар и Гей-Люссак, которые вместе с ним способствовали созданию новейшей химии, также имели практический склад ума. Всецело занятые прежде всего практическим применением науки, они внесли ряд значительных усовершенствований в промышленность, открывая общие законы огромного научного значения. Бертолле создал целую промышленность обесцвечивающих хлористых соединений, а также производство взрывчатых хлористых веществ. Гей-Люссак усовершенствовал производство серной кислоты и один из аппаратов его и по сей день называется его именем. Наконец, Тенар был изобретателем кобальтовой сини.

Термодинамика

Термодинамика является в настоящее время одной из наиболее абстрактных и в то же время одной из наиболее совершенных отраслей чистой науки. Со своим чисто математическим уклоном принципы термодинамики, выраженные в форме дифференциальных уравнений, связывают величины, которые сами по себе являются функциями чисто аналитическими, как например, энтропия, энергия, термодинамический потенциал и т. д. Казалось бы, они далеки от каких бы то ни было практических применений. Но достаточно перечитать труды творца термодинамики Сади Карно, чтобы убедиться в тех мотивах, которые им руководили. Его знаменитый труд, озаглавленный «Размышления над двигательной силой огня и над машинами, способными воспроизводить эту силу», начинается следующим образом:

«Всякий знает, что теплота может быть причиной движения, что она обладает большой двигательной силой, и паровые машины, столь распространенные в настоящее время, вполне ясно это доказывают. Теплоте обязаны своим возникновением атмосферные колебания, восхождение облаков и туч, падение дождя и метеоров, течение вод, бороздящих земную поверхность. Наконец, землетрясения, извержения вулканов также являются следствием тепловых явлений.

«Из этого безграничного резервуара мы имеем возможность черпать двигательную силу, столь необходимую для нас. Природа, предлагая нам со всех сторон горючий материал, дала нам возможность создавать во всякое время и во всяком месте теплоту и двигательную силу, которая является ее последствием. Развить эту силу, приспособить ее для наших нужд—такова цель тепловых машин.

«Изучение этих машин является делом наиболее интересным, их значение огромно; их применение возрастает с каждым днем; они кажутся предназначенными для свершения великой революции в цивилизованном мире.

«Тепловой машиной уже эксплуатируются наши шахты, приводятся в движение наши суда, куется железо, транспортируются большие тяжести и т. д. И кажется, что наступит день, когда она станет универсальным двигателем и получит предпочтение перед силой животных, водопадов и ветров».

Еще на нескольких страницах Сади Карно продолжает развивать свои практические соображения; он описывает те услуги которые оказали тепловые машины Англии и пытается предусмотреть ту огромную пользу, которую они окажут всему человечеству. Изложив всю свою теорию создания двигательной силы за счет тепла и отметив мимоходом все интересующие физику последствия своей теории, Сади Карно вновь возвращается

к практическим применениям, которые его занимают более всего. Последние десять страниц его труда посвящены изучению и сравнению различных типов паровых машин. Заканчивает книгу он небольшим рассуждением о практической стороне дела, над которой в настоящее время многие из практиков могли бы не без пользы призадуматься.

Все интересующие его исследования породили наиболее совершенную из наук, когда либо созданных людьми,—это науку об энергетике, которая благодаря своей общности и абстрактности может быть рассматриваема, как отрасль чистейшей науки. Правда, развитие энергетике шло не по тому пути, который привел к ее открытию, она становится областью почти исключительно математиков, но развить—это еще не значит создать:

Диссоциация

Химическая механика является в настоящее время отраслью энергетике. Но для того, чтобы перейти от теории тепловых машин к теории химического равновесия, оставалось еще пройти весьма большой путь; еще следовало открыть обратимость химических процессов. Честь этого открытия принадлежит Сен-Клер-Девиллю. То, что он ошибочно называл диссоциацией, было не чем иным как уравновешенной реакцией, т. е. имеющей характер обратимого явления.

Приблизительно к 1860 г. Сен-Клер-Девилль и Дебрей были уже в течение нескольких лет заняты изучением металлургических свойств платины. В 1861 г. на конференции химического общества Дебрей делает доклад о мотивах, побудивших его взяться за это изучение:

«... Платина сосудов, переставших по какой либо причине быть в употреблении, оценивается не выше, чем платиновая руда, вследствие обесценивания, которому подвергается металл. Таким образом, один из сосудов, стоящий 80.000 франков и вмещающий в себе 4.000 килограммов серной кислоты, после приведения в негодность был продан за 50.000—60.000 франков, что, впрочем, случается довольно часто. Поэтому, понятны станут причины, заставившие нас, Сер-Клер-Девилля и меня, взяться за изыскание методов плавки платины, точно так же как и обработки платиновой руды сухим способом».

Таковы мотивы, на связь которых с промышленностью указывает большое количество взятых патентов. Но какое отношение все это имеет к диссоциации? Продолжим изложение вступительной части книги Дебрея:

«... Изыскивать методы обработки платины сухим путем это означает в результате найти способ достижения высоких температур для того, чтобы их применить для специальной цели».

Он описывает затем окислитель и старается определить температуру его пламени. Вычислением, основанным на удельной теплоте, он определяет температуру в 6.500° . С другой стороны, точно определенная им точка плавления платины дает температуру в 2.000° . Он отмечает эту цифру, не проявляя никакого удивления, несмотря на огромное расхождение.

Но это противоречие поразило Сен-Клер-Девилля; оно послужило объектом его долгих размышлений. Присутствуя ежедневно при опытах над платиной, он каждый раз наталкивается на то же препятствие и постепенно приходит к мысли об обратимости разложения или диссоциации.

В своих лекциях о диссоциации, прочитанных перед химическим обществом, он уточняет конечный вывод. Противопоставляя теоретическому вычислению Дебрея результаты их совместных измерений точки плавления платины, он утверждает, что температура пламени окислителя не может превысить 2.500° . Чтобы объяснить разногласие между вычислением и опытом, он впервые признает обратимость процесса разложения водяных паров, необходимость чего он старается доказать. Сделаем выдержку из его заключения:

«В итоге все эти рассуждения базируются на том, что превращение водяных паров в смесь водорода и кислорода есть полная перемена состояния, соответствующая определенной температуре, и что эта температура является постоянной при переходе из одного состояния в другое, в каком бы направлении эти перемены не происходили».

На этом простом утверждении была основана новая отрасль химии. Металлургия платины и дала Сен-Клер-Девиллю основание проявить свой гений, точно так же как Лавуазье—его занятия в области промышленности.

Микробиология

К числу самых больших научных открытий XIX века безусловно следует отнести создание микробиологии, творцом которой являлся Пастер. В данном случае наличие практических целей очевидно; в каждой строчке своих трудов Пастер об этом заявляет громогласно.

По окончании *Ecole Normale* Пастер начал свои научные изыскания чисто теоретического характера с изучения кристаллографических свойств виннокаменной кислоты. Но он недолго работал в этом направлении. Он был назначен профессором физико-математического факультета в Лилле, и вскоре становится его деканом.

По прибытии в Лилль в 1854 г. Пастер по просьбе властей соглашается взять на себя контроль над удобрением почвы

Северного департамента и организует промышленные экскурсии для своих учеников.

Два года спустя, отец одного из его учеников, Биго спрашивает его совета в связи с неудачей производства спирта из свекловицы. Пастер нашел, что в чанах имеет место вредное брожение, образование молочной кислоты и маленьких палочек, видимых лишь под микроскопом, совершенно различных от тех воздушных пузырьков, которые образуют пивные дрожжи в хороших чанах. Микроскопическое исследование сока, находящегося в брожении, дает возможность впоследствии урегулировать производство.

Вызванный в 1857 г. в Париж для того, чтобы занять пост вице-директора *École Normale*, Пастер продолжает свои исследования над брожением и вскоре дает общую теорию этого явления. Образование сахара есть результат действия маленьких живых существ (бактерий), микроскопических растений, ферментов, при чем каждый из этих факторов возбуждает различные химические реакции: так, например, одни вырабатывают только лишь спирт, другие—молочную кислоту. Он создает, таким образом, новую науку,—науку о бесконечно малых живых существах.

В 1860 г. происходит словно перемена фронта в научно-исследовательской работе Пастера. Уступая желанию своего знаменитого учителя Дюма, он переселяется в департамент Гард, чтобы изучить болезнь шелковичного червя, разрушавшую одну из процветавших отраслей промышленности юга Франции. Это тоже касалось промышленности, но с первого взгляда, казалось, это не имело отношения к процессам брожения. Однако Пастер тотчас же приходит к убеждению, что упомянутая болезнь должна быть также приписана маленьким организмам, зародыши которых посредством яичек шелковичного червя переносятся из одного поколения в другое. Эти зародыши слишком малы, чтобы их можно было различить под микроскопом, но тельца очень хорошо заметны на больных бабочках. Разрушение же яичек, полученных от больных бабочек, является вернейшим предупредительным средством против дальнейшего распространения болезни. Это наблюдение произвело настоящую революцию в шелковой промышленности и спасло от разорения несколько департаментов.

Это открытие явилось исходным пунктом еще более грандиозной эволюции в области медицины и ветеринарии. И действительно, Пастер вскоре установил, что все инфекционные болезни являются результатом развития микроорганизмов, микробов, в тканях живых существ. Распространение этих болезней происходит исключительно от зародышей этих микробов. Уничтожая зародыши, мы предупреждаем дальнейшее распространение болезни.

