



ДЖЕМС КЛЕРК  
МАКСВЕЛЛ

СТАТЬИ  
И РЕЧИ

*Джеймс Максвелл*



Издательство «НАУКА» Москва 1968

Доклад математической  
и физической секции  
Британской ассоциации

(О соотношении между физикой  
и математикой)

Ответственный редактор

Л. С. ФРЕЙМАН

Составитель У. И. ФРАНКФУРТ

Ливерпуль, 15 сентября 1870 г.

На прошлых съездах Британской ассоциации различные важные для секции математики и физики вопросы излагались в докладе, выбор предмета которого предоставлялся тогдашнему председателю этой секции. Меня, однако, миновала затруднительная обязанность выбора темы доклада.

Профессор Сильвестр, председатель секции А на съезде в Экстере, выступил в защиту чистой математики, продемонстрировав, так сказать, самый процесс математического мышления, а не то одеяние символов и скобок, которое составляет воображение математика, не те сухие результаты, которые являются лишь памятниками его побед; он показал самого математика со всеми присущими человеку способностями, с профессиональной проницательностью, направленной на отыскание, осознание и выявление той идеальной гармонии, которую он считает корнем всякого знания, источником всякого удовлетворения и условием всех действий.

Математик любит прежде всего симметрию. Профессор Сильвестр не только отметил симметрию своего доклада с докладами своих предшественников, но и наметил обязанности своего преемника в следующем характерном указании:

«М-р Споттисвуд в своей вступительной речи представил Секции доклад, содержащий общую историю развития

математики и физики. Доклад Тиндаля касался главным образом вопроса о границах физики. Печатаемый здесь доклад, говорит профессор Сильвестр, является попыткой дать слабый набросок природы математических наук в общем виде. Для построения идеальной пирамиды не хватает еще как бы четвертой сферы, опирающейся на три остальные, соединенные друг с другом, а именно: доклада о связи обеих отраслей науки (математики и физики) и их взаимном влиянии друг на друга. Это — великолепная тема, которой, надо надеяться, один из будущих председателей секции А увенчает здание и этим завершит тетралогию, символически изображенную через  $A+A'$ ,  $A$ ,  $A' AA'$ .

Действительно, тема столь отчетливо сформулированная последним президентом для своих преемников, — великолепная тема, слишком великолепная для того, чтобы я пытался развить ее. Я стремился следовать за Спотти-свудом, когда он с глубоким прорицанием устанавливает различия, характерные для тех научных систем, которые охватывают явления, наши знания о которых еще совершенно туманны. Острая проницательность и убедительность выражений д-ра Тиндаля увлекли меня в святилище мельчайших частиц и сил, где молекулы, подчиняясь законам своего существования, сталкиваются в бешеном соударении или сцепляются в еще более интенсивном соединении, таинственно создавая формы видимых вещей. Профессор Сильвестр повел меня на те безмятежные высоты,

Куда вовек не заплынет туча,  
Где буйный ветер и вздохнуть не смеет,  
И звездочкой снежинка не ложится,  
Куда не донестись раскатам дальним грома,  
Где стона человеческого горя  
Не услыхать. И где ничто не может  
Покой нарушить, вечный и священный...

Но кто введет меня в еще более скрытую туманную область, где Мысль сочетается с Фактом, где мы видим умственную работу математика и физическое действие молекул в их истинном соотношении? Разве дорога к ним не проходит через самое логовище метафизиков, усеянное останками предыдущих исследователей и вишающее ужасом каждому человеку науки? С моей стороны было бы безрассудной затеей занять драгоценное время нашей лекции рассуждениями, требующими, как мы это знаем, тысяче-

летий для того, чтобы сложиться в понятную форму. Но мы собрались здесь как деятели математики и физики. В нашей повседневной работе мы приходим к вопросам того же рода, что и метафизики, но, не полагаясь на врожденную проницательность нашего ума, мы подходим к ним подготовленные длительным приспособлением нашего образа мыслей к фактам внешней природы.