Наблюдение над природой

Повседневные нужды нашей текущей жизни заставляют нас, хотим ли мы этого или нет, присутствовать при различных явлениях природы и дают нам повод к изучению их. Наоборот, оставаясь уединенным в своей лаборатории, как художник в своем ателье, ученый как бы застывает около небольшого количества модных тем. Для того, чтобы творить и двигать промышленность, необходим контакт с природой. Промышленность дает нам подобный контакт при всяком своем развитии. Изучение уличных фонарей дало повод Лавуазье заинтересоваться процессом горения; изучение паровых машин побудило Сади Карно исследовать процесс превращения теплоты в энергию, а болезнь шелковичного червя послужило Пастеру поводом к открытию бесконечно малых телец, являющихся виновниками болезней живых существ.

Более того, подобные изыскания возбуждают нашу энергию и в сильной степени увеличивают нашу активность. Сен-Клер-Девилль, подходя ежедневно к своей печи для плавления платины, был вынужден постоянно возвращаться к проблеме отопления (топлива) и раздумывать о кажущемся противоречии между температурой, приписываемой пламени, и температурой, в действительности достигаемой металлом. Пастер, посланный далеко от Парижа на многие месяцы для работы над исследованием болезни шелковичного червя, потратил столько энергии, сколько без сомнения он никогда не затратил бы для разрешения им самим выбранной проблемы в своей лаборатории.

Еще одним доказательством пользы практических изысканий является то обстоятельство, что они всегда влекут за собой известный контроль над точностью теоретического обоснования, с которым они связаны. При исследованиях же чисто научного характера, в особенности, если объектом изучения являются сложные проблемы, для которых опыт не будет чем-то решающим, допустимы какие угодно ошибки.

Заключение, которое можно вывести из всего вышеизложенного, таково. Если связь научной работы с чисто практическими задачами была полезна таким ученым, как Лавуазье, Сади Карно, Сен-Клер-Девиллю и Пастеру,—то насколько более полезен должен быть подобный метод работы людям меньшего размаха, а в особенности начинающим! И общей ошибкой последних является то, что с самого же начала всю свою энергию они направляют на разрешение самых сложных проблем, подвергая себя таким образом риску не достичь никаких результатов.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Значение науки для промышленности*Зарождение современной промышленности*

Блестящее развитие современной промышленности характеризует нашу эпоху. Это следует объяснить наличием особых обстоятельств, отсутствовавших в минувшие века. Естественные богатства земли, способности людей безусловно не изменились с исторических времен. Появился лишь один новый фактор—это быстрое развитие экспериментальных наук, в частности, химии в начале XIX века и электричества во второй половине его.

Всякий прогресс в науке связан с соответствующим прогрессом в промышленности. Так, металлургия совершенно неожиданно и быстро развилась, как только химический анализ дал нам возможность определить составные части руды и продуктов, из нее вырабатываемых. Усовершенствование паровых машин достигается лишь после изучения экспериментальным путем силы расширения водяных паров, законов трения и механических свойств металлов. Успешное развитие электрической промышленности также целиком обязано изучению электрических явлений лабораторным путем.

Но, заметят нам, не преувеличиваем ли мы, когда заявляем, что вся современная промышленность является следствием науки? Разве мы не видим, как процветает множество маленьких заводов, руководимых мастерами или опытными рабочими, и самых больших заводов, управляющими которых являются юристы или офицеры, лишенные каких-либо научных познаний? Какой-нибудь мелкий фабрикант велосипедов ничего не знает о тех интересных изысканиях, которые были сделаны в области производства и закалки хромовой стали, служащей для изготовления шарикоподшипников. Точно так же какой-нибудь мелкий предприниматель и не подозревает значения странной формы двутаврового железа; он никогда не слышал о моментах инерции. Однако и тот и другой используют косвенным путем данные, добытые наукой. Первый покупает шарикоподшипники на заводах, где знакомы с теорией их производства; другой—при помощи справочника добывает необходимые сведения о размерах двутаврового железа.

Влияние прогресса науки на процветание промышленности в настоящее время стало настолько очевидным, что приводить пространные доказательства не имеет смысла. Однако лишь небольшое число лиц отдает себе отчет в том, насколько эта истина глубоко правильна. Живя среди всякого рода практических применений науки, мы совершенно не уделяем этому ника-

кого внимания, как парижанин, прогуливающийся по берегам Сены и родившийся у ее берегов, не замечает более тех видов, которыми так восхищаются иностранные путешественники.

Влияние науки проявляется в трех разных направлениях:

по пути ранее добытых результатов науки, которые ежедневно утилизируются на заводах;

по пути научных изысканий для разрешения множества проблем, выдвигаемых промышленностью;

по пути научных методов работы, улучшающих производство и снижающих себестоимость.

Применение научных данных

Конечной целью науки является открытие законов: знание же этих законов позволяет науке в свою очередь влиять на промышленность. Общий характер законов позволяет давать им бесчисленные применения. Во всех промышленных операциях в отношении газов, как например, накопление их при помощи сжатия, распределение по трубам, превращение в жидкое состояние и т. д., применяют постоянно два закона Мариотта и Гей-Люссака. Промышленность оптических приборов, как производство микроскопов, телескопов, биноклей, фотографических аппаратов, подчинена закону синусов Декарта. Электрическая промышленность целиком основана на законах Ома, Ампера и законах индукции.

Но, быть может, заметят нам, что динамо-машина ведь была открыта рабочим Граммом, который почти совершенно не знал электричества. При полном отсутствии науки, промышленность разве не могла бы достичь той степени совершенства, которое мы наблюдаем в настоящее время? Конечно, нет. Чтобы это понять,—достаточно уяснить сущность открытия Грамма. Ученый Ампер открыл законы электродинамики. Другие ученые,—его коллеги из академии наук Лаплас, Араго,—развили эти законы и вывели принципы электромагнита. Затем, другие ученые, расположив по окружности определенное количество электромагнитов, сконструировали машины, которые начинают вращаться, когда туда пускают ток. Для увеличения полезного действия машин расположение электромагнитов меняли бесконечно. У Грамма, который работал над их конструкцией, возникла мысль, расположить эти электромагниты таким образом, чтобы образовалось непрерывное магнитное кольцо. Увеличение полезного действия было громадное, но Грамм ничего нового не дал в отношении электричества. Ему удалось лишь реализовать такое геометрическое расположение, которое выгодно отличалось от тех, которые были испробованы до него. Если бы учеными не были открыты законы электричества и у них не возникла бы

мысль применить их к постройке двигательных машин, никто не изобрел бы динамо-машины.

Приведем еще несколько примеров:

Кавендиш первый заметил образование окислов азота под влиянием электрической искры. В течение целого века это открытие оставалось без применения; высокая себестоимость электричества не позволяла утилизировать последнее. После же открытия Ампером законов электричества последовало усовершенствование электрических машин, основанных на этих законах; можно было уже думать о применении в промышленности этих открытий. Но первые попытки, сделанные в этом направлении, потерпели крушение. Были испробованы сочетания различных форм и разной величины динамо с затратою большой суммы денег для получения машин с коэффициентом полезного действия от 2 до 3%, признанным *à priori* совершенно недостаточным. Эти первые попытки были оставлены.

Благодаря определению механических свойств металлов, мы можем в настоящее время без всякого промаха воздвигнуть такие сооружения, о которых в прошлых веках не могли и мечтать. Именно таким образом и без всяких трудностей была воздвигнута Эйфелева башня высотой в триста метров, в то время как прежде самые высокие железные постройки не превышали пятидесяти метров. Довольствуясь чисто эмперическими методами, применявшимися когда-то при постройках соборов, приходилось целые столетия действовать ощупью. Прекрасным примером этому может служить постройка большого железного моста в Квебеке, плоскости которого были воздвигнуты интуитивно. Мост этот во время постройки рухнул. Примененное же впоследствии научное вычисление его деталей показало, что падение его было неминуемо.

Установление точных методов химического анализа дало начало развитию химической промышленности. В металлургической промышленности для добывания железа начинает применяться способ определения составных частей руды, знание которых является необходимым условием для определения пропорции примесей, облегчающих процесс плавления. Путем постоянных анализов следят затем за превращением литья в сталь в мартеновских печах. В хорошо организованных заводах рядом с доменной печью всегда имеется небольшая лаборатория, приспособленная к производству анализов, продолжающихся не дольше, чем десять минут. Точно так же в стекольной промышленности анализами постоянно контролируют состав веществ, предназначенных для плавки. Никаких случайностей более нет в этом производстве. Совершенно иначе было когда-то, например, на стекольном заводе, построенном Шапталем в департаменте Гард. В целях производ-

ства бутылок, Шаптал решил утилизировать гранит. После нескольких лет успеха, дальнейшее производство стекла стало невозможным и завод пришлось закрыть. Повидимому, эксплуатации подвергся случайно гранит иного качества,—ошибка, которая при помощи простого анализа в настоящее время может быть исправлена.

В лабораториях ученые, наконец, замечают совершенно новые факторы, иногда крайне интересные. Смотри по обстоятельствам, может пройти больше или меньше времени между первым наблюдением и первым практическим применением, но связь остаётся прежней. Накаливание, открытое Ауэром, было тотчас же использовано самим автором для освещения. Точно так же открытие Сен-Клер-Девиллем неокисляемости алюминия дало начало алюминиевому производству в металлургической промышленности. Наблюдение Эрштедта над действием электрического тока на магнитную стрелку было исходным пунктом для работ Ампера, создавших электрическую промышленность.