Как математики, мы выполняем определенные мысленные операции над символами чисел или величин; и, переходя шаг за шагом от простых операций к более сложным, мы получаем возможность выражать одну и ту же вещь во многих разных формах. Эквивалентность этих различных форм, хотя она и является необходимым следствием очевидных аксиом, не всегда кажется нам самоочевидной, но математик, который благодаря длительной практике вполне освоился со многими из этих форм и приобрел большой навык к переводу одной формы в другую, часто может превратить запутанное выражение в другое, поясняющее его смысл более удобопонятным языком.

Как люди, изучающие физику, мы наблюдаем явления при различных обстоятельствах и пытаемся вывести законы их связи. Каждое явление природы представляется нам результатом бесконечно сложной системы условий. Мы занимаемся разбором этих условий и, рассматривая явление особым методом, который сам по себе односторонен и несовершенен, выбираем одну за другой основные черты явления, начиная с той, которая прежде всего привлекает наше внимание; таким образом постепенно мы узнаём, как рассматривать все явление в целом для того, чтобы получить все более ясное и четкое представление о нем. При этом неспециалистам наиболее часто бросается в глаза как раз не то обстоятельство, которое опытный ученый считает основным, между тем как успех всякого физического исследования зависит от правильного выбора того, что является наиболее важным, и от добровольного игнорирования тех обстоятельств, для успешного исследования которых, как бы ни были они интересны, наука еще развилась недостаточно.

Подобные интеллектуальные процессы имели место, начиная с возникновения языка, и продолжаются еще и сейчас. Нет сомнения, что обстоятельство, которое в каждом явлении нас прежде всего и наиболее сильно затрагивает, есть приятное ощущение или боль, ему сопутствующие,

приятный или неприятный результат, за ним следующие. Созданная с этой точки зрения теория явлений природы воплощена в ряде наших слов и фраз и не исчезла даже из наших продуманных суждений.

Большой шаг вперед был сделан в науке тогда, когда люди убедились, что для понимания природы вещей они должны начать не с вопроса о том, хороша ли вещь или плоха, вредна или полезна, но с вопроса о том, какого она рода и сколь много ее имеется. Тогда впервые было признано, что основными чертами, которые нужно познать при научном исследовании, являются качество и количество.

По мере развития науки область количества стала по-всеместно вторгаться в область качества, пока, наконец, научно-исследовательский процесс не превратился в простое измерение и регистрацию количеств в соединении с математическим обсуждением полученных таким образом численных данных. Именно этот метод, обращающий наше внимание на те особенности явлений, которые могут рассматриваться как количества, подводит физическое исследование под действие математических рассуждений. В работе Секции мы будем иметь много примеров успешного применения этого метода к самым последним научным завоеваниям; сейчас же я хочу обратить ваше внимание на некоторые моменты взаимодействия между прогрессом науки и теми элементарными понятиями, которые, как это нам иногда кажется, не могут быть подвержены изменению.

Если искусство математика позволило экспериментатору заметить, что измеряемые им количества связаны необходимыми соотношениями, то физические открытия показали математику новые формы количеств, которые он никогда бы не мог себе представить.

Я считаю, что в настоящее время самым важным из методов, при помощи которых математик приносит своими работами наибольшую пользу исследователю природы, является систематическая классификация величин.

Величины, изучаемые нами в математике и в физике, можно классифицировать двумя различными способами.

Исследователь, желающий овладеть какой-либо наукой, должен освоиться с различными величинами, относящимися к этой науке. Поняв взаимную связь между этими величинами, он рассматривает их как единую систему и относит всю систему именно к этой науке. Это — наиболее

естественная, с точки зрения физики, классификация, и обычно она является первой по времени.

Однако, ознакомившись с рядом различных наук, исследователь замечает, что математические процессы и ход рассуждения в разных науках так похожи один на другой, что знание им одной науки может стать чрезвычайно полезным подспорьем при изучении другой.

Вдумываясь в причины этого, он обнаруживает, что в двух различных науках он имеет дело с системами величин, в которых математическая форма связи одинакова, несмотря на то, что физическая природа их может быть совершенно различна.