Вот, наоборот, несколько примеров, где протекло много времени между первым наблюдением какого-либо явления и его утилизацией. Открытие Кавендишем соединения кислорода с азотом воздуха под влиянием электрической искры предшествовало на целое столетие производству азотной кислоты. Еще больше времени прошло между опытами Реомюра над получением стали и созданием целой промышленности мартеновской стали, снабжающей нас в настоящее время половиной всего количества стали, производящейся во всем мире.

Научные изыскания.

Если результаты, полученные учеными в научных лабораториях, оказывают большие услуги промышленности, то непосредственное вмешательство науки в производство может быть еще более продуктивным. На заводах применение научных методов для изучения практических проблем иногда приводило к настоящей революции в промышленности. Мы напомним здесь о некоторых более известных из них.

Из наиболее старинных научных изысканий, проделанных на заводах, нужно прежде всего упомянуть об изысканиях Вудворда. Он первый понял значение методов измерения в промышленности и создал для измерения высоких температур свой пирометр, основанный на усадке глины. В течение целого века этот прибор был единственным, которым можно было пользоваться для температур свыше 500° ; он даже применялся в чисто научных лабораториях. Благодаря своим точным измерениям Вудворду удалось создать две новые отрасли керамической промышленности: гончарное производство и производство тонкого фаянса.

Вторым интересным примером может служить изобретение Бессемера. Не будучи ученым, он был убежденным детерминистом, и это объясняет блестящий успех его способа производства стали, который перевернул всю металлургическую промышленность. Вслед за его первыми опытами десятков английских заводов применили его способ, но потерпели полнейшую неудачу. Полученный металл был хрупким, лишенным крепости и походил более на чугун, чем на железо. Бессемер был обвинен в том, что заведомо обманул промышленников, представив им образцы металла другого происхождения, чем то, которое он указал. Однако зная, что один раз опыт удался, он ничуть не сомневался в том, что, проделав его еще раз в прежних условиях он достигнет того же результата. Он пошел к торговцу железом, у которого купил чугун в первый раз, и ему удалось достать чугун того же качества. На этот раз опыт снова удастся—он получает ковкое железо. Бессемер стал сравнивать условия, при которых происходил его опыт и опыты, проделанные на заводах. Не будучи сам научно подготовленным, он обратился к химику с просьбой сделать анализ литья. Химик тотчас же установил в английском чугуне присутствие большого количества фосфора, совершенно отсутствовавшего в чугуне Бессемера шведского происхождения. Тогда те же заводы снова начали применять его способ, но к чугуну, лишенному фосфора, и на этот раз успех получился полный.

Работа Бессемера дает интересный пример того, как научное изыскание может происходить под руководством человека, совершенно научно необразованного.

Великий французский ученый Реньо в течение многих лет своей жизни состоял консультантом Парижского газового общества, которое с самого начала стояло во главе газового производства. На одном маленьком опытном заводе Реньо предпринял изучение производства газа. Систематически изучая факторы, влияющие на получение из каменного угля газа, как, напр., качество каменного угля и температуры дистилляции, он приходит к выводу, что из одной тонны угля можно получить триста кубических метров газа. Заводы же, существовавшие в ту эпоху, не получали более двухсот кубических метров. Основываясь на этом опыте, парижское общество предложило при получении концессии на освещение Парижа снизить на 50% стоимость газа. И действительно плата за газ с 60 сантимов была снижена до 30 сантимов.

Из научных изысканий, получивших применение на заводах, наиболее замечательными являются исследования известного американского инженера Фридриха Тэйлора. Мы остановимся лишь на одном из них, а именно на том, которое привело к открытию так называемой быстрорежущей стали.

Это та инструментальная сталь, употребление которой видоизменило всю механическую промышленность. Впервые эта сталь была применена в 1900 г. Стружки, получаемые при быстрой резке этими инструментами, синели благодаря температуре, достигавшей свыше 300° , а острие инструмента накалялось докрасна, достигая, следовательно, температуры приблизительно в 600° . Инструменты же, употреблявшиеся до того времени, при достижении температуры в 300° , выбывали из строя, как негодные.

Рассказывают, что это открытие было делом счастливого случая. Один невнимательный рабочий закаливал свой инструмент при температуре, гораздо более высокой, чем это полагалось и, вместо того, чтобы испортить, значительно улучшил его качество. Когда впоследствии Тэйлор решил опубликовать свои труды, то оказалось, что это открытие было результатом исследований, продолжавшихся в течение нескольких лет группой инженеров и рабочих, под руководством Тэйлора. Он систематически и тщательно изучал все факторы, влияющие на качество инструментов, и точными способами определял влияние каждого из них. Главными факторами являлись: содержание углерода, хрома, вольфрама и т. д., затем—температура закалки, быстрота охлаждения и, наконец, метод закалки. Он производил при этом изыскание чисто научного характера, пользовался методами самыми точными; он проделал неисчислимо количество опытов и в результате изобрел инструментальную сталь, качество которой с тех пор еще не превзойдено.

Быть может, бесполезно будет здесь отметить ту существенную разницу, которая отличает научные изыскания, направленные к развитию науки, от тех, которые имеют промышленный уклон. Метод в обоих случаях тот же самый, но условия применения его совершенно другие.

В чисто научных исследованиях принимаются во внимание изменения одного характера. Декарт, например, при изучении законов преломления лучей исследовал лишь направление падающего светового луча. Он не принимал во внимание ни изменения в окраске света, ни свойства употребляемых прозрачных тел, ни их температуру. В промышленности же, конструктор оптического инструмента не может обойти ни один из этих факторов. Он должен быть знаком с законами о свойствах стекла и длине волны, так как это необходимо ему для определения ахроматизма; он должен изучить влияние давления, чтобы предупредить искажение изображений, получаемое от плохой вставки чечевиц в оправы.

Если бы ученые закончили изучение всех элементарных законов природы, то промышленникам осталось бы только сгруппировать эти частные законы, чтобы получить нужные им

сложные законы. Но это изучение едва начато и скорее наступит конец мира, чем оно будет закончено.

Практик должен сам приступить к изучению законов, ему необходимых, а для того, чтобы он это мог сделать, ему следует прибегать к более ускоренным способам, часто пренебрегаемым в научных лабораториях. Возьмем, как это часто случается в промышленности, одну функцию с десятью переменными. Чтобы точно установить законы со свойственной чисто научным изысканиям тщательностью, нужно было бы в данном случае производить по 10 измерений для каждой переменной. Количество необходимых опытов будет тогда равно 10^{10} или 10 миллиардам. Предположим теперь невозможное, а именно, что на каждый такой опыт затрачивается всего одна минута; тогда потребуется 20.000 лет, чтобы закончить эти исследования.

Промышленник оставляет в стороне те переменные, которые, по его мнению, не влияют на конечный результат. Предположим, таким образом, что пять переменных оставлены без внимания. Зная же, с другой стороны, что возможные изменения переменных для него интересны лишь в определенном, довольно ограниченном интервале, зная также, что кривая на определенном промежутке может сливаться со своей касательной, и зная, наконец, что прямая определяется двумя точками, промышленник удовольствуется тем, что каждой из пяти переменных он придаст лишь два значения вместо десяти. Число необходимых опытов будет тогда равно 2^5 , или 32, что уже вполне осуществимо.

По этой причине чисто-научные изыскания не могут заменять изыскания промышленного характера. Эти два вида изысканий должны существовать параллельно.

Научный метод работы

Каким образом производство может быть научным? Мы уяснили себе значение науки, значение изучения естественных законов, т. е. тех необходимых взаимоотношений, которые связывают одни явления с другими.

С другой стороны, существенной задачей промышленности являются высокие качества продукции при минимальной себестоимости. Но качество продукции и себестоимость являются определенными функциями условий производства. Итак, эти две величины, связанные между собой определенными законами, попадают таким образом, под контроль науки, по крайней мере в тех случаях, когда эти законы не представляют собою неопределимой сложности. Чтобы вести научно производство, следует определить те факторы, от которых зависит результат,—определить все величины таким образом, чтобы можно было вывести

соответствующие законы, затем уже направлять производство, регулируя его непрерывным изучением всех условий и заменяя последние более выгодными.

Из этого правила следует, что всякое производство, научно обоснованное, должно быть стандартизовано. Чтобы получить продукцию одного и того же качества следует, чтобы условия производства были строго определенными и всегда одни и те же. Часто на заводах говорят, что для такого-то производства различные условия дают равноценные результаты. Чаще всего— это неправильно, а если это верно, то следует полагать, что наиболее выгодные условия не достигнуты. Положим, что качество является функцией двух переменных, тогда в прямоугольной системе координат она будет представлена в виде поверхности. Точка касания касательной плоскости, перпендикулярной ординате, представляющей, искомое качество, определит два условия наивыгоднейшей продукции. Так как не может быть больше одной точки касания, то следовательно, не может быть и более одной определенной совокупности условий, дающих наилучшие результаты. Наоборот, если мы представим себе условия, дающие результат ниже максимального,—плоскость, перпендикулярная к соответствующей ординате и соответствующая данному результату, пересечет поверхности по кривой, приближаясь более или менее к индикатрисе, то есть к эллипсу. Таким образом, мы получим бесконечное число эквивалентных решений.