Таким образом он приходит к классификации величин, основанной на новом принципе, согласно которому физическая природа величины подчинена ее математической форме. Эта точка зрения характерна для математика, но по времени она следует за физической точкой зрения, так как человеческий разум может представить себе различные величины только в том случае, когда он получает их из природы.

Я не ссылаюсь здесь на тот факт, что все величины как таковые подчиняются арифметическим и алгебраическим правилам и поэтому могут быть подвергнуты тем сухим расчетам, которые, по мнению многих, составляют единственную основу их представления о математике.

Человеческий ум редко бывает удовлетворен и, конечно, не выполняет своей наивысшей функции, когда производит работу счетной машины. Ученый, математик ли он или физик, стремится составить себе и развить ясное представление о предметах, с которыми он имеет дело. Для этого он согласен проделать длинные вычисления и даже сделаться на некоторое время вычислительной машиной, если тем самым он сделает свои идеи в конечном счете более ясными. Но если он видит, что ясные идеи нельзя получить с помощью процессов, этапы которых он, наверное, забудет, прежде чем придет к заключению, то гораздо лучше будет, если он обратится к другому методу и попытается понять предмет исследования при помощи удачно выбранных иллюстраций, взятых из более близких ему областей.

Мы все знаем, насколько иллюстративный метод изложения популярнее, чем метод, в котором главное место занимают голые рассуждения и расчеты.

Истинно научный иллюстративный метод есть метод, который позволяет понять какое-либо представление или закон одной отрасли науки с помощью представления или закона, взятых из другой отрасли, и который, отвлекаясь вначале от различия физической природы реальных явлений, направляет мысль на овладение математической формой, общей соответствующим идеям в обеих науках.

Точность такого иллюстративного метода зависит от того, действительно ли аналогичны по форме обе сравниваемые системы идей или, другими словами, действительно ли соответствующие физические величины принадлежат к одному и тому же математическому классу. При соблюдении этого условия метод иллюстрации весьма удобен для легкого и приятного обучения науке; но, помимо того, признание формальной аналогии между двумя системами идей приводит к более глубокому познанию обеих, чем познание, которое можно было получить, изучая каждую систему в отдельности.

Есть люди, которые могут полностью понять любое, выраженное в символической форме сложное соотношение или закон как соотношение между абстрактными величинами. Такие люди иногда равнодушны к дальнейшему утверждению, что в природе действительно существуют величины, удовлетворяющие этим соотношениям. Мысленная картина конкретной реальности скорее мешает, чем помогает их рассуждениям.

Но большинство людей совершенно неспособны без длительной тренировки удерживать в уме невоплощенные символы чистой математики, так что если наука должна когда-нибудь стать общедоступной, оставаясь, однако, на должной высоте, то это произойдет путем глубокого изучения и широкого применения принципов математической классификации величин, лежащих, как мы уже видели, в основе всякого истинно научного иллюстративного метода.

Существуют, как я уже сказал, такие умы, которые могут с удовлетворением рассматривать чистые количества, представляющиеся глазу в виде символов, а разуму в форме, которую не может понять никто, кроме математиков.

Другие получают большее удовлетворение, следя за геометрическими формами, которые они чертят на бумаге или строят в пустом пространстве перед собой.

Иные же не удовлетворяются до тех пор, пока не перенесутся в созданную ими обстановку со всеми своими физическими силами. Они узнают, с какой скоростью проносится в пространстве планета, и испытывают от этого чувство восхитительного возбуждения. Они вычисляют силы, с которыми притягивают друг друга небесные тела, и чувствуют, как напрягаются от усилия их собственные мышцы.

Для этих людей слова «момент», «энергия», «масса» не являются просто абстрактным выражением результатов научного исследования. Эти слова имеют для них глубокое значение и волнуют их душу, как воспоминания детства.

Для того чтобы удовлетворить людей этих различных типов, научная истина должна была бы излагаться в различных формах и считаться одинаково научной, будет ли она выражена в полнокровной форме или же в скучном и бледном символическом выражении.