Вопрос научной организации труда чрезвычайно важен. Я ограничусь здесь лишь указанием на то, что в прошлом самая простая стандартизация процессов производства, даже без предварительного изучения наивыгоднейших условий, оказала промышленности очень большие услуги. Во время войны такой простой стандартизацией завод Деляжа довел брак снарядов до $0,1^0/0$, тогда как на других заводах этот брак равнялся еще $10^0/0$.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Введение научных методов на заводах

Влияние научных методов на развитие промышленности настолько очевидно и общепризнано в настоящее время, что казалось бы, каждый завод должен иметь лабораторию, специально предназначенную для научных изысканий. К несчастью, ничего подобного нет. Небольшие заводы целиком и систематически игнорируют применение научных методов, большие же заводы пользуются ими весьма умеренно и часто без всякого убеждения в их пользе.

Такое положение существует по двум причинам. Во-первых, недостаточная научная подготовка технического персонала на заводах. Большое количество французских инженеров не верит в практическую пользу науки и смотрит на нее, как на умственный отдых в свободное от занятий время. С другой стороны, всякое научное изыскание связано с расходами и трудно его организовать таким образом, чтобы оно оплачивалось, иначе говоря, чтобы его себестоимость была ниже той прибыли, которую оно позволяет реализовать.

Мы рассмотрим способ устранения этих двух препятствий, разобравшись сначала в тех трех видах проникновения науки в промышленность, о которых мы упомянули в предыдущей главе, т. е. применении научных данных, научных методах труда и научных изысканиях.

Использование научных данных

Инженеры, выпускаемые нашими высшими техническими учебными заведениями, вполне научно подготовлены и вначале легко применяют свои познания в промышленности. Электрики и химики, оканчивающие наши институты, имеют хорошую теоретическую подготовку. Они безусловно превосходят своих зарубежных коллег. К несчастью, это превосходство быстро исчезает, так как они не верят в науку и недостаточно убеждены в ее значении. Будучи молодыми, они не стараются быть в курсе новостей науки, они не подписываются на периодические издания, в которых обсуждаются вопросы, касающиеся их специальности. По мере того, как они стареют, их все более и более начинают интересовать вопросы чисто коммерческого и административного характера; в конце концов они становятся настоящими дельцами.

С другой стороны, небольшие заводы, столь распространенные во Франции, чаще всего находятся под руководством мастеров или старых опытных рабочих, лишенных какого-либо научного образования. Сами того не зная, они часто пользуются научными методами, как я это указал выше, заимствуя результаты или из какого-нибудь справочника или у соседних заводов, лучше руководимых, стараясь копировать их методы. В силу необходимости, все это они делают далеко несовершенным способом. Здесь кроется большая опасность для французской промышленности.

В Германии директором какого-нибудь маленького черепичного или цементного завода должно быть обязательно лицо дипломированное, окончившее высшее техническое учебное заведение или университет. Мы же не можем даже и думать о дости-

жении подобного положения. У наших соседей, благодаря распространению образования, окончившие высшие технические школы оплачиваются приблизительно так, как у нас мастера. До войны их оклады равнялись половине и трети окладов наших инженеров. Свою служебную карьеру они начинают с оклада в 100 марок, т.-е. со 120 франков в месяц, достигая к концу своей карьеры, к моменту ухода в отставку, оклада в 500 марок, т.-е. 600 франков в месяц.

Сказанное заставляет нас предполагать, что они ведут очень скромную жизнь: хозяйство без прислуги, мать сама ухаживает за детьми, возится на кухне и т. д. Эта низкая оплата научной работы являлась, может быть, одним из факторов успешного развития немецкой промышленности, но подобный режим покажется мало привлекательным нашим молодым инженерам.

Распространение образования в Дании, в особенности в отношении сельского хозяйства, организовано еще более рациональным способом, который было бы желательно установить и у нас. Рабочие получают там настолько хорошо приноровленное образование, элементарное, конечно, что оно дает им возможность полностью использовать на практике приобретенные научные познания. Однажды, прогуливаясь по окрестностям Копенгагена, мы посетили одну попавшуюся нам по пути ферму, расположенную в стороне от дороги, чтобы ознакомиться с хозяйством обыкновенного датского крестьянина. Мы увидели небольшую ферму; приблизительно в тридцать гектаров, обрабатываемую семьей крестьянина, без всякой наемной рабочей силы. В передней мы нашли телефон, в амбаре—динамо для молотилки и одну небольшую ветряную мельницу, предназначенную для поднятия воды. Обойдя кругом все это поместье, я выразил владельцу его свое удивление по поводу того, что навоз для удобрения находится у него под открытым небом; без всякого прикрытия. Он мне ответил: «Если бы вы пришли сюда 10 лет тому назад, то вы увидели бы навоз под крышей, но за последнее время комитет по изучению удобрительных веществ экспериментальным путем установил выгоду именно такого способа хранения. Согласно опубликованным отчетам, сушка навоза, находящегося под прикрытием, влечет за собой значительную потерю аммиака. Нужно, чтобы он всегда был влажным; самое лучшее—это оставить его под дождем, при условии сохранения воды, его промывающей. Вы, вероятно, заметили, что у меня навоз находится в цементированной канаве, откуда вода течет в сточный колодец». Вот пример того, как работают рабочие, знакомые с научными методами и верящие в их результаты, чего, к сожалению, не всегда встретишь даже у наших молодых ученых.

Измерительные работы на заводах

Одной из существенных областей применения принципов научной организации труда является постановка систематических измерительных работ на заводах. Эти измерения бывают троякого рода:

определение качества продукции, приобретаемой заводом, т.-е. испытания при приемке;

регулирование технических условий производства; температура варки, состав дыма доменных печей и т. п.;

контроль готовых изделий, что в особенности необходимо, когда поставка должна производиться в соответствии с техническими условиями заказчика.

Эти измерения применяются довольно часто на французских заводах, при чем на самых больших из них имеются даже специальные опытные лаборатории, предназначенные для такого рода измерений. Однако маленькие заводы к этому не прибегают, а большие часто довольствуются лишь испытаниями при приемке и контролем, не регулируя наиболее важные условия производства путем постоянных измерений. Между тем, научная организация производства дает значительную экономию, сокращая количество отбросов.

Осуществление текущих испытаний несложно, дешево и достигается применением известных стандартных приемов. Выполнение их может быть поручено недорого оплачиваемым рабочим, от которых требуются только некоторая тщательность и большая честность. На маленьких заводах такие испытания могут быть даже поручены подросткам. В случае более сложных измерений, какими являются, например, электрические испытания и химические анализы,—можно всегда обратиться в соответствующие научные учреждения.

Принимая во внимание очевидную выгоду этих измерений, с одной стороны, а с другой—их малую стоимость, приходится удивляться тому, что пользование ими мало распространено на наших заводах. Причина этого кроется в том, что та несложная, недорого стоящая организация, о которой я уже упомянул выше, жизнеспособна лишь при определенных условиях. Необходимо, чтобы такая организация была под наблюдением и руководством инженера или заведывающего производством, всегда находящегося в курсе работ, производимых в лаборатории, и сознающего пользу последних. Необходимо также умело наладить эти испытания и время от времени проверять деятельность лаборатории. Нужны точные инструкции в отношении употребляемых приемов, а затем надо удостовериться в выполнении тех задач, которые возложены на лабораторию. Все это может отнять у заведывающего производством одну сотую его времени

но без такого вмешательства ничего нельзя сделать, по крайней мере, если не иметь персонала с высоко научной квалификацией, которому можно было бы предоставить полную инициативу. Содержание же такого персонала обошлось бы очень дорого.

Недостаточное распространение контрольных измерений на заводах объясняется исключительно недостаточной научной подготовкой директоров, инженеров или заведующих производством ответственных за такие испытания.

Развитие промышленных измерений, столь необходимых для урегулирования и улучшения производства, целиком связано с улучшением научной подготовки заведующих производством, и инженеров.

Научные изыскания

Лаборатории для научных изысканий имеют совершенно иное назначение, чем контрольные лаборатории. Первые стремятся усовершенствовать промышленность, предоставляя в ее распоряжение все достижения науки. Деятельность этих лабораторий гораздо более сложна и сопряжена с большими затратами. Имея ежедневно перед собой изучение новых проблем, ученые и инженеры, прежде чем применять к ним различные научные методы, должны обладать определенной суммой знаний как теоретических, так и практических, совершенно ненужных для контрольных лабораторий. Часто однако, после больших денежных затрат, полученные результаты не оказываются удовлетворительными, и промышленники, в виду больших расходов, считают, что подобные лаборатории являются роскошью и возможны лишь для предприятий исключительно успевающих.

Во Франции мы имеем небольшое количество прилично организованных лабораторий для изысканий. Во французской промышленности однако нашлось бы место для сотни подобных лабораторий и даже более. Что следует предпринять для их процветания?

Первая трудность заключается в плохой организации научного персонала заводов. Будучи слишком верными вековым заблуждениям, руководители лабораторий еще до сих пор не вводят систему разделения труда, систему, которая уже с давних пор применена в фабричных мастерских. Химик является в одно и то же время лаборантом, заведующим лабораторией, а иногда даже инженером мастерской. Так как такое положение может занять лишь человек с универсальными познаниями, какого редко можно встретить, то начинают сомневаться, на высоте ли он своего положения. Это неправильно и он не должен отвечать за плохую организацию. В действительности, в научно-техническом отделе завода мы должны были бы находить работников четырех различных категорий:

1) во главе предприятий средней величины должен стоять заведующий производством, во главе больших предприятий—инженер, заведующий производством; они должны формулировать задания лабораториям, намечать программы работы и, наконец, применять на практике полученные результаты;

2) на заведующем лабораторией лежит обязанность выбора методов, подлежащих применению при разрешении поставленных проблем, возбуждения вопросов о новых установках, необходимых для опытов, распределения работы между его сотрудниками и, наконец, контроля над точностью производимых измерений; он должен занимать в лаборатории положение, аналогичное положению инженера, — заведующего производством в мастерской;

3) лаборанты-физики или химики, производят опыты и измерения, согласно намеченной для них программе; они должны обладать достаточными научными и практическими познаниями, чтобы уяснить себе инструкции заведующего;

4) наконец, низшие служащие, на которых лежит обязанность выполнения разного рода измерений, повторяющихся ежедневно; им достаточно уметь читать и понимать инструкции, которыми они пользуются.

Действительные трудности происходят из-за недостаточной научной подготовки персонала двух первых категорий, — заведующего производством и заведующего лабораторией. Третья категория — лаборанты — готовятся школами химии как в качественном, так и в количественном отношении вполне удовлетворительно; четвертая категория набирается легко.

Наибольшие затруднения создают часто сами директора и заведующие производством, не умеющие пользоваться услугами лабораторий; точно так же есть много инженеров, не умеющих пользоваться прибором, который им доверяют. Поручая лаборатории разрешение нелепых вопросов, они тем самым уничтожают лаборатории; они обескураживают персонал, выражая ему свое удивление по поводу неполучения ответа на неразрешимые вопросы.

Ошибкой, чаще всего встречающейся, является мнение, что основная задача лабораторий — это сенсационные изобретения, могущие дать выгодные патенты.

Председатель одного из наших самых больших промышленных синдикатов сказал мне однажды: «В виду большого размера руководимых мною заводов я решил, уступая общему предрассудку, произвести затраты на оборудование лаборатории. По истечении шести лет я должен был ее упразднить; она мне стоила слишком дорого, ничего никогда не принося мне; химик не был способен придумать ни одного патентованного изобре-

тения. Вернее говоря, он придумал одно, но ушел от меня, унеся с собой свой секрет, вероятно для того, чтобы продать его моему конкуренту. Ему удалось выработка искусственного мрамора из побочных продуктов моего производства».

Если от лаборатории не требуется каких-то неожиданных открытий, действительных изобретений, то кое-что в этом отношении ею все же должно быть сделано. Если ее роль будет ограничиваться повторением уже известных опытов, то пользы от нее никакой не будет; никакой промышленник не согласится затрачивать деньги, будучи уверенным в непроизводительности затраты. Какие же требования должны быть предъявлены к лаборатории?

Целью всякого научного изыскания является стремление к определению взаимоотношений между явлениями, т.е. установление законов. В этом также заключается роль лабораторий в промышленности. Но между изысканиями чисто научного характера и изысканиями промышленного характера имеется существенная разница. Первые интересуются лишь наиболее общими и наиболее простыми законами, связывающими не более двух-трех переменных. В заводских же лабораториях, наоборот, приходится сталкиваться с определенными частными случаями, зависящими от большого числа переменных. Требования, предъявляемые в этом отношении к заводским лабораториям, в общем сводятся к одному из четырех следующих случаев: уменьшить брак продукции, снизить себестоимость данной продукции, улучшить качество продукции, воспроизводить товары, уже выпущенные конкурентом.

Приведем пример. Фаянсовая промышленность, выпуская в огромном количестве свою продукцию, распродает все, что только не ниже среднего качества. Мы все видели столовые тарелки, кофейные чашки, потрескавшиеся после недолгого употребления, лопнувшую глазурь и краску, проникающую в трещины и придающую предметам крайне неприятный вид. Каким образом должна действовать лаборатория, чтобы предупредить этот дефект?

Заведующий производством должен знать, что трещины являются следствием каких-то определенных условий производства. Если к тому же он обладает определенным запасом знаний в области механики, физики и химии, то он должен знать, что трещины глазури образуются вследствие разницы коэффициентов расширения самой глазури и остального состава смеси. Если, наконец, он знаком также и с научными изысканиями в области керамики, то он поймет, почему трещины, бывая на одних предметах, отсутствуют на других. Во время варки кварц, содержащийся в смеси, превращается почти целиком в другие видоизменения кремнезема, имеющие совершенно различные

коэффициенты расширения. Изменения же в расширении зависят от большего или меньшего превращения кварца. Он должен также знать, что это превращение кварца зависит от температуры, от продолжительности варки, от пропорции плавящих средств в смеси и, наконец, от величины частиц кварца.

Следовательно, заведующий производством должен предложить заведующему лабораторией следующую задачу: определить закон, которому подчиняется расширение составной смеси фаянса, т.е. изменение этого расширения, в зависимости от тех факторов, которые нами отмечены выше. И уж дело лаборатории выбрать способ определения коэффициентов расширения. Степень точности полученных результатов должна быть проверена заведующим лабораторией, после чего должна быть представлена на рассмотрение заведующему производством. Последний же должен решить, какие заключения могут ему быть полезны для урегулирования производства.

Для того, чтобы начальник предприятия или заведующий производством могли с пользой выполнить эту научную роль на заводе, они должны обладать следующими качествами:

1) в совершенстве знать технику операций, которые нужно усовершенствовать; обыкновенно, это условие выполняется;

2) обладать знанием главных законов, установленных наукой, т.е. законов механики, физики, теплоты и электричества; в этом отношении студенты наших высших специальных учебных заведений и университетов обладают также удовлетворительными познаниями;

3) иметь небольшую практику в знании методов измерений, чтобы не давать лабораториям очень сложных задач, иногда совершенно неразрешимых;

4) обладать научным складом ума, придерживаться определенных методов, знать законы, владеть инстинктивным умением подразделять каждую задачу на ее элементарные составные части.

В этом последнем отношении у нас существует большой пробел. Наиспособнейшие студенты наших высших специальных учебных заведений и университетов в общем проявляют абсолютный скептицизм в отношении необходимости знания законов и их пользы. Они почти единодушно, прямым или косвенным путем, признают случайность. Сколько раз, например, мне приходилось слышать от известных агрономов, что сельскохозяйственные проблемы не поддаются какому бы то ни было научному предвидению.

Что касается заведующего лабораторией, то его качества должны быть немного иными; ему необходимы:

1) глубокие познания в различных областях экспериментальных наук: в механике, физике и химии;

2) истощающие познания в экспериментальных методах измерений, умение конструировать и применять приборы, служащие для этих измерений, таким образом, чтобы в каждом отдельном случае он мог бы в своей работе применить метод, наиболее подходящий и наиболее выгодный; знание источников ошибок и т. д.

3) научный склад ума, который ему также необходим как и заведующему производством;

4) наоборот, знания в области технологии для него не являются обязательными; они, конечно, не вредны, но нельзя же бесконечно продолжать свое учение, лучше будет годы, посвященные занятиям, использовать на усовершенствование в практической работе.

Трудно в настоящее время найти хорошего заведующего лабораторией, который обладал бы знаниями всех необходимых методов. Однако этот пробел менее вреден, чем отсутствие научного склада ума. Последний недостаток целиком аннулирует работу лаборатории, тогда как недостаточная научная подготовка заведующего лабораторией лишь уменьшает пользу, приносимую ею.

Себестоимость

Большим затруднением в распространении научных методов труда на заводах является дороговизна научных изысканий. Последние всегда связаны с большими денежными затратами. Лаборатория, более или менее хорошо оборудованная, требует ежегодного бюджета не менее, чем в сто тысяч франков. Это не послужило бы еще препятствием, если бы прибыль, получаемая благодаря работе лаборатории, значительно превышала затрату на нее. Тэйлор потратил один миллион на свои изыскания по обработке металлов, а прибыль, полученная благодаря этим изысканиям, была, на много раз выше затрат.

Чтобы соразмерить затраты с возможной прибылью, надо принять во внимание следующее:

1) при выборе предмета изучения, предпочтение следует отдавать операциям, связанным с большими денежными затратами, так как в случае успеха, это даст нам возможность надеяться на большую экономию, или несложным вопросам, вопросам еще мало изученным, разрешение которых может дать положительные результаты при небольшой затрате;

2) при опытных изысканиях следует сначала стараться изучить доминирующие факторы, изменение которых может оказать наибольшее влияние на преследуемую цель; этот выбор требует совместного сотрудничества заведующего предприятием и заведующего лабораторией;

3) ограничить изыскания зоной полезных величин переменных, переходя ее лишь в том случае, когда измерения необходимы для построения кривых, представляющих законы;

4) точность измерений должна соответствовать актуальным потребностям, так как нужно помнить, что стоимость опытов возрастает вместе с их точностью, тогда как польза их возрастает очень медленно.

Однако трудно уравновесить затраты и прибыль отдельной лабораторий завода, что, впрочем, ничуть не мешает получению большой прибыли для всей отрасли данной промышленности. Невозможно хранить в течение долгого времени секрет интересных усовершенствований; ими пользуются конкуренты и боязнь работать для ближних останавливает промышленников.