Мне бы не хватило времени, если бы я попытался иллюстрировать на примерах научное значение классификации величин. Я упомяну лишь название чрезвычайно важного класса величин, имеющих направление в пространстве, которые Гамильтон назвал векторами и которые составляют предмет исчисления кватернионов. Эта отрасль математики, когда сторонники иллюстративного метода поймут ее до конца и облекут физическими иллюстрациями, станет, может быть, под каким-нибудь новым именем, могущественным методом сообщения истинно научных знаний лицам, очевидно, лишенным вычислительного духа.

Для того, кто изучает прогресс науки, взаимное воздействие различных областей мышления представляет чрезвычайный интерес; рискуя злоупотребить драгоценным временем, я хочу в нескольких словах коснуться одной из ветвей физики, которую еще недавно сочли бы ветвью метафизики. Я говорю об атомной теории, или, как ее теперь называют, о молекулярной теории строения тел.

Если бы нас спросили несколько лет тому назад, в какой из областей физики было меньше всего произведено открытий, то мы указали бы, с одной стороны, на безнадежно далекие неподвижные звезды, а с другой стороны, на непостижимо тонкое строение материальных тел.

Действительно, если считать Конта в известной мере представителем научных взглядов его времени, то нужно

признать, что исследование явлений, совершающихся за пределами нашей солнечной системы, беспредельно трудно, если не совсем безнадежно.

Представление о том, что тела, которые мы видим, можем привести в движение или оставить в покое, разломать на части или разрушить, состоят из более мелких тел, которых мы не можем ни видеть, ни осязать, которые всегда находятся в движении и которых мы не можем ни остановить, ни разбить на части, ни разрушить или лишить малейшего из их свойств,— известно под названием атомной теории. Эта теория связана с именами Демокрита, Эпикура и Лукреция, и обычно считали, что она допускает только существование атомов и пустоты и исключает всякую другую основу тел.

Во многих физических умозаключениях и математических выкладках мы привыкли рассуждать так, как будто такие субстанции, как воздух, вода или металлы, которые кажутся нашим чувствам однородными и сплошными, являются однородными и сплошными и в строго математическом смысле.

Мы знаем, что можно разделить пинту воды на много миллионов частей, каждая из которых обладает всеми теми свойствами воды, какими обладает вся пинта в целом; и нам кажется вполне естественным вывод, что можно продолжать разделение воды до бесконечности так же, как мы никогда не дойдем до предела при разделении пространства, в котором содержится эта вода. Мы слышали о том, как Фарадей разделил гран золота на непостижимое число отдельных частиц, мы можем видеть, как д-р Тиндалль образует из ничтожного количества бутилового нитрита огромное облако, мельчайшая видимая часть которого является все-таки облаком и поэтому должна содержать много молекул бутилового нитрита.

За последнее время, однако, из различных независимых источников собран ряд доказательств, которые заставляют нас допустить, что в дальнейшем ходе процесса разделения мы в конце концов дойдем до предела, потому что каждая часть будет содержать только одну молекулу, т. е. одно индивидуальное тело, неделимое и неизменяемое никакими силами природы.

Даже при наших обыкновенных опытах с очень мелко разделенными веществами мы обнаруживаем, что вещество начинает терять те свои свойства, которые присущи ему,

когда оно образует большие массы, и что начинают преобладать явления, обусловленные индивидуальным действием молекул.

Изучение этих явлений в настоящее время указывает тот путь, по которому должно идти развитие науки о молекулах.

Одно из этих явлений заключается в поверхностном напряжении жидкости, которое называют капиллярным напряжением. Другая важная категория охватывает явления, обусловленные беспорядочным движением, которое непрерывно заставляет молекулы жидкости или газа перемещаться с одного места на другое и постоянно изменять свое направление, подобно людям, движущимся в толпе. От этого зависит степень диффузии газов и жидкостей друг в друга; изучению этой диффузии, являющейся одним из ключей науки о молекулах, неутомимый исследователь тайн природы, покойный профессор Грахам, посвятил очень много упорного труда.

Согласно теории Видемана, степень электролитической проводимости зависит от той же причины, а теплопроводность жидкостей, вероятно, обусловливается действием того же рода. Для газов молекулярная теория была разработана Клаузиусом и другими; эта теория поддается математической обработке и подверглась экспериментальной проверке. Почти все известные свойства газов объясняются, согласно этой теории, динамическими принципами, и свойства отдельных молекул газов скоро уже станут объектами научного исследования.

В настоящее время Стоней указывает на то, что численные результаты опытов с газами заставляют предполагать, что среднее расстояние между частицами газов, при обыкновенной температуре и давлении, есть величина порядка одной миллионной миллиметра\*; после него сэр Вильям Томсон с помощью совершенно самостоятельной аргументации, построенной на таких различных по характеру явлениях, как электризация металлов посредством контакта, поверхностное напряжение мыльных пузырей и трение воздуха, доказал, что в обыкновенных твердых и жидкких телах среднее расстояние между смежными молекулами меньше одной стомиллионной и больше двух миллиардных долей сантиметра\*\*.

\* «Phit. Mag.», Aug., 1868. (Звездочкой отмечены примечания Максвелла.— Прим. ред.)

\*\* «Nature», March., 31, 1870.

Это, конечно, очень грубые приближения, и выведены они на основании измерений, из которых некоторые определенно весьма грубы; но если в настоящее время мы можем составить хотя бы приближенную программу получения результатов такого рода, то мы вправе надеяться, что по мере того, как методы экспериментального исследования будут становиться более точными и более разнообразными, наше понятие о молекуле станет более определенным, так что в недалеком будущем мы можем оказаться в состоянии определять вес молекулы с гораздо более высокой степенью точности.

Теория, которую сэр В. Томсон обосновал на великолепных гидродинамических теоремах Гельмгольца, пытается приписать молекулам свойства кольцеобразных вихрей в однородной, лишенной трения и несжимаемой жидкости. Такие вихревые кольца можно наблюдать, когда опытный курильщик искусно выпускает клубы дыма в неподвижный воздух, но, конечно, трудно себе представить более недолговечное явление. Кратковременность этого явления объясняется вязкостью воздуха; но Гельмгольц доказал, что в идеальной жидкости такое вихревое кольцо, раз оно уже образовалось, будет двигаться вечно и всегда будет составлять ту же самую порцию жидкости, которая была приведена в вихревое движение; это кольцо никогда не может быть разделено надвое какой-либо естественной причиной.

Вызвать к жизни кольцевой вихрь естественные причины также не в состоянии, но, будучи однажды образован, он обладает свойствами индивидуальности, количественного постоянства и неразрушимости. В то же время он является носителем импульса и энергии; и это все, что мы можем утверждать о материи. Эти кольцевые вихри способны к таким разнообразным соединениям и сложным изменениям формы, что свойства различных клубков таких вихрей, несомненно, настолько же различны, как и свойства разных видов молекул.

Если мы сможем построить теорию такого рода, преодолев огромные математические трудности данной проблемы, и сумеем в известной мере осветить действительные свойства молекул, то, конечно, такая теория займет в научном отношении положение, совершенно отличное от тех теорий, которые были созданы для исследования молекулы, подверженной действию произвольной системы центральных сил, специально придуманной для истолкования наблюдаемых явлений.

Теория вихрей-атомов не имеет в себе ничего произвольного, не оперирует никакими центральными силами или скрытыми свойствами какого-либо другого рода. Здесь мы имеем дело только с материей и движением, и раз вихрь образовался, то все его свойства определяются первоначальным импульсом и никакие другие допущения уже больше невозможны.

Даже при современном, мало разработанном состоянии этой теории рассмотрение обособленности и неразрушимости кольцевого вихря в идеальной жидкости не может не поколебать установившегося мнения, согласно которому молекула, для того чтобы быть неизменной, должна быть очень твердым телом.

В действительности, одно из первых условий, которым должна удовлетворять молекула, по-видимому, не согласуется с предположением, что она является простым твердым телом. Спектроскопические исследования, бросившие такой яркий свет на многие отрасли науки, показали, что молекула может быть приведена в состояние внутренних колебаний, в котором она испускает в окружающую среду свет определенной преломляемости, т. е. определенной длины волн и определенного периода колебаний. Весьма замечателен тот факт, что все молекулы (например, молекулы водорода) веществ, имеющихся в нашем распоряжении для опытов, будучи возбуждены теплом или электрической искрой, колеблются с одинаковой периодичностью или, говоря более точно, что их колебания являются системой простых колебаний, постоянно сохраняющих одни и те же периоды.