Практически одни и те же проблемы изучаются одновременно целой дюжиной различных заводов. Каждая промышленная группа, каждый синдикат должны были бы иметь одну опытную лабораторию, содержащуюся на общие средства. До сих пор одна лишь угольная промышленность пошла по этому пути, в то время как за границей, а в частности в Германии, подобная система является общепризнанной.

Роль лаборатории должна ограничиваться изучением проблем ежедневного производства, например, уменьшением брака, снижением себестоимости, а не преобразованием процессов производства, что в настоящее время является их главной работой.

Опубликование результатов изысканий

Трудно установить, в какой мере могут быть опубликованы результаты изысканий заводов. Большинство французских промышленников являются абсолютными противниками подобных опубликований и запрещают даже своим инженерам принимать какое либо участие в конгрессах или научных и технических журналах. Когда я основал «Журнал металлургии» («La Revue de metallurgie»), некоторые большие заводы запретили своим служащим приносить мне не только оригинальные статьи, но даже переводы и выписки из иностранных журналов. Такое положение мотивировалось боязнью оказать услуги своим конкурентам. Не так обстоит дело за границей. В Соединенных Штатах Всеобщая Электрическая Компания и Компания Кодак ежегодно публикуют свои отчеты об изысканиях, произведенных в их лабораториях.

В Англии некоторые промышленные общества ежегодно устраивают по два собрания, где промышленники зачитывают крайне интересные доклады о научных изысканиях их лабораторий. Эти доклады, а также имеющие место прения, публикующиеся в специальном бюллетене, выпускаемом обществом,

стали источником ценных информации для металлургической промышленности всего мира.

Эти публикации поощряют рвение инженеров и побуждают их быть всегда в курсе научных изысканий; это создает вокруг них атмосферу, значительно облегчающую их работу. Часто говорят, что работать в провинциальных университетах крайне затруднительно в виду отсутствия подходящей среды. Затруднения становятся в значительной степени еще большими на заводах, отдаленных от интеллектуальных центров. Указанные издания увеличивают престиж заводов и косвенно благотворным образом влияют на их экономическую мощь.

Система Тэйлора

Научная организация труда на заводах, или система Тэйлора, является не чем иным, как применением научных методов в промышленности. Это применение науки, считавшееся в течение долгого времени невозможным на заводах в силу его сложности и дороговизны, было исключительно успешно осуществлено знаменитым американским инженером Фридрихом Тэйлором. Он первый показал, что разумное пользование научным методом может быть в высшей степени выгодно, он довел его до крайности, требуя, чтобы ни одна операция не была произведена без предварительного изучения, сопровождаемого точными измерениями и позволяющего установить наилучшие условия труда.

Система Тэйлора может быть выражена в двух словах: подумать, прежде чем действовать.

Разве всякий, кто преуспевает в своих делах, не имеет привычки размышлять прежде, чем действовать? Это верно, но единственной исходной точкой этих размышлений являются практические знания, уже заранее известные, или данные, позаимствованные из книг технического характера, или, наконец, от посещения других заводов. Размышления Тэйлора совершенно иного характера. Они основаны на экспериментальных измерениях, иногда крайне длительных и требующих для осуществления многочисленного персонала и больших затрат. Чтобы дать понять, чем его метод отличается от обыденной практики заводов, достаточно вспомнить пример реорганизации Тэйлором заводов Табора.

Завод Табора представлял собою небольшую механическую мастерскую, изготовлявшую различные изделия. Весь персонал состоял из директора-владельца, трех сотрудников и 96 рабочих, всего из 100 человек. Предприятие давало дефицит и шло на ликвидацию. Прежде чем предпринять столь тяжелое решение, владелец завода обратился к Тэйлору с просьбой попытаться спасти дело. Тэйлор начал с того, что половину орудий

производства убрал на чердак, а освободившееся помещение превратил в бюро исследований. Из 96 рабочих он выбрал 26 наиболее развитых и способных для работы в научно-исследовательском бюро, а остальных 70 рабочих он сохранил за производством. К концу года, индивидуальная продуктивность каждого из этих последних рабочих удвоилась, а продуктивность всей мастерской повысилась на 50%. Расходы остались теми же, так как количественно персонал ничуть не изменился. Занятые же в бюро 26 рабочих, представлявшие как-будто персонал не продуктивный, позволили значительно увеличить продуктивность рабочих мастерской. Положение было спасено, и завод в течение двадцати пяти лет продолжал преуспевать. Эта мастерская в настоящее время представляет собою нечто вроде завода-школы, куда приезжают много других инженеров для ознакомления с научными методами организации труда.

Тэйлор не получил никакого научного образования; открытие основных принципов научных методов организации является его личной заслугой. Тэйлор страстно увлекался всеми видами спорта и с несокрушимой энергией боролся за то, чтобы занять первенствующее положение. К концу своей карьеры он сделался первым игроком гольфа в Филадельфии. Один из его сограждан сказал мне однажды, что игра с Тэйлором была мало приятна, во-первых, потому, что заранее можно было быть уверенным в поражении, а в особенности по той причине, что перед каждым ударом он так долго раздумывал, что партия проходила без всякого оживления. Казалось, что промышленность он также рассматривал, как частный случай спорта. Не желая никогда потерпеть поражения, он самым кропотливейшим образом изучал все условия успеха.

Первое промышленное исследование Тэйлор произвел, когда в качестве старшего мастера он руководил токарной мастерской. Будучи до этого сам рабочим в той же мастерской, он хорошо был осведомлен о систематических прогулах своих прежних товарищей. Перейдя же по ту сторону баррикады, он стал требовать от них нормальную продуктивность работы. Последнее обстоятельство служило причиной частых неприятных объяснений, не дававших никаких результатов. Не зная в точности время, необходимое для выполнения каждой отдельной операции, он ошибался иногда в своих требованиях, а рабочие, пользуясь этим, перестали его слушаться. Он потребовал тогда в свое распоряжение небольшую мастерскую и один токарный станок, чтобы иметь возможность лично приготовить новое изделие, требуемое от мастерской.

Он измерял хронометром не только продолжительность всей операции, но и продолжительность каждой из элементарных частей этой работы. Вооруженный таким образом и будучи

уверен в том, что он не предъявляет рабочим преувеличенных требований, он в скором времени добился нормального темпа работы.

По мере того как положение его на заводе становилось прочнее, он распространял свои изыскания на вопросы все более сложные. Сделавшись старшим инженером производства, Тэйлор был поражен большими затруднениями, причиняемыми ежегодными чистками паровых котлов. Для этой работы требовался 36-часовой перерыв, во время которого рабочие и машины бездействовали. Он предложил тогда помощнику инженера, на обязанности которого лежало руководство этой работой, побудить рабочих к более активной работе. Предложение его потерпело полную неудачу: в силу традиции на эту работу полагалось 36 часов, и никто из рабочих не хотел ее ускорять. В следующем году он предложил тому же инженеру лично изучить проблему и выработать полезные изменения. Ответ был отрицательный, никакое улучшение не было возможно. В третий раз Тэйлор решил лично изучить этот вопрос. Он забрался в котел и лично начал производить чистку. Он тотчас же установил, что инструменты, которые давались рабочим, имели рукоятки вдвое более длинные, чем это нужно было для удобной работы в котле. Кроме того, рабочие ранили себе колени и локти о заклепки листового железа. По распоряжению Тэйлора были приготовлены инструменты с приспособленным размером; он дал рабочим медные наколенники и нарукавники и установил продолжительность работы в шесть часов. С этого времени перерыв работы в мастерских был уменьшен в шесть раз.

В своих исследованиях Тэйлор натолкнулся на одно препятствие, о котором мы уже упоминали—это затраты. Подобные изыскания стоят дорого, а главное, нет никакой уверенности в том, что они будут соответственно компенсированы. Только благодаря его находчивости и особой выдержке, ему удавалось преодолевать эти препятствия.

В своем классическом изучении передаточного ремня Тэйлор все устроил таким образом, что обошелся без кредитов.

В своих научных изысканиях над обработкой металлов, которые продолжались двадцать пять лет и которые стоили миллион франков, Тэйлор натолкнулся на еще большие трудности. Он расположил в определенном порядке работы по разрешению ряда вопросов, проделывая сначала наименее дорого стоящие опыты и откладывая истребования новых кредитов, необходимых для продолжения опытов. К осуществлению последних он приступал лишь тогда, когда реализация прибыли, явившейся следствием первых опытов, могла с излишком покрыть сделанные затраты. Благодаря небольшой мастерской и токарному станку, которые были в его распоряжении в бытность его старшим мастером, он изучил как умышленную, так и неумышленную

потерю времени рабочими во время работы. Впоследствии он также определил влияние скорости и глубины резки на полезное действие машин. Позже он приступил к разрешению вопроса, касающегося формы инструментов, и лишь в конце он приступил к разрешению проблемы качества стали, употребляемой для инструментов, изучая влияние химического состава и термического действия. Эти последние изыскания привели Тэйлора его к открытию быстрорежущей стали.

Технические изыскания

Все изыскания Тэйлора связаны с применением научных методов для разрешения промышленных проблем; полученные им результаты могут быть подразделены на две совершенно различные между собой группы, в зависимости от характера соответствующих проблем.

Он сначала изучил целую серию проблем технического характера, случайно встретившихся в его служебной деятельности как например, работа металлов, экономное употребление приводных ремней, перенесение ручным способом больших тяжестей и т. д. С другой стороны, он также изучал вопросы общего характера, как например, организацию труда, называемую обычно системой Тэйлора, которую автор рассматривает как одну из важнейших его работ.

Научно-технические изыскания дают прекрасные примеры применения научного метода в вопросах промышленного характера. Мы не будем здесь детально рассматривать их, так как это явится лишь повторением того, о чем мы говорили в предыдущих главах. Мы ограничимся тем, что отметим результаты некоторых из них, чтобы показать плодотворность применения научного метода.

Изыскания Тэйлора в области обработки металлов показали, что наиболее выгодные условия работы соответствовали изнашиванию инструмента в полтора часа, вопреки существующему мнению, что следует замедлять скорость резки для того, чтобы продлить жизнь инструмента. Экономия, полученная от уменьшения изнашиваемости, покрывалась с излишком расходами по амортизации машины—фактором, влияющим на себестоимость. Наиболее замечательным результатом этого изучения было открытие быстрорежущей стали, которая могла снять в три раза больше металла, чем обыкновенная углеродистая сталь. Состав этой стали состоит из 18% тунгстена, 6% хрома и 1% ванадия. Температура закалки достигает 1.200°, а не 800°, как для обыкновенной стали.

В изысканиях над приводными ремнями Тэйлор установил что вследствие непринятия во внимание всех факторов себе-

стоимости, приводные ремни натягивали слишком сильно. В результате они часто рвались и расходы, причиняемые перерывом работы в мастерской, были не пропорциональны той маленькой экономии, которая получалась от покупки слабых ремней.

В изысканиях над более удобной уборкой лопатами железной руды и каменного угля Тэйлор доказал, что объем нижней части лопаты (совка) должен быть обратно пропорционален плотности поднимаемой тяжести и что вес должен равняться, приблизительно, девяти килограммам постоянно.

Опыты Тэйлора также показали, что человеку, нагруженному тяжестью, следует ходить довольно быстро, а возвращаться порожним—более медленно, чтобы отдохнуть, что после каждого часа работы полезен полный десятиминутный отдых в сидячем положении. Благодаря такому распорядку, ему удалось учетверить производительность грузчиков вагонов¹⁾.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

Открытия и изобретения

Роль ученых

Очень распространенным предрассудком является мнение, что ученые должны быть настоящими машинами для научных открытий и даже практических изобретений. Так, во время войны один генерал, поддерживавший связь между академией наук и военным министерством, постоянно мучил нас требованием открытия такого взрывчатого вещества, которое было бы в десять раз более мощно, чем мелинит; он даже намечал нам метод работы, который мы должны были применить. Если мы настоящие ученые, нам ничего не оставалось делать, по его мнению как еженедельно собираться на четверть часа для собеседования по поводу этой проблемы, и тогда в один прекрасный день долгожданный препарат был бы открыт.

Эта ошибочная точка зрения находит много защитников даже в научной среде. Академия наук и та создала секцию научных применений в промышленности. Многие из наших коллег,

¹⁾ Мы опускаем несколько страниц оригинала, на которых Ле Шателье дает общие понятия о принципах Тэйлора в области организации управления предприятием, изучения «человеческого фактором» и производственных вопросов. Имеющаяся на русском языке литература освещает все это и лучше и подробнее. Укажем две из таких книжек: 1) Томпсон. Научная организация производства (система Тейлора). 1925. 2) И. Кан и З. Папернов. Американские рационализаторы. 1928. Обе—изданы Изд-вом «Техника Управления». Р е д.

чуждых промышленности, признают, что эта секция должна быть предназначена для изобретателей. Некоторые изобретатели вне всякого сомнения являются крупными учеными, но большинство из них все же эмпирики.

В обывательской среде смешение этих двух понятий—изобретения и науки—встречается еще чаще. Парламент, желая поощрить ученых, рассмотрел проект закона, направленный к установлению особых вознаграждений авторам открытий, получающих впоследствии практическое применение. Это было бы в высочайшей степени несправедливо, так как многие из ученых,—авторы замечательных трудов, оказавших большие услуги родине, вроде Ренью,—никогда не делали никаких открытий в собственном смысле этого слова. К тому же чаще всего только после смерти ученых промышленность извлекает для себя пользу из их трудов. Так, труды Реомюра по выработке стали были лишь спустя сто пятьдесят лет, успешно использованы Мартеном.

Начало каждой науки знаменуется открытиями; мы не могли бы изучать магнетизма и электричества, не будучи заранее знакомы с этими явлениями. Лишь открытие Эршtedтом действия электрического тока на магнитную стрелку дало толчок развитию электродинамики. Но подобные открытия относительно немногочисленны, так как тела обладают лишь ограниченным количеством различных свойств; изменения этих свойств, их взаимные действия не бесконечны.

Затем, после начальных открытий, для полного создания науки требуется почти безграничная работа, от конца которой мы еще крайне далеки. Открытие Сен-Клер-Девиллем химического разложения веществ послужило исходным пунктом в работе сотен химиков, которые хотя и не сделали новых открытий, однако строго уточнили законы химического равновесия и дали массу различных ценных практических применений.

В жизни ученых открытия бывают лишь счастливыми случайностями, но случайностями довольно редкими. Задаться чем-то вроде программы научных открытий было бы грубой ошибкой, распространенной среди начинающих, а иногда и пожилых ученых, которые, расточая таким образом свои силы, не принося пользы ни себе, ни науке.

Среди ученых, которые всю свою энергию посветили погоне за открытиями, одним из наиболее знаменитых является физик Липпман. Однако все его друзья жалели его, видя как он расточает свои замечательные способности совершенно не соразмерно с результатами. Изображение цветной фотографии—безусловно красивый опыт, достигнутый с большой трудностью, но наши познания от этого не прогрессировали. Капиллярный электрометр Липпмана интересное применение принципов энергетики; он

оказывает лабораториям услуги на ряду с тысячами других аналогичных приборов. Как много, однако, сделал бы Липпман, если бы он не гнался так часто за осуществлением невозможного.

Классификация открытий

Оговорки, сделанные здесь по поводу ограниченной роли открытий в прогрессе науки, и совет, данный молодым ученым, не обольщаться заманчивыми надеждами окажется в противоречии со взглядами многих. Чтобы пояснить нашу точку зрения, бесполезно будет немного остановиться на ней и проанализировать механизм научных открытий. Их можно подразделить на следующие четыре различные категории:

1) Открытия неожиданные и непредвиденные. Сюда относится открытие тел или новых явлений, как например, открытие аргона в воздухе или влияние электрического тока на магнитную стрелку. Вполне очевидно, что систематическое искание подобных открытий невозможно. На них наталкиваются случайно, преследуя другие задачи. Чтобы обратить на них внимание и заметить их, нужно обладать пронизательным умом, восприимчивостью, которые позволили бы уловить малейший непредвиденный факт. Лишь при таких обстоятельствах лорд Ралей смог натолкнуться на открытие аргона, благодаря случайной ненормальной величине удельного веса азота. К тому же нужно владеть достаточным запасом научных познаний, чтобы иметь возможность признать новизну замеченного факта.

2) Открытия, которые возможно предвидеть. Некоторые новые выводы уже известных фактов могут иметь столь большое значение, что их можно считать настоящими открытиями. Об этих выводах раньше не думали; но вдруг их сделает какой-нибудь ученый—это уже открытие. Одним из таких наиболее замечательных примеров служит открытие Сади Карно. Исходным пунктом механики, в начале ее развития, был принцип невозможности вечного движения; отсюда был выведен закон сложения сил, принцип сохранения живой силы и т. д. Очевидно, что тот же самый закон можно было применить и к теплоте, как источнику работы паровых машин. Никто до Сади Карно об этом и не думал. Эта идея и это открытие положили начало одной из самых важных наук—науке об энергии.

3) Осуществление крайне трудных опытов также относится к категории научных открытий. Предположим, что некоторые результаты предвидены и даже заранее известны, но ни одному ученому еще не удалось их осуществить. Тогда первому, кто их осуществил, будет принадлежать честь открытия. Такими примерами могут служить добыча фтора (Муассан), цветная фотография (Липпман) или же еще производство рубинов

(Фреми). Эти изыскания составляют интересный спорт, напоминающий спорт альпинистов, желающих подняться на никем недостигнутую еще вершину. Но полезные результаты подобных работ очень незначительны. Тем не менее радостно видеть, как подобные искатели с воодушевлением отдаются такого рода попыткам. Без них некоторые неведомые уголки нашего мира, содержащие целые сокровища, остались бы навсегда неизвестными.

4) Значительный научный прогресс, осуществляемый даже одним ученым, также может относиться к категории настоящих открытий. Органический синтез Вертело относится к числу подобных открытий. Еще до него удалось воспроизвести переход от некоторых простых органических тел к сложным, встречающимся у живых существ, но тот систематический метод, с которым Вертело производил свои изыскания, исходя из чистого углерода, а также и совокупность его трудов, посвященных этим изысканиям,—заложили фундамент новой, очень важной главы в химии. И совершенно справедливо, что его имя тесно связано с органическим синтезом, творцом которого он считается.

Этот метод работы, заключающийся в концентрации энергии в одном направлении, очень выгоден; он увеличивает пользу работы, благодаря постоянно накапливающемуся опыту. Можно, конечно, оспаривать возможность именовать подобные изыскания настоящими открытиями, но одно неоспоримо—это продуктивность метода. Если даже достигнутые результаты не настолько ценны, чтобы заслуживать название открытий, то они все же всегда интересны; они дают уверенность в совершенствовании науки и возможность извлекать из этих работ соответствующую пользу.