Я предоставляю другим описывать успехи ряда блестящих спектроскопических открытий, которые сделали химию небесных тел объектом человеческого исследования. Я скорее хочу обратить ваше внимание на тот факт, что одна и та же система периодов свободных колебаний свойственна не только каждой молекуле земного водорода, но что спектроскопическое исследование света Солнца и звезд выявило, что в областях, расстояния до которых мы с трудом можем себе представить, находятся молекулы, колеблющиеся так же точно в унисон с молекулами земного водорода, как два камертона, настроенные на одинаковую высоту тона, или как двое часов, отрегулированных по солнечному времени.

Несомненно, что такое абсолютное равенство количественных величин во всех частях Вселенной достойно нашего рассмотрения.

Размеры различных тел природы или довольно неопределенны, поскольку вопрос касается, например, планет, камней и деревьев, или же они изменяются в довольно умеренных пределах (например, яйца, семена и т. д.), но даже в случаях, когда наблюдаются небольшие количественные различия, они не меняют существенных свойств тела.

Даже кристаллы, которые столь определены в отношении геометрической формы, изменчивы в смысле своих абсолютных размеров.

Среди изделий человеческих рук мы часто наблюдаем известную степень единообразия; единообразны, например, пули, отлитые в одной и той же форме, и различные экземпляры книг, отпечатанные с одного набора.

Если мы будем рассматривать монеты или меры и веса в цивилизованной стране, то мы обнаружим единообразие, вызванное тщательным приспособлением к стандартам, изготовленным и предоставленным государством.

В этом вопросе мы, в качестве научной корпорации, горячо заинтересованы, и все мы знаем, как много научного труда было потрачено, и потрачено с пользой, на выработку весов и мер для коммерческих и научных целей.

Земля была обмерена, чтобы создать основу для постоянной меры длины, и все свойства металлов были исследованы, чтобы предупредить возможность изменения в материале, из которого изготовлены стандарты. Для того чтобы и взвесить или измерить какой-либо предмет с современной точностью, требуется ряд опытов и вычислений, для которых используются почти все отрасли физики и математики.

Со всем тем, однако, размеры нашей Земли и время ее обращения, хотя и весьма постоянные, если отнести их к тем мерам сравнения, которыми мы в настоящее время располагаем, не обладают этим постоянством, в силу какой-либо физической необходимости. Земля может сжаться благодаря охлаждению или может увеличиться в объеме благодаря падению на нее слоя метеоритов; скорость ее обращения может понемногу замедлиться, и все-таки она останется той же планетой, какой была. Но молекула, например, водорода, как только ее масса или время ее колеба-

ния уменьшится, хотя бы и минимально, перестанет быть молекулой водорода.

Если поэтому мы хотим получить абсолютно неизменные стандарты длины, времени и массы, то мы должны искать их не в размерах, или в движении, или в массе нашей планеты, но в длине волны, в периоде колебания и в абсолютной массе этих неразрушимых, неизменных и совершенно одинаковых молекул.

Если мы обнаружим, что и на Земле и в звездном небе существуют бесчисленные множества мельчайших тел и с совершенно одинаковой массой — столько-то и не больше гран — и колеблющихся всегда с одним и те же периодом — столько-то раз и не более в секунду — и если мы учтем, что никакая сила природы не может, хотя бы минимально, изменить массу или период колебания любого из этих тел, то мы дойдем по пути исследования природы до одной из тех точек, в которой уже приходится руководствоваться убеждением, что «то, что мы видим, не состоит из вещей, которые нам кажутся».

Одним из самых замечательных результатов успехов учения о молекулах является тот яркий свет, который наука пролила на природу необратимых процессов, т. е. процессов, которые всегда направлены в сторону какого-либо предельного состояния и никогда не совершаются в обратном направлении. Так, например, если мы поместим два газа в один и тот же сосуд, то они смешаются и смесь будет постоянно стремиться стать более однородной. Если мы поместим в сосуд два неодинаково нагретых количества одного и того же газа, то произойдет нечто в том же роде и весь газ будет стремиться приобрести одинаковую температуру. Если мы заставим соприкасаться два неодинаково нагретых твердых тела, то будет иметь место непрерывное приближение их обоих к некоторой средней температуре.