Технические изобретения

Если, по мнению многих, прогресс науки является результатом научных открытий, то еще большее число людей воображает, что всякий прогресс в промышленности зависит от изобретений. Подобные взгляды крайне вредны потому, что они отвлекают много активных и способных людей от нормальной регулярной работы, которая была бы более полезна как для них самих, так и для общества, чем погоня за изобретениями.

В развитии чистой науки точные измерения и необходимые умозаключения и выводы для установления законов требуют работы в тысячу раз большей, чем начальное открытие изучаемого явления. Время, потраченное Эршtedтом для наблюдения перемещения магнитной стрелки под влиянием электрического тока, было бесконечно мало в сравнении с временем, которое потрачено было на создание всей электродинамики.

То же самое и в еще большей степени наблюдается и в промышленности. Если для возникновения всякой науки нужно иметь хотя бы одно открытие в области изучаемого явления, то в отношении промышленности начальное открытие вовсе не является необходимым.

В противовес распространенному мнению, изобретения, с виду самые неожиданные, являются по обыкновению завершением медленного чередования целого множества мелких усовершенствований. Новый способ внезапно становится жизненным лишь после реализации последнего усовершенствования. Изобретатель, который его окончательно применяет в дело и придает ему реальное существование, присваивает ему свое имя, добавляя к работам своих предшественников так мало нового, что его права на изобретения почти непризнаваемы.

Последовательные усовершенствования

По какому же пути должна идти промышленность, чтобы непрестанно прогрессировать в своем развитии? Промышленная эволюция должна в будущем изменить свой путь, отказавшись от эмпирического метода и перейдя к методам чисто научным. Научные изыскания, систематически организованные, приводят к бесплезности изобретательства, которое они замещают бесконечным количеством незначительных усовершенствований; они достигают того же конечного результата, но путем более коротким и более экономичным. Беспрерывное изучение свойств тел приводит, правда, к незначительным усовершенствованиям, кажущимся на первый взгляд незначительными; но эти отдельные результаты, постепенно накопляясь, дают в конце концов преимущества, значение которых возрастает беспредельно: Совершенно иначе обстоит дело с изобретениями, которые совершенно не зависят одно от другого и не пополняют друг друга.

Чтобы пояснить возможность замены изобретений научным изысканием, приведем пример с лампочками накаливания. Изобретение Ауэра было бы совершенно невозможно при отсутствии научного метода разрешения проблемы. Еще за пятьдесят лет до Ауэра делалось бесчисленное количество подобных попыток. Так, Бурбуз для своих сеток применял платину, Кламон—магний, но все их опыты потерпели неудачу. Предположим, что вместо того, чтобы случайно выбирать для пробы различные вещества, мы подошли к разрешению проблемы путем чисто научным. Тогда мы начали бы с изучения лучеиспускания различных тел. Опыты эти крайне просты и отнимают очень немного времени. Мы бы тотчас установили существенной важности факт—большую разницу температур различных тел, помещенных в одно и то же пламя. Полезная световая отдача зависит столько же

от температуры, сколько и от лучеиспускающей способности. Температура же зависит исключительно от слабой мощности лучеиспускания инфракрасных лучей тела, в то время как световая отдача зависит от лучеиспускающей способности в видимой части спектра. Итак, если эти два условия нам будут известны, разрешение проблемы упростится. Нам нужно будет найти такое тело, которое испускало бы мало инфракрасных лучей и обладало бы большой лучеиспускающей способностью в средней видимой части спектра. Мешая тела с различной лучеиспускающей способностью, мы быстро нашли бы комбинацию, более выгодную, чем платина и магний. Нам едва бы понадобилось два—три года, чтобы довести эти изыскания до желательного результата; они стоили бы гораздо дешевле, чем все попытки огромного числа изобретателей.

Наш совет—не слишком увлекаться научными открытиями—многих удивит. Прежде чем осудить это мнение, следует хорошо уяснить себе смысл, придаваемый здесь слову «открытие». Если мы возьмем его этимологическое значение, т. е. познание новых истин, явлений, еще неизвестных, то мы не сможем оспаривать, что целью всех ученых должны быть подобные открытия. Они не должны, конечно, работать лишь для простого повторения опытов, до них уже проделанных. Но на общежитейском языке под словом «открытие» подразумевается еще нечто другое, неожиданное обнаружение какого инбудь важного факта. Вот за такими сенсационными открытиями не следует гнаться и расточать свое время и энергию.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	5
Глава I. Определение науки	9
Глава II. Основные положения научной методологии	19
Глава III. Наблюдение фактов	29
Глава IV. Экспериментальные измерения	39
Глава V. Погрешности	50
Глава VI. Рассуждения	61
Глава VII. Производственные основы науки	70
Глава VIII. Значение науки для промышленности	80
Глава IX. Введение научных методов на заводах	87
Глава X. Открытия и изобретения	101

КНИГИ ПО РАЦИОНАЛИЗАЦИИ.

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ.

1. **Дрезей, Э.** Организация промышленных, торговых и административных учреждений. Стр. 114. Ц. 1.—
2. **Розмирович, Е.** НОТ, РКИ и партия „ 242. „ 1.50
3. **Эйгельбернер, Ф.** Методика обследования. Стр. 134. Ц. 1.35

II. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.

1. **Азарх, Б.** Рационализация текстильной промышленности. Стр. 180. Ц. 1.—
2. **Баум, А.,** инж. Техника управления промышленным предприятием. Стр. 125. Ц. 1.10
3. **Бенсон,** Новый Форд. „ 117. „ —.85
4. **Блисс, Д.** Показатели хозяйственной успешности предприятий. Стр. 102. Ц. —.90
5. **Вегелебен, Ф.** Рационализация производства на Западе. Стр. 90. Ц. —.75
6. **Галль, Г.** Калькуляция себестоимости в современной индустрии. Стр. 168. Ц. 1.30
7. **Кларк, У.** Учет производительности. Графический метод Ганта. Стр. 130. Ц. 1.30
8. **Лазарев, Б.** О качестве продукции. Стр. 86. Ц.—.75
9. **Лихтнер, В.** Планирование производства. Стр. 129. Ц. 1.10
10. **Пипкевич, А.** Организация промышленных предприятий. Стр. 206. Ц. 1.—
11. **Редфорд.** Контроль качества продукции. Стр. 218. Ц. 1.75
12. **Томпсон, Б.** Научная организация производства. Система Тэйлора. Стр. 75. Ц. —.50
13. **Холлауд, М.** Организация промышленных исследований. Стр. 116. Ц. —.60
14. **Черч, Г.** Основы управления производством. Стр. 103. Ц. —.90

III. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТРУДА.

1. **Ванников, Б.** Изучение вопросов производительности труда. Стр. 82. Ц. —.30
2. **Журавский, А.** Измерение времени. Стр. 73. Ц. —.80
3. **Соколов, Б.** Техника нормировочной работы на предприятиях. Стр. 80. Ц. —.45
4. **Саломонович, Е. Д.** Нормирование труда служащих. Стр. 175. Ц. 2.25
5. **Уотс Франк.** Методы повышения производительности труда. Стр. 135. Ц. 1.25
6. **Шехватов, А.** Ленин и НОТ. „ 68. „ —.25
7. **Шпильрейн, И.** (ред.). Трудовой метод изучения профессий. Стр. 175. Ц. 1.75

ИЗДАТЕЛЬСТВО
„ТЕХНИКА УПРАВЛЕНИЯ“

Москва, Ц., Варварка, Псковский пер., № 2.

О Т К Р Ы Т А П О Д П И С К А
НА НОВЫЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ
„ЗА РАЦИОНАЛИЗАЦИЮ“
Орган ЦКК-НКРКИ СССР

Задачи журнала:

- 1) разрабатывать методологию рационализации, развивая ее принципы и методы
- 2) обобщать опыт рационализации у нас и за границей
- 3) освещать дефекты и достижения нашей рационализации
- 4) содействовать обмену опытом между широкими рационализаторскими кругами
- 5) выдвигать „узкие места“ нашего рационализаторского движения, сосредоточив на них внимание, содействуя их устранению
- 6) разрабатывать вопросы организационного оформления рационализаторской работы, выступая в защиту и рационализации, в рационализаторов
- 7) вырабатывать методы превращения широких рабочих масс в активных участников рационализации

В журнале регулярно будут вестись следующие отделы:

1. Статьи по вопросам методологии
2. Статьи по отдельным линиям рационализации
3. Отдел дефектов рационализации
4. Из практики вовлечения рабочих масс в дело рационализации
5. Из практики РКК по рационализации
6. Деятельность других органов рационализации
7. Дискуссионный отдел. Характеристика течений
8. Обзор новейшей литературы советской и зарубежной
9. Положение рационализаторских органов
10. Рационализация за рубежом

АДРЕС РЕДАКЦИИ: Москва Центр, Ильинка, 21-6,

Подписная цена на 1928 г. 6 р. 75 к.

Отдельные номера по 75 коп.

Подписку направлять в Издательство „Техника Управления“,
Москва, Ц., Варварка, Псковский пер., 2.

Цена 1 руб.

4
15714



СКЛАД ИЗДАТЕЛЬСТВА „ТЕХНИКА УПРАВЛЕНИЯ“
МОСКВА, Варварка, Псковский пер., 2. Тел. №№ 5-77-17, 5-62-86.