В случае с двумя газами можно достигнуть разъединения химическим путем, но в других двух случаях прежнее положение вещей не может быть восстановлено никаким естественным процессом.

В случае теплопроводности или диффузии тепла процесс не только необратим, но он влечет за собой невосстановимое уменьшение той части полного запаса тепловой энергии, которую можно преобразовать в механическую работу.

Такова теория Томсона о необратимом рассеянии энергии; она эквивалентна учению Клаузиуса о возрастании того, что он называет «энтропией».

Необратимый характер этого процесса отчетливо воплощен в теорию Фурье о теплопроводности, где, как указывают формулы, возможное решение для всяких положительных величин времени неизменно стремится выливаться в форму однообразной диффузии тепла.

Если же мы пытаемся пойти против течения времени, придавая ему постоянно уменьшающиеся значения, то мы дойдем до такого положения вещей, при котором формула имеет так называемое критическое значение; если мы теперь исследуем положением вещей за мгновение перед этим, то мы убедимся, что формула становится абсурдной.

Таким образом у нас создается концепция такого положения вещей, которое не может пониматься как физический результат некоего предшествовавшего положения, и мы убеждаемся, что это критическое условие действительно существовало не в какую-либо бесконечно отдаленную эпоху, но отделено от настоящего времени определенным конечным интервалом.

Физические исследования недавнего прошлого сроднили нас с этой идеей начала в такой мере, какую не мог бы предвидеть никто из наблюдавших развитие научного мышления прежних времен.

Однако человеческой мысли несвойственно, по примеру нагретого тела у Фурье, неизменно устанавливаться в состоянии окончательного уравновешенного покоя, которое мы можем предсказать заранее. Наша мысль скорее подобна дереву, выпускающему побеги, которые тянутся к свету, или же корням дерева, извивающимся среди различных пластов земли, в которые они зарываются. Мы, которые дышим воздухом нашего века и знаем только характеристики современного мышления,— мы не можем предсказать общий тон науки будущего, так же как не можем предвидеть тех открытий, которые принесет это будущее.

Физические исследования постоянно обнаруживают перед нами новые особенности процессов природы, и мы вынуждены находить новые формы мышления, соответствующие этим особенностям. Отсюда вытекает необходимость тщательного изучения взаимоотношений между математикой и физикой, определяющих те условия, при которых идеи, заимствованные из одной отрасли физики,

могут быть с уверенностью использованы для построения идей, применимых в новой отрасли той же науки.

Обороты речи и мышления, с помощью которых мы переносили терминологию знакомой нам науки в область науки, менее нам знакомой, можно назвать «научными метафорами».

Так, например, термины «скорость», «момент», «сила» и т. д. получили определенное точное значение в элементарной динамике. Ими пользуются также в динамике связанных систем в смысле, хотя и вполне аналогичном элементарному значению, но более широком и обобщенном.

Такие обобщенные формы элементарных идей можно назвать метафорическими терминами в том смысле, в каком каждый абстрактный термин является метафорой. Характер действительно научной системы метафор таков, что каждый термин в его метафорическом употреблении сохраняет все те формальные соотношения с другими терминами системы, какие он имел при своем первоначальном употреблении. Данный метод является в этом случае истинно научным, т. е. он есть не только законный продукт науки, но, в свою очередь, может способствовать ее развитию.

Существуют известные электрические явления, которые связаны между собой соотношениями такой же формы, какие наблюдаются между динамическими явлениями. Применение к этим электрическим явлениям динамической фразеологии с соответствующими различиями и предварительными ограничениями является метафорическим методом, несколько более смелого характера; тем не менее этот метафорический метод вполне оправдан, поскольку он дает правильную идею об электрических взаимоотношениях тем лицам, которые уже освоились с динамикой.

Допустим, что мы с успехом использовали некоторые идеи какой-либо элементарной науки, метафорически применив их к совершенно новой категории явлений. Тогда становится важным философским вопросом определить, в какой мере применимость старых идей к новым объектам свидетельствует о том, что новые явления физически родственны старым.

Вопрос наилучшим образом разрешается в тех случаях, когда одному и тому же предмету дают два различных объяснения. Наиболее известным примером подобного рода являются теории о корпускулярной и о волновой природе

света. Обе теории до известного предела одинаково хорошо объясняют световые явления; дальше этого предела одна из них становится несостоятельной.

Для того чтобы понять правильное соотношение между этими теориями в той области, в которой они кажутся одинаково применимыми, мы должны рассматривать их в том освещении, которое придал им своим открытием Гамильтон и которое заключается в том, что каждой брахистохронной проблеме соответствует проблема свободного движения; обе учитывают различные скорости и времена, но в результате получается один и тот же геометрический путь. На эту тему очень интересную статью написал профессор Тэт.

Согласно теории электричества, которая с большим успехом разрабатывается в Германии, две электрические частицы непосредственно действуют одна на другую на расстоянии, с силой, которая, по Веберу, зависит от их относительной скорости, а по теории, намеченной Гауссом и разработанной Риманом, Лоренцом и Нейманом, действует не мгновенно, а после известного промежутка времени, зависящего от расстояния. Нужно изучить эту теорию, чтобы оценить ту убедительность, с которой она, в обработке названных выдающихся ученых, объясняет все виды электрических явлений.

Другая теория электричества, которую я лично предлагаю, отрицает действие на расстоянии и приписывает электрическое действие натяжениям и давлениям во всем проникающей среде, причем напряжения принадлежат к тому же роду, который известен технике, среда же идентична той, в которой, как мы предполагаем, распространяется свет.

Обе эти теории объясняют не только те явления, с помощью которых они были первоначально построены, но и другие явления, о которых в то время не думали и которых, может быть, тогда не знали; обе теории совершенно самостоятельно привели к одним и тем же численным результатам, выражющим абсолютную скорость света в электрических единицах.

Тот факт, что две теории, по-видимому, столь существенно противоположные, верны в очень широкой области, общей для них обеих, действительно, имеет философское значение, которое мы сможем полностью оценить только тогда, когда достигнем такой высоты научного понимания,

с которой нами может быть усмотрена действительная связь между столь разлпчными гипотезами.

Я хочу сделать еще одно замечание о соотношении между математикой и физикой. По существу одна предпочитает заниматься чисто умственными операциями, предмет же другой составляет пляска молекул.

Молекулы имеют свои собственные законы; мы избираем некоторые из них, как наиболее нам понятные и как наиболее доступные для вычислений. По этим частичным данным мы строим теорию и приписываем всякое отклонение действительных явлений от теории возмущающим причинам. В то же время мы признаем, что называем «возмущающими причинами» просто ту область действительных условий, которую мы не знаем или которой пренебрегли, и обещаем учитывать ее в будущем. Таким образом мы признаем, что так называемое возмущение — простая фикция нашего ума, а вовсе не природный факт и что в действиях природы нет никаких возмущений.

Но это не единственный путь, которым может нарушаться гармония между материалом и мыслительной операцией. На мысль математика влияют очень много нарушающих факторов: например, усталость, пробелы памяти, слишком спешные заключения; по этим причинам и по многим другим у математиков бывают ошибки.

Один из самых глубоких математиков и мыслителей нашего времени, покойный Джордж Буль, рассуждая о точном и почти математическом характере законов правильного мышления, по сравнению с чрезвычайно запутанными, хотя, может быть, столь же определенными, законами фактического мышления, подверженного ошибкам, стал на такую точку зрения, с которой паука как бы заглядывает за пределы своей собственной области.

«Мы должны допустить, — говорит он, — что существуют законы (мышления), которых даже их строгие математические формы не могут защитить от нарушения. Мы приписываем им авторитетность, отнюдь не основанную на силе, и верховенство, которое не поддается истолкованию по аналогии с ненарушимым порядком, царствующим в мире природы